

# Современное состояние и тенденции развития имитационного моделирования в Российской Федерации

## The current status and development trends of simulation in the Russian Federation

**Плотников А.М.**

ОАО «Центр технологии судостроения и судоремонта» (ОАО «ЦТСС»)  
Санкт-Петербург, Россия  
[plotnikov@sstc.spb.ru](mailto:plotnikov@sstc.spb.ru)

**Рыжиков Ю.И.**

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского  
Санкт-Петербург, Россия  
[ryzhbox@yandex.ru](mailto:ryzhbox@yandex.ru)

**Соколов Б.В.**

Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН  
Санкт-Петербург, Россия  
[sokol@iias.spb.su](mailto:sokol@iias.spb.su)

*Аннотация.* Проведен обзор 1-й, 2-й, 3-й, 4-й и 5-й Всероссийской конференции по имитационному моделированию с точки зрения используемых методов, языков и систем моделирования, практических применений. Отмечены элементы новизны и недостатки докладов.

*Abstract.* The review of the 1<sup>st</sup>, 2<sup>nd</sup>, 3, 4 and 5 Russian Conference on the Imitation Modeling is presented. The points of view are used methods, language and systems of modeling, application areas. The new elements and deficiencies of reports are noticed.

### Введение

С 2003 г. каждые два года в Санкт-Петербурге проводятся Всероссийские научно-практические конференции «Опыт практического применения языков и программных систем имитационного моделирования в промышленности и прикладных разработках». После каждой из них в «Вестнике технологии судостроения» публиковались обзоры содержания докладов, однако они вследствие специфичности и малого тиража этого уважаемого издания не доводились до большинства актуальных и потенциальных «имитаторов и модельеров» в РФ и за рубежом. Поэтому уроки каждой очередной конференции оказывали недостаточное влияние на содержательность последующей. Кроме того, за истекшее десятилетие существенно обновился и расширился круг исследователей, активно работающих в данной области. Учитывая изложенное, Организационный и Программный комитеты решили выпустить аналитический обзор, в котором итоги конференций были бы подведены и осмыслены с разных точек зрения: по используемым методам моделирования, инструментальным средствам, практическим приложениям. В обзор включены — с упреждением — и материалы ИММОД-2011. Авторы надеются, что все перечисленные обстоятельства позволят обсуждать представленные на проводимой конференции доклады более целенаправленно.

Предлагаемый обзор подготовлен тремя членами Программного комитета, однако не является официальной точкой зрения комитета в целом. Громадный объем анализируемого материала не позволил упомянуть в нем все доклады. Надеемся, что читатели обзора отнесутся к этому с пониманием. Для экономии места ссылки на доклады сведены к минимуму и, как правило, даются по фамилии первого автора, должности, ученые степени и ученые звания также не приводятся, о чем составители обзора заранее просят их простить.

### **1. Общая оценка результатов проводимых конференций**

Начиная с 2003 года в России каждые два года проводится Всероссийская научно-практическая конференция «Опыт практического применения языков и программных систем имитационного моделирования в промышленности и прикладных разработках» (ИММОД).

Цель проводимых конференции состояла в распространении и конструктивном использовании методов и средств имитационного моделирования сложных объектов (технических, технологических, экономических, социальных, комбинированных) для решения широко спектра актуальных научных и практических задач, активизации творческой деятельности и укрепления научно-производственного потенциала Российской Федерации.

В основные задачи конференции входят:

- развитие и обобщение теории имитационного и системного моделирования сложных объектов, квалиметрии моделей и полимодельных комплексов;
- обмен опытом и обсуждение результатов исследований и практических приложений имитационного моделирования;
- обмен опытом применения имитационного и комплексного моделирования для решения научных и практических задач;
- распространение опыта обучения теории и практике имитационного и комплексного моделирования.

Научная программа конференций включает следующие тематические направления:

- теоретические основы и методология имитационного и комплексного моделирования;
- методы оценивания качества моделей и полимодельных комплексов;
- методы и системы распределенного моделирования;
- моделирование глобальных процессов;
- средства автоматизации и визуализации имитационного моделирования;
- системная динамика (с обязательным наличием имитационной составляющей);
- практическое применение моделирования и инструментальных средств автоматизации моделирования, принятие решений по результатам моделирования;
- имитационное моделирование в обучении и образовании.

В 2003 году учредителем конференции выступил ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт технологии судостроения» (ФГУП «ЦНИИ ТС»). У последующих конференций два постоянных учредителя — ФГУП «ЦНИИ ТС» и Учреждение Российской академии наук Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН (СПИИРАН), Санкт-Петербург.

Все конференции проводились в Санкт-Петербурге, в октябре месяце. Первые три конференции — в ФГУП «ЦНИИ технологии судостроения», четвертая и пятая — проведены в Доме Ученых им. М. Горького (Дворцовая наб., 26).

Средняя ежедневная посещаемость конференций составила: 2003 год — 105 чел., 2005 год — 108 чел., 2007 год — 94 чел., 2009 год — 102 чел., 2011 год — 110 чел.

Тематика конференции традиционно разбивается на три основных направления, которым соответствуют три секции:

- теоретические основы и методология имитационного и комплексного моделирования.
- практическое применение имитационного и комплексного моделирования и средств автоматизации моделирования.
- средства автоматизации и визуализации имитационного моделирования.

Информационную поддержку конференциям оказывали компании ООО «Элина-Компьютер» (Казань) и XJ Technologies (Санкт-Петербург), журналы «Судостроение», «RM Magazine», «Rational Enterprise Management» (Санкт-Петербург) и «Прикладная информатика» (Москва).

Спонсорскую помощь в проведении конференций оказывали компании «Би-Питрон» и XJ Technologies (Санкт-Петербург), Комитет по науке и высшей школе Администрации Санкт-Петербурга (Санкт-Петербург), ООО «Сименс Продакт Лайфсайкл Менеджмент Софтвер», Президиум РАН, АНО «Ремесленная академия», Отделение нанотехнологий и информационных технологий РАН, Российский фонд фундаментальных исследований (Москва), Национальное общество имитационного моделирования России.

В проводимых пяти конференциях приняли участие представители девяти стран — России, Украины, Белоруссии, Казахстана, Латвии, Германии, Болгарии, Вьетнама и Индии.

При подготовке конференций использовались информационные ресурсы сайтов [www.gpss.ru](http://www.gpss.ru), [www.sstc.spb.ru](http://www.sstc.spb.ru), [www.spiiras.nw.ru](http://www.spiiras.nw.ru), [www.simulation.org.ua](http://www.simulation.org.ua), [www.xjtek.com](http://www.xjtek.com).

Статистика докладов конференций отражена в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

<b>Категория докладов</b>	<b>2003<sup>1</sup></b>	<b>2005</b>	<b>2007</b>	<b>2009</b>	<b>2011</b>
Пленарные доклады	5	8	6	7	8
Доклады секции 1	40	19	38	29	49
Доклады секции 2	–	27	12	28	21
Доклады секции 3	34	53	45	59	62
Стендовые доклады и демонстрации	27	33	17	14	24
Всего докладов	106	140	118	137	164
Всего упоминаемых авторов докладов	143	181	205	236	248

<sup>1</sup> Конференция 2003 года состояла только из двух секций.

Статистика по авторам докладов и слушателям конференции отражена в таблице 2.

Таблица 2

Звание, степень	2003	2005	2007	2009	2011
Член-корреспонденты, академики	1	2	2	4	3
Доктора наук	23	36	40	39	55
Кандидаты наук	40	43	59	65	71
Аспиранты	20	30	35	55	49
Студенты	11	8	12	22	36

В работе конференции 2003 года приняли участие специалисты, руководители, предприниматели, менеджеры и научные работники 32 городов России, Украины, Латвии и Германии; в работе конференции 2005 года — из 37 городов России, Украины, Беларуси, Латвии и Германии; в работе конференции 2007 года – из 37 городов России, Украины, Беларуси, Германии, Вьетнама и Индии; в работе конференции 2009 года — из 49 городов России, Украины, Беларуси, Казахстана, Болгарии, Вьетнама, Латвии и Германии, в работе конференции 2011 года — из 46 городов России, Украины, Беларуси, Казахстана, Вьетнама, Китая, Латвии и Германии.

В работе пяти конференций приняли участие представители более трехсот организаций, предприятий, фирм и высших учебных заведений России и зарубежных стран.

Конференции в целом были четко организованы, проходили на хорошем уровне и при большой заинтересованности участников. Труды конференции издавались до их начала. На каждой из конференций делалось 5–8 докладов на пленарном заседании и около 100 на трех секциях — теоретической, инструментальной и прикладной. Представлялось по несколько десятков секционных докладов. Почти все доклады были оформлены в виде компьютерных презентаций; многие секционные и стендовые доклады сопровождались эффектными и поучительными анимациями — в частности, одновременным появлением отдельных частей слайда. Из участников конференции сформировалось устойчивое сообщество единомышленников. Всем докладчикам задавались вопросы, и выдерживание регламента требовало немалых усилий руководителей секций.

На итоговом заседании первой конференции было принято решение впредь проводить такие конференции регулярно и изучить вопрос о придании им статуса международных (впрочем, и на уже проведенных были представлены докладчики из Латвии, Германии и США, не говоря о странах СНГ).

На общую дискуссию выносились: научные аспекты конференций, состояние и перспективы имитационного моделирования в России, проблемы продвижения методов имитационного моделирования в отечественную промышленность. На первой же конференции было решено создать Российское общество имитационного моделирования, поручить Оргкомитету создать инициативную группу, доработать и согласовать с потенциальными учредителями пакет учредительных документов и юридически оформить общество.

В результате проделанной Организационным и Программным комитетами большой работы 28 февраля 2011 г. Министерством Юстиции РФ было выдано Свиде-

тельство о государственной регистрации некоммерческой организации — некоммерческого партнерства «Национальное Общество Имитационного Моделирования» (НП «НОИМ»). Президентом общества стал член-корреспондент РАН Юсупов Рафаэль Мидхатович, Председателем правления общества был избран Плотников Александр Михайлович. В настоящее время ведется активная подготовительная работа по приему новых физических и юридических лиц в состав НП «НОИМ».

## 2. История и общие предпосылки становления и развития имитационного моделирования в Российской Федерации

К настоящему времени теория, методы и технологии создания (использования) различных классов моделей развиты достаточно хорошо. Исследования в этой отрасли научных знаний продолжают с неослабевающей интенсивностью, охватывая всё новые и новые классы моделей и предметные области. На проводимых конференциях постоянно отмечались исторические аспекты становления имитационного моделирования (ИМ) в нашей стране [6–13].

Появление имитационных моделей (ИМл) и имитационного моделирования, а также и превращение их в эффективное средство анализа сложных и больших систем было, с одной стороны, обусловлено потребностями практики, а с другой стороны, развитием метода статистических испытаний (метод Монте-Карло), открывшего возможность моделировать случайные факторы, которые существенно влияют на процесс функционирования систем. Кроме того, была создана материальная (аппаратурная) база для реализации ИМл — мощные вычислительные средства второго и третьего поколений.

Введение понятия ИМ в науке (начало 60-х годов) было сопряжено с возникновением определенной терминологической путаницы, разнообразием трактовок этого понятия. Одна из причин, повлиявших на это, связана с тем, что сам термин, обозначаемый в англоязычной литературе как *simulation* (лат. *simulation* — симулирование, уподобление) и введенный в отечественной литературе как «имитационное моделирование» (лат. *imitation* — подражание, имитация), неудачен с чисто лингвистической точки зрения, поскольку в первом случае его можно перевести просто как «моделирование», а во втором — истолковать в тавтологическом смысле, рассматривая термины «имитация» и «моделирование» как синонимы («моделирующее моделирование»). В действительности, когда речь идет об ИМ, то имеется в виду моделирование особого рода, противостоящее в известном смысле аналитическому моделированию. Последнее связано с двумя основными обстоятельствами. Во-первых, имитационная модель должна с необходимой полнотой воспроизводить как структуру объекта-оригинала, так и его функционирование (при обязательном сохранении схожести поведения по отношению к объекту-оригиналу). Во-вторых, ИМ ориентируется на получение знаний о прототипе не путем аналитического исследования или однократных численных расчетов, а путем целенаправленных экспериментов на ИМл.

На конференциях постоянно отмечались давние и хорошие традиции использования и развития моделирования в СССР в период 1960–1990 гг.: созданы многочисленные научные школы; получен ряд важнейших фундаментальных и практических результатов, к числу которых можно, в первую очередь отнести разработку методологических основ ИМ, создание и широкое использование в различных предметных областях таких языков автоматизации моделирования как СЛЭНГ, НЕДИС, СТАМ и др., система агрегативного моделирования Н.П. Бусленко. Семейство GPSS, SIMULA, GASP, CSL и другие языки моделирования были адаптированы к применявшейся в

стране вычислительной технике. Все они широко использовались в реальном секторе экономики [13–18].

Развал страны и «демократические» реформы привели к утрате связей между научными коллективами и отдельными учеными, прекращению активной деятельности многими из них, нарушению преемственности поколений, приостановке или прекращению ряда перспективных разработок. Умирающая промышленность утратила интерес к практическому моделированию, что иссушило внебюджетные ручейки финансирования исследований.

Однако наметившийся за последнее десятилетие рост экономики взбудрил оставшихся (главным образом в вузах) энтузиастов моделирования, оживил их интерес к преподаванию моделирования, теоретическим исследованиям и прикладным разработкам. В настоящее время 150 вузов России ежегодно выпускают более 10 тыс. специалистов, знакомых с основами компьютерного моделирования. Аналогично обстоит дело и в странах СНГ. Моделирование введено в учебные планы не только компьютерных, но и ряда экономических специальностей. В сети Интернет появились сайты, посвященные этой проблеме ([gpss.ru](http://gpss.ru), [simulation.org.ua](http://simulation.org.ua), [gpss-forum.narod.ru](http://gpss-forum.narod.ru)), разработан исследовательский портал «Имитационное моделирование». В пленарных докладах (А.В. Борщев, Н.Н. Лычкина, Б.В. Соколов [2, 3, 4]) отмечался заметный рост интереса бизнес-сообщества к проблемам имитации и оптимизации производственных и иных экономических процессов. Воспринята, наконец, старая идея интерактивной технологии программирования с разработкой «быстрого прототипа». Внедрение объектно-ориентированного программирования, появление визуальных конструкторов ускорило и удешевило разработки. Интенсивно развивались многоагентное, агрегативное и распределенное моделирование. Была создана российская система гибридного моделирования AnyLogic.

Продолжались работы на стыке теории массового обслуживания (теории очередей) и имитационного моделирования. Разработанные модели включались в контур оперативного управления. На прошедших конференциях звучали интересные предложения (распределенное моделирование с использованием Интернета, учет психофизиологических особенностей оператора, акцент на использование модели в качестве средства убеждения заказчиков).

Тематика ИМ в настоящее время введена в учебные планы не только компьютерных, но и ряда экономических специальностей. Открыта подготовка специалистов по информационным технологиям применительно к основным областям применения. Дисциплина «Моделирование систем» из разряда специальных перешла в общепрофессиональные, т. е. стала «ближе к массам». Издан ряд учебников, из которых написанные Ю.Г. Карповым, Ю.И. Рыжиковым и В.Н. Томашевским распространялась на конференциях.

Мировая наука и экономика в трудные для России последние десятилетия не стояли на месте и интенсивно развивались. За рубежом регулярно проводились конференции по теории и практическим аспектам имитационного моделирования; оно все шире внедрялось в практику проектирования производственных (в самом широком смысле слова) процессов и оперативного управления ими. В повестку дня встал вопрос о тотальном применении цифровых моделей (Digital Factory) в процессе проектирования и эксплуатации производственных систем. Люди, участвующие в такой деятельности, получают возможность наблюдать статические объекты — как правило, в виде трехмерных изображений (виртуальная реальность — VR). Наличие имитационной модели и обоснование с ее помощью выбранного варианта в западных странах являются обязательными в комплекте документов, подаваемых на рассмотрение для проекти-

рования или модернизации нового производства либо технологического процесса. Модели используются и для обучения персонала. Эта концепция называется e-manufacturing. Убежденными сторонниками ее являются, в частности, ведущие автомобильные компании: Daimler-Chrysler, Mercedes-Benz, BMW, Audi, Toyota. Этот подход применяется и на сборке аэробусов А-380 в Гамбурге. Ряд фирм выпускает программные продукты как широкого назначения (с предполагаемой модификацией), так и специализированные по логистике, отраслям промышленности и социальной сферы. Однако в условиях чрезвычайной сложности и дороговизны этих разработок из европейских компаний только Technomatics и DELMIA претендуют на полное покрытие e-Manufacturing своими продуктами. Наблюдается тенденция перехода от разработки «самодельных» (пусть даже усилиями мощных промышленных фирм) систем моделирования к заказу их профессиональным разработчикам моделей.

В обзорных докладах на прошедших конференциях [4] отмечались типичные недостатки разработанных систем моделирования:

- трудоемкость моделирования;
- сложность проведения экспериментов;
- слабость средств моделирования конфликтов за общие ресурсы;
- отсутствие поддержки русского языка.

Недостатки имитационного моделирования вынуждают комбинировать его с аналитическими моделями. Поскольку наиболее широкий класс моделей, охватывающий сборочное производство, транспортные системы, системы логистики, разного вида обслуживающие и коммуникационные системы — это по сути сети массового обслуживания, активно разрабатываются и такие модели и алгоритмы.

Конференция 2007 г. (Девятков В.В., Кобелев Н.Б. и др.) [3, 4] соотнесла с современным мировым уровнем состояние такого важнейшего научно-технического направления в России как электронная готовность страны. Последняя представляет собой обобщенную оценку примерно ста показателей, характеризующих общий интеллектуальный уровень принимаемых решений. Регулярный мониторинг тенденций интеллектуального развития, проводимый в рамках специальной программы ООН по 159 странам в 2005 г., поставил электронную готовность России на 126-е место. Наш рейтинг по сравнению с 2004 г. упал на 36 пунктов, что свидетельствует о крайне негативной тенденции (между прочим, уровень коррупции имеет сильную отрицательную корреляцию с электронной готовностью).

Факты снижения интеллектуальности безусловно имеют место. В стране не осуществляется расчет межотраслевого баланса продукции и услуг, в силу чего никто точно не знает, что нужно стимулировать, а что не нужно. Нет существовавшего в советские времена единого плана развития и размещения производительных сил страны по отраслям и регионам. Несбалансированная промышленность производит более дорогую и неконкурентоспособную продукцию. Продавлена вузовская реформа, понижающая уровень подготовки специалистов до теперешнего уровня нашей экономики и гарантирующая стагнацию последней. Работы по теории и разнообразным применениям имитационного моделирования (ИМ), которые могли бы повысить интеллектуальность и обоснованность принимаемых решений, ныне проводятся лишь несколькими сотнями оставшихся энтузиастов. В то же время в США на работы, связанные с ИМ, тратятся десятки млрд. долларов в год. ИМ принимаемых решений, проектов развития и технологий постоянно применяется такими компаниями, как Boeing, Compaq, Xerox, IBM, Intel, Lockheed, Motorola, General Motors, Ford, Standard Oil, Cray Research и многими другими, а также рядом правительственных организаций (Агентство национальной безопасности, ВВС, ВМФ, NASA). В докладе Ю.А. Меркурьева [4, 23- 26] были

перечислены журналы и конференции — европейские и мировые, в том числе мульти-конференции (многотемные): агентно-ориентированные; теория моделирования; высокопроизводительные вычислительные системы; военное моделирование; развитие городов. Центральное место здесь занимают Зимние конференции по ИМ (США). В данном докладе были указаны также электронные ресурсы, где располагается основная информация о конференциях по ИМ.

В целом на прошедших конференциях констатировалось, что в РФ наметился выход из кризиса в области ИМ. Это было наглядно было показано в работе [7] и последующих докладах соответствующих авторов на конференциях [1–5], в которых в качестве аргументов, подтверждающих данные положения, были приведены следующие факты:

1. *Индикатором резко возросшей активности специалистов ИМ является появление серьезных информационных ресурсов, посвященных ИМ, в сети Internet.* Среди них [www.xjtek.ru](http://www.xjtek.ru), [www.gpss.ru](http://www.gpss.ru), [www.simulation.org.ru](http://www.simulation.org.ru), [www.gpss-forum.narod.ru](http://www.gpss-forum.narod.ru) и др.

2. *Постоянно увеличивается академическое применение ИМ.* Благодаря энтузиазму и терпению преподавателей многих ВУЗов, удалось сохранить основной костяк специалистов по ИМ высокой квалификации. В стандарты ряда образовательных специальностей в России введены курсы: «Моделирование систем», «Имитационное моделирование», «Компьютерное моделирование».

3. *Появилось гораздо больше публикаций по тематике имитационного моделирования.* Причем это относится не только к трудам симпозиумов и конференций, но и к журнальным статьям и монографиям.

4. Повсеместно в РФ *появляются компании, профессионально занимающиеся ИМ.* Среди них В-Club Engineering (г. Иваново, [www.b-club.ru](http://www.b-club.ru)), «Элина-компьютер» (г. Казань, [www.elina-computer.ru](http://www.elina-computer.ru)), Департамент имитационного моделирования компании IBS (г. Москва, [www.ibsd.ru](http://www.ibsd.ru)), Ленгипромез (Санкт-Петербург), Новые исследования и разработки проводятся в РАН: Вычислительный центр РАН, ИПУ РАН, ИСА РАН, ИППИ РАН, ИПИ РАН, СПИИРАН, институты СО РАН и др.

5. *Появился целый ряд российских разработок, конкурентоспособных на мировом рынке* (табл. 3).

Таблица 3

### Пример инструментальных средств ИМ, разработанных в России

№	Наименование	Данные о разработчике
1	Имитационная платформа Фантомат	Департамент систем имитационного моделирования IBS, г. Москва, Дмитровское ш., 9-б, <a href="http://www.libs.ru">www.libs.ru</a>
2	Профессиональный инструмент моделирования AnyLogic	Экс Джей Текнолоджис, 194021, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 21, <a href="http://www.xjtek.com">www.xjtek.com</a>
3	Интерактивная система ИМ ISS2000	Национальный технический университет «Киевский политехнический институт», Украина, г. Киев (автор Томашевский В.Н.)
4	Распределенная система ИМ для локальной сети в среде QNX (ОС семейства UNIX)	Институт вычислительной математики и математической геофизики (вычислительный центр), г. Новосибирск, проспект академика Лаврентьева, 6, <a href="http://www/sscc.ru">http://www/sscc.ru</a>
5	Система ИМ СМО	Томский политехнический университет, (автор — Ослин Б.Г.)
6	Общелевая система ИМ Object GPSS	Северодонецкий технологический институт, г. Северодонецк, Украина (автор — Королев А.Г.)



6. Наблюдается появление практического интереса к ИМ в реальном секторе экономики. На ряде предприятий были выполнены или выполняются серьезные проекты с применением ИМ.

7. В 2011 году было образовано некоммерческое партнерство «Национальное Общество Имитационного Моделирования» (НП «НОИМ»).

В целом на прошедших конференциях отмечалось, что, несмотря на то, что к настоящему времени в РФ в рассматриваемой предметной области (имитационное и комплексное моделирование сложных объектов и систем) были получены важные теоретические и практические результаты, из-за целого ряда объективных и субъективных причин (методологических, технологических, финансовых, образовательных и т. п.) при создании и применении ИМл допускается множество ошибок и некорректностей, а эффективность использования ИМл, к сожалению, продолжает оставаться низкой, еще достаточно слабо учитываются возможности современных интеллектуальных информационных технологий при организации и проведении ИМ.

### 3. Современное состояние и проблемы развития имитационного моделирования в Российской Федерации

Рассмотрим основные проблемы ИМ и возможные пути выхода из них, которые предлагались участниками прошедших конференций ИММОД в 2003–2011 годах. В качестве таковых были выделены следующие основные проблемы [1–3, 8, 14–22]:

#### **3.1 Проблемы оценивания и анализа требуемой степени адекватности, точности, достоверности, корректности и полезности имитационных и комбинированных моделей**

Одной из центральных проблем современной теории моделирования сложных организационно-технических систем (СОТС) в целом и ИМ указанных систем в частности заключается в обеспечении требуемой степени адекватности (в широком смысле) и точности, достоверности, корректности и полезности (в узком смысле) рассматриваемого класса моделей по отношению к моделируемым объектам-оригиналам  $Ob_{<>}^{op}$ .

Данное требование является обязательным для любых случаев построения моделей и моделирующих систем. При этом очевидно, что на практике следует говорить не о полной адекватности, а лишь об адекватности в некотором смысле (о требуемом уровне адекватности). Для СОТС одна модель может отражать лишь какую-либо сторону, аспект прототипа, и поэтому понятие адекватности "вообще" для такой модели не существует, речь может лишь идти об адекватности отражения данного аспекта. Следует всегда оценку степени адекватности проводить с учетом того, в какой степени на данной модели могут быть достигнуты цели, поставленные при исследовании каждого конкретного вопроса, для решения которого необходимо прибегать к моделированию.

Причинами неадекватности ИМл некоторого объекта оригинала  $Ob_{<>}^{op}$  (в нашем случае — СОТС) могут быть неточные исходные предпосылки в определении типа и структуры моделей, погрешности измерений при проведении испытаний (экспериментов), вычислительные погрешности при обработке измерительной информации. Использование неадекватной модели может привести к значительным экономическим потерям, аварийным ситуациям, к невыполнению задач, поставленных перед реально существующей системой.

Вопросы создания теоретических основ имитационного и комплексного моделирования, в рамках которых проблема адекватности была бы формально и фундаментально исследована, неоднократно обсуждались на конференциях ИММОД.

Так, полемизируя с многочисленными заявками на разработку «общей теории ИМ», в пленарном докладе ИММОД-2007 Ю. И. Рыжиков, Б. В. Соколов и Р. М. Юсупов [3] показали целесообразность генезиса обсуждаемой научной дисциплины как синтеза ряда областей «чистой» и прикладной математики в рамках междисциплинарной отрасли системных знаний. Однако, на той же конференции Н. Б. Кобелев [3] предложил формальное описание структуры универсальной имитационной модели многоагентного моделирования открытых систем. Претензия на универсальность (и не только в этом докладе) должна быть сразу отклонена уже с философских позиций и по опыту создания программных систем самого различного назначения. Предложения докладчика относятся в лучшем случае к предпроектной стадии; какие-либо сравнения с аналогичными идеями и разработками, а также выводы отсутствуют; компьютерная эффективность в связи с непомерной нагрузкой на диспетчер наверняка окажется низкой.

С. В. Акимов [2] также предлагает универсальную имитационную модель, но с оговоркой – для «класса объектов». Правда, этот класс никак не определяется. Далее он описывает трехуровневый процесс разработки прикладной модели: идентификации, спецификации и имитации. Синтез конечного продукта предлагается проводить на основе модульного программирования – на самом деле имеется в виду сборочное программирование (хотя бы и с использованием модулей).

В докладах Соколова Б.В и его соавторов [2-3] в связи с этим подчеркивалась необходимость и актуальность развития в настоящее время общей теории оценивания качества моделей и полимодельных комплексов (квалиметрии моделей). Также в указанных докладах отмечалось, что для конструктивного решения общей проблемы оценивания и управления качеством моделей (выбора наиболее предпочтительных моделей) надо, в первую очередь, исследовать следующие *частные проблемы* (комплексы задач): провести описание, классификацию и выбор системы показателей, оценивающих качество моделей и полимодельных комплексов; разработать обобщённое описание (макроописание) различных классов моделей (макромодели), позволяющее, во-первых, устанавливать взаимосвязи и соответствия между видами и родами моделей, и, во-вторых, сравнивать и упорядочивать их, используя различные метрики; разработать комбинированные методы оценивания показателей качества моделей (полимодельных комплексов), заданных с использованием числовых и нечисловых (номинальных, порядковых) шкал; разработать методы и алгоритмы решения задач многокритериального анализа, упорядочения и выбора наиболее предпочтительных моделей (полимодельных комплексов), управления их качеством; разработать методологические и методические основы решения задач многокритериального анализа и синтеза технологий комплексного (системного) моделирования сложных объектов.

Указанные проблемы и методические основы их формализации и решения, дополненные разработкой понятийно-терминологической и методологической базы могут, в этом случае, уже рассматриваться как компоненты новой прикладной теории - квалиметрии моделей. В ходе проведения конференций предлагались варианты решения перечисленных проблем. Так, например, в докладе В. А. Пепеляева [2] определялись базовые понятия, связанные с достоверностью моделирования. Концептуальная модель на основе предположений относительно абстракции от реальности определяет иерархическую структуру исследуемой модели и связи между отдельными ее компонентами. *Квалификация* концептуальной модели есть подтверждение принятых согла-

шений и предположений для выбранной области применения. Модель взаимодействий отображает динамику функционирования системы, а ее *верификация* есть подтверждение корректности отображения взаимодействий объектов и динамики исследуемой системы в целом. Имитационная модель рассматривается как программный образ концептуальной модели, определенный на одном из высокоуровневых объектно-ориентированных языков программирования (моделирования). Верификация модели предполагает доказательство возможности использования создаваемой программной модели в качестве машинного аналога концептуальной модели при достаточном сходстве с последней. *Валидация данных* должна быть направлена на доказательство удовлетворительной точности входных данных и корректности их использования. Тестирование модели есть планируемый интерактивный процесс, направленный на поддержку процедур верификации и валидации имитационной модели, в том числе на поиск ошибок в программах. В докладе приводится ряд методических рекомендаций по отдельным этапам обеспечения достоверности. Четкость предложенных определений оставляет желать лучшего, а названные понятия явно не ортогональны (имеют пересечения). Валидация данных не должна связываться с корректностью их использования.

В близком по содержанию докладе И. В. Яцкив [1] вводились некоторые дополнительные понятия. В частности, если модель и ее результаты приняты пользователем и применяются для принятия решений, то модель считалась *заслуживающей доверия* (credible). Далее обсуждались процедуры проверки адекватности: концептуальные, операционные, основанные на выходных данных. Концептуальные тесты включают проверку постановки задачи моделирования, входных данных, структурных допущений, логическую валидацию. Операционные тесты анализируют адекватность поведения модели; включают тесты на непрерывность, анализ чувствительности, анализ вырождения, анализ анимации. Анализ риска состоит в определении вероятностей редких, но крайне нежелательных событий (ядерный инцидент, экологическая катастрофа, авария энергосистемы, финансовый крах). Как особая категория рассматриваются тесты, основанные на выходах. Здесь модель при реальных входных данных должна порождать близкие к реальным выходным. Разумеется, исследователь должен располагать последними. Возможный подход к оценке адекватности модели - тест на статистическую однородность совокупности реальных и модельных выходных данных.

В докладе А. В. Кана [3] были приведены алгоритмы формирования репрезентативных потоков воздушного движения в регионе, гарантированно включающих наиболее проблемные варианты часовых входных потоков и в то же время менее объемных, чем полные исходные полетные данные. Анализ, выполненный по критерию Вилкоксона, показал [3], что сформированные репрезентативные потоки принадлежат к одной генеральной совокупности с исходными потоками с вероятностью не менее 0.95.

В докладе И. И. Савеловой [4] рассматриваются вопросы внедрения имитационной модели финансовых потоков на предприятии приборостроения. Для валидации результатов имитационной модели финансовых потоков был выбран метод сравнения с ретроспективными данными. Алексеев А.В. в докладе [5] проанализированы факторы, особенности и пути решения проблем возрастания сложности современных эрготехнических систем (ЭТС) на основе методологии и технологии полимодельной многокритериальной оценки их качества (при одновременном использовании нескольких моделей) с оптимизацией выбора наилучшего из возможных вариантов построения, создания и эксплуатации ЭТС. В докладе Боева В.Д. [5] приведена конкретная методика сравнения качества моделирования процессов функционирования цеха, предприятия, сети связи, фирмы предоставления ремонтных услуг, полученные в GPSS World и AnyLogic, в рамках которой было установлено, что соответствующие эндогенные пере-

менные отличаются несущественно. В другом докладе, автором, которого является Конюх В.Л. [5], рассмотрены проблемы разработки методики валидации имитационной модели, построенной с использованием сети Петри, в рамках которой проводилось сравнение выходов реально существующей системы и ее модели при одинаковом входном воздействии. Для процесса транспортирования предлагается добиваться равенства грузопотоков на входе и выходе имитационной модели подземной транспортной сети шахты «Распадская». Доказательством соответствия разработанной модели процессу транспортирования является также сравнение результатов моделирования времени от начала работы источников грузопотока до появления груза на выходе транспортной сети с расчетным. Предложенные методы проверены при имитационном моделировании процесса доставки горной массы подземной транспортной сетью с 6 источниками грузопотоков, 12 конвейерами и 5 промежуточными бункерами.

Однако, к сожалению, общий объем проводимых теоретических и практических работ и полученных конструктивных результатов по данному направлению исследований еще недостаточен. Были и остаются открытыми вопросы полноты, замкнутости и непротиворечивости получаемых в рамках имитационного и комплексного моделирования научных и практических результатов, вопросы валидации и верификации комбинированных моделей, когда в их состав входят имитационные модели.

### ***3.2. Проблемы развития имитационного и комплексного моделирования на основе современной теории очередей***

В многочисленных докладах Ю. И. Рыжикова и его учеников [1-4] неоднократно поднимались проблемы современной теории очередей, являющейся теоретической базой имитационного и комплексного моделирования. Так, пленарном докладе [3] был сделан краткий обзор возможностей современной теории очередей и показана необходимость ее освоения всеми «имитаторами». В докладе совместно с С. В. Кокориным [3] были рассмотрены вопросы автоматизации расчёта стационарных характеристик для широкого класса задач систем и сетей массового обслуживания с учётом высших моментов входных распределений. Современные методы теории очередей: вложенные цепи Маркова, законы сохранения, аппроксимация фазовыми распределениями — позволили разработать пакет прикладных программ МОСТ, насчитывающий около 180 процедур. Из их вызовов формируется рабочая программа решения конкретной задачи. В основу данного пакета положены два основных принципа: использование метода моментов для подбора удобных распределений времени между прибытием заявок и времени обслуживания; применение законов «сохранения» для вычисления необходимых характеристик в стационарном режиме. В помощь непрофессиональному (не программисту и не специалисту в области теории очередей) пользователю создана оболочка А-МОСТ («Автоматизированный-МОСТ»), позволяющая по заданному набору входных данных автоматически построить решающую задачу Фортран-программу. Оболочка позволяет обрабатывать четыре группы вариантов: открытые или замкнутые системы, открытые или замкнутые сети. Исходные данные каждого варианта задаются на отдельной вкладке. В отдельных докладах [1-5] обсуждались проблемы, возникавшие на разных стадиях разработки процедур МОСТа : обоснование базовых концепций; получение аппроксимаций для промежуточных величин, способы точного расчета которых неизвестны; верификация процедур в целом. Решение значительной их части удалось получить с помощью имитационного моделирования (ИМ).

В докладе В.Г. Хлопяка [3] изложена методика моделирования систем массового обслуживания на основе применения X-агрегатов. Однако сопоставление с известными системами моделирования не сделано. В примере приведена формула для получе-

ния показательно распределенных псевдослучайных чисел  $\tau = \ln(R)/\lambda$  - с потерянными минусом, что гарантирует обратный ход модельного времени.

Н.Л. Соколов и И.А. Селезнева [4] представили результаты математической формализации процессов функционирования центра управления полетами в процессе эксплуатации космических аппаратов и получения целевой информации. Было предложено проводить численное интегрирование системы дифференциальных уравнений Эрланга и определять момент достижения конечного состояния. Известно гораздо лучшее решение более общей задачи через преобразования Лапласа распределения времени пребывания заявки в сети. Этот же метод позволяет справиться и с обсуждаемой в докладе А. М. Пуртова задачей свертки графов сетей обслуживания [4].

Методы понижения дисперсии моделирования всесторонне обсуждались в докладе А. Г. Варжапетяна [2]. Отмечались обязательность отдельных ДСЧ для каждой случайной величины и метод дополняющих переменных, причем для получения таковых в командах RMULT из GPSS-программы использовались дополняющие начальные установки. Для вычисления вероятностей редких событий применялось условное моделирование. Все эти технологии не новы, но, к сожалению, неизвестны практикам и совершенно не используются ими. Хочется надеяться, что «лед когда-нибудь тронется».

Ю. И. Рыжиков [3] провел оценку эффекта от применения методов понижения дисперсии результатов моделирования на классической задаче системы обслуживания М/М/1 (эти технологии не новы, но, к сожалению, не применяются практиками). Он предложил несколько полезных технологических приемов: логарифмическая шкала выдач, ускоренная генерация разнесенных начальных установок для мультипликативных датчиков случайных чисел, расчет эффекта условной имитации. В докладе О. И. Кутузова [7] был использован один из методов этой группы: расслоенные выборки.

Диденко Д.Г. [5] провел анализ качества псевдослучайных последовательностей, которые имеют большое значение при получении достоверных результатов. В докладе рассматриваются современные системы имитационного моделирования OpenGPSS (<http://www.simulation.kiev.ua>), GPSS World и AnyLogic, которые работают с дискретными моделями. Перечисленные системы моделирования поддерживают работу с большим количеством вероятностных распределений - от Бернулли до Вейбула (29 распределений в OpenGPSS, в рамках AnyLogic описано 27 распределений, 24 распределения используются в GPSS World). Все виды распределений базируются на равномерном распределении, качество которого и оценивается в докладе. В работе Алиева Т.И. [5] излагаются результаты исследования влияния генераторов псевдослучайных величин на погрешность моделирования высоконагруженных систем массового обслуживания. Показано, что некоторые так называемые проблемные сочетания генераторов приводят к большой погрешности определения среднего времени ожидания заявок в системе, достигающей десятков процентов. Приводятся результаты анализа проблемных сочетаний. Задорожный В.Н. в своем докладе [5] обсуждает специфические проблемы моделирования узлов компьютерных сетей, обусловленные фрактальной природой их трафика. Предлагается метод расчета буферов фрактальных СМО. В работе Пономарева Д.Ю. [3] представлены возможные пути применения тензорного анализа при исследовании различных классов сетей массового обслуживания.

### ***3.3. Проблемы комплексной автоматизации и информатизации процессов имитационного и комплексного моделирования сложных объектов и систем***

В настоящее время основным объектами имитационного и комплексного моделирования являются сложные процессы и системы, для которых характерно:

- комплексность и большая размерность (составных объектов и их параметров);
- иерархичность построения и наличие множества горизонтальных и вертикальных связей (в том числе и обратных);
- большая распределенность и удаленность объектов и систем в пространстве;
- наличие огромных потоков данных, информации и знаний, циркулирующих в контурах управления сложными объектами и системами;
- и т.д.

В связи с этим, безусловно, возрастает роль и значение средств анализа функционирования и прогноза поведения сложных систем. В них подобно исследуемым объектам и системам должны использоваться наиболее результативные теоретические подходы, они должны быть технологически современны, понятны и доступны исследователям. Одними из наиболее эффективных методов исследования указанных объектов и систем являются методы имитационного и комплексного моделирования. Однако построение соответствующих моделей предполагает значительные трудозатраты. Для их уменьшения разрабатывались и предлагались многочисленные инструментальные средства и среды автоматизации моделирования (ИССАМ), обсуждение достоинств и недостатков которых являлось одной из основных тем всех конференций ИММОД [1-5]. Среди ИССАМ наиболее часто упоминавшихся на прошедших конференциях и разработанных, модифицированных, поддерживаемых, распространяемых авторами соответствующих докладов, следует указать – GPSS, AnyLogic, BPSim, PowerSim, Simplex, Modul Vision, Triad.Net, CERT, ESimL, Simulab, NetStar, Pilgrim, МОСТ, КОГНИТРОН и т.д.

В результате коллективного детального обсуждения характеристик перечисленных программных средств был сформулирован ряд требований, предъявляемых к облику современных и перспективных ИССАМ. Среди них можно, в первую очередь выделить:

1. Универсальность и гибкость концепций структуризации и формализации моделируемых динамических процессов, заложенных в систему моделирования.
2. Возможность обмена между транзактами информацией об их параметрах и определения времени реализации критических событий - для непрерывных компонент процесса.
3. Наличие средств проблемной ориентации (система моделирования должна содержать наборы понятий, абстрактных элементов, языковые конструкции из предметной области исследования).
4. Применение объектно-ориентированных специализированных языков программирования, поддерживающих авторское моделирование и процедуры управления процессом моделирования.
5. Наличие удобного и легко интерпретируемого графического интерфейса, где схемы дискретных моделей и потоковые диаграммы реализуются на идеографическом уровне, а параметры моделей определяются через подменю.
6. Использование развитой анимации в реальном времени.
7. Возможность реализации нескольких иерархических уровней представления модели, средствами для создания стратифицированных описаний.
8. Наличие процедур: анализа входных данных; чувствительности к ним; планирования и организации статистического эксперимента; анализа поверхности отклика и процедур оптимизации и др.

Анализ показывает, что из современных инструментальных систем ИМ много докладчиков использовало GPSS и ее производные, которые по-прежнему остаются самыми популярными языками моделирования в преподавании и практическом исполь-

зовании. Версиям GPSS/PC были посвящены доклады В. В. Афолина и С. А. Власова [2-3]. А. Г. Варжапетян использовал язык GPSS/H в процедуре бенчмаркинга, Д. В. Турчановский применял GPSS/H-Proof со средствами анимации и поддержкой стратифицированных описаний. В докладе Р. Г. Гиниятуллина обсуждалась работа на GPSS World с широким использованием средств языка PLUS [2-3].

Один из докладов Ю. И. Рыжикова на ИММОД-2003 был посвящен тестированию и комплексной оценке самой популярной версии - GPSS World [1]. В качестве недостатков этой системы были отмечены:

1. Громоздкость системы и явная перегруженность встроенными возможностями (многообразие примитивов).
2. Медленная работа интерпретатора.
3. Отсутствие концептуального единства (достаточно указать, например, различия в обращении к элементам матрицы при простой ссылке и изменении значения; круглые индексные скобки в основном тексте и квадратные - в PLUS-выражениях; обязательность приставки MX при ссылке на глобальную матрицу в тексте модели и столь же обязательное ее отсутствие внутри процедур; контекстно зависимый вид ссылок на параметры активного транзакта).
4. Неудачные обозначения операторов отношения L, G, E (было бы лучше согласовать с фортрановскими); арифметическое SQR используется для квадратного корня (в Паскале так обозначается квадрат); состояние логических ключей указывается как SET или RESET (буквально -- установлен и установлен заново) вместо более естественных ON, OFF; операнд RE означает удаление (вместо общепринятого DEL).
5. Однократность прерываний устройств и недопустимость прерываний для памяти, которые могут быть использованы для моделирования многоканальных устройств обслуживания и, следовательно, окажутся подверженными прерываниям.
6. Отсутствие средств подбора параметров распределений по заданным моментам, что практически обесценивает включенные в систему генераторы.
7. Невозможность создания программы, имеющей *комментарии* с кириллическими символами.
8. Невозможность менять тип шкал графиков (только линейные) и их разметку; цвет и структуру линий, что может сделать их неотличимыми друг от друга и/или от фона при черно-белом выводе.
9. Исключительно временной аргумент графиков, так что распределение вероятностей состояний системы автоматически построить нельзя. Кстати, для такого графика обязательна *логарифмическая* шкала.

В ряде докладов на последующих конференциях рассматривались возможные пути преодоления недостатков этой системы, погружая ее (точнее, заново реализуя некоторый аналог) в среде Delphi или используя Delphi-генератор GPSS-программы.

В пленарных и многочисленных секционных докладах, представленных на ИММОД-2011 (Власов С.А., Девятков В.В., Девятков Т.В, Александров В.В.), были показаны дальнейшие перспективные пути совершенствования GPSS World, базирующиеся на сервис-ориентированных подходах, облачных вычислениях, использовании 3D графики и технологий интеллектуального управления и моделирования.

В.Ф. Мацула [3] предложил для устранения части перечисленных и иных недостатков кроссплатформенную систему имитационного моделирования GPSS For All. В язык добавлены ранее не встречавшиеся блоки, позволяющие обращаться к параметрам не только текущего, но и любого присутствующего в модели транзакта. Рассматривался также транслятор исходного текста.

Д.Г. Диденко сообщает о разработке новой распределённой дискретно-событийной системы моделирования OpenGPSS. Приведен фрагмент программы моделирования одноканальной СМО, в которой средний интервал между заявками равен 10, а среднее время обслуживания – 15 (!?). Это соотношение вызывает ряд вопросов.

А. В. Габалин [3,4] описывает универсальную систему имитационного моделирования УСИМ, предлагая различные подходы к оптимизации проведения машинных экспериментов с ее помощью для решения задачи проектирования и коррекции структуры различных сложных систем. Сообщается, что «имитационные модели написаны на языке GPSS». Этот тезис порождает много вопросов к докладчику.

Используя возможности визуального моделирования и современные технологии дизайна и анимации, можно существенно ускорить имитационные исследования. В докладе С. В. Терентьева [2] дан полезный обзор и сопоставление применяемых в России зарубежных и отечественных пакетов моделирования. Материалы того же содержания распространялись и на подготовленном В. Л. Конюхом компакт-диске.

В многочисленных пленарных и секционных докладах А. В. Борщева и его коллег [2-5] представлен новый профессиональный инструмент -- AnyLogic, который объединяет объектно ориентированный подход, визуальное проектирование, дружественный графический интерфейс, язык Java, агентные технологии, теорию гибридных систем. Визуализация динамики процессов и статистическая обработка случайных параметров являются встроенными и выполняются автоматически. Следует отметить заметный рост числа докладов об исследованиях, выполненных на этой чрезвычайно мощной системе в последние четыре года.

Коммерческие симуляторы представлены и специализированы рядом докладчиков по отраслям промышленности: eMPlant (машиностроение), DELMIA (судостроение), NETRAC (телекоммуникации и связь). Ю. И. Толуев [3-4] отмечает, что решение задач с преобладанием логистических аспектов может быть получено с помощью любых коммерческих симуляторов; чаще всего это GPSS, Simula, Arena, AutoMod, eMPlant, Extend, Process Model, QUEST, SIMFACTORY, Taylor ED, WITNESS. Сколько-нибудь систематизированные сведения по большинству названных пакетов отсутствуют. По А. В. Борщеву, Arena, Extend, ProModel, SimProcess используют ту же концепцию транзакта, что и GPSS.

В многочисленных докладах К. А. Аксенова и его коллег [2-5] отмечается, что система BPsim обеспечивает поддержку всего жизненного цикла создания и применения имитационной модели и опирается на аппарат динамических экспертных систем, что в значительной степени освобождает ее от недостатков наиболее популярных симуляторов. В ней определены следующие классы объектов: операции, ресурсы, средства, процессы, источники и приемники ресурсов, перекрестки, параметры. Отдельно выделены информационные типы ресурсов: сообщения и заявки на выполнение операций. Параметры процесса задаются функцией от характеристик объектов и могут быть производными (свертка различного типа характеристик) и консолидированными (свертка одноименных характеристик нескольких операций процесса). Описание причинно-следственных связей задается специальными объектами.

Любой специализированный инструмент имитации обладает встроенным интерпретатором модели, который не может не иметь ограничений и логика которого, как правило, остается неизвестной пользователю в полном объеме. Кроме того, работа с такими инструментами не способствует уяснению принципов моделирования вообще и имитационного - в частности. Поэтому остается актуальным создание имитационных моделей на языках широкого применения. В этом контексте язык программирования C++ благодаря объектной ориентации и использованию его при написании ядра опера-



ционных и моделирующих систем облегчает интеграцию с последними вновь разработанных расширений и надстроек.

В докладе К. В. Воронцова [2] модель решения финансовых задач была реализована на C++ в виде динамической библиотеки функций. Аналогичные решения для моделирования дискретных событиями в стиле Simula обсуждались в докладах В. В. Окольниковичева о разработке АСУ технологическим процессом, Л. М. Местецкого и Д. В. Щетинина в связи с имитацией работы аэропорта Шереметево.

В докладе В. Н. Томашевского [2] пропагандируется язык SLX, представленный как объектно-ориентированный GPSS. Новым здесь является написанный на C++ лингвистический процессор, который по интерактивно формируемому заданию строит GPSS-программу. В другом своем докладе В. Н. Томашевский [2] отмечает, что современные программные средства благодаря использованию типовых компонент и графического интерфейса позволяют автоматизировать построение модели; однако средства имитации, в которых нет возможности ввести новые моделирующие конструкции, обязательно окажутся неподходящими для некоторых практических ситуаций. Далее он заявляет, что «данную проблему можно решить путем использования генератора программ, которые создаются на некотором языке моделирования. В этом случае квалифицированный пользователь сможет изменить код программы». Нетрудно видеть, что возможности такой системы не могут выйти за рамки таковых для ее нижнего уровня, и SLX сохранит все ограничения GPSS.

Недостатками C++ справедливо считаются неудобство программирования и трудность сопровождения программ. Корень этого и других недостатков данного языка - лежащая в его основе статическая типизация. Те же недостатки присущи языкам Java, Object Pascal, Delphi. Поэтому альтернативой может явиться SmallTalk - объектно ориентированный язык с динамической типизацией. Другой причиной сложности программирования на C-подобных языках является их ориентация на проблемы системного, но не прикладного программирования.

Представленная С. Н. Ковалевым [2] система SIMPAS разработана в МГТУ им. Баумана на языке Pascal. Она предназначена для имитационного моделирования дискретных и непрерывных систем и отличается простотой и компактностью записи моделей. Помимо паскалевских, в ней предусмотрены специфические типы скалярных и множественных данных. К типу «объекты» отнесены транзакты, приборы, очереди, накопители и др. Для действий над ними используются специальные процедуры. Форма записи моделей напоминает GPSS.

О. А. Савина [4] докладывала об Events Modeling Language (EML), построенном как отдельный программный модуль в Borland Delphi. Здесь имеется примерно такой же перечень видов объектов. Объекты организованы в динамические списки. С. А. Лазарев описывал построенную на EML имитационную модель единичного и мелкосерийного производства. Аналогично построена и используется система SMPL (доклады С. В. Терентьева и О. А. Савиной).

Ряд докладчиков предпочел моделирование на «универсальных» языках программирования. О работе на Фортране докладывал В. В. Миняев. На Фортране же Ю. И. Рыжиков на ИММОД-2003 проводил сравнительное тестирование GPSS и ставил имитационные эксперименты при разработке аналитического метода расчета многоканальных приоритетных систем. В частности, оценивались издержки использования встроенных в GPSS средств визуализации: все окна закрыты - 4 с, выводится таймер - 97 с, открыты окна блоков и таймер - 5271 с (почти полтора часа). Реализация той же модели на Фортране потребовала 0.05 с.

Е. С. Ершов и Е. Б. Юдин [4] сообщают: «Имея достаточный опыт в разработке как имитационных моделей, так и библиотек для Anylogic 6 и проанализировав преимущества и недостатки существующим систем имитационного моделирования (СИМ), коллектив “Лаборатории имитационного моделирования imlab” принял решение о необходимости создания собственной СИМ». Хотелось бы, однако, ознакомиться с аргументацией.

Далее следует более подробное описание СИМ SimuLab и ее ключевых особенностей. Вызывает интерес сообщение о высокопроизводительном дискретно-событийном «движке»: сообщается, что оптимизация кода движка и использование специальных структур хранения данных позволило сократить временные затраты на проведение имитационных экспериментов в 4-5 раз.

Пользователю предоставляется возможность создания 3D анимации не только во время имитационного эксперимента, но и при пост-обработке, что значительно снижает нагрузку на компьютер. В докладах на конференциях ИММОД в качестве концептуальной основы ИМ часто предлагалось рассматривать сети Петри и агрегативные системы. Сети Петри были в большой моде лет 20 назад, когда с их помощью надеялись рассчитывать дискретные процессы без имитации. В подавляющем большинстве применений от обычных имитационных моделей они отличаются лишь большим наукообразием и специфической терминологией. В докладе Р. Г. Загидуллина [2] предложены метод синтеза сетей Петри на базе функциональных подсетей и реализующий его программный продукт. П. В. Гречишкин [3] для имитации процесса очистных работ в длинном забое использовал проблемно ориентированный имитатор сетей Петри.

По В. Л. Конюху, имитация шахтных робототехнических систем сетями Петри позволила выбрать структуры роботизированных технологий горных работ и обосновать требования к шахтным роботам, решить вопросы повышения степени использования оборудования, согласования работы единиц оборудования, появления и устранения отказов, обеспечения отказоустойчивости, распределения функций между оператором и компьютером, выбора тактики управления, проектирования системы управления. Он же докладывал об имитаторе сетей Петри, ориентированном на непрограммирующихся пользователей и работающем как в тактированной системе, так и в схеме «от события к событию». Главным требованием было обеспечение работы с имитатором непрограммирующего пользователя, умеющего отображать поведение системы в виде сети Петри. Такого пользователя, однако, трудно себе представить. На базе этого имитатора предложен цикл лабораторных работ, ориентированных на различные задачи горного дела.

К сожалению, и в тексте пленарного доклада В. Л. Конюха на ИММОД-2009 не нашлось места для сравнения сетей Петри с другими технологиями моделирования.

В. Е. Парусов [4] занимался автоматизацией модельных исследований функционирования сложных информационных систем с помощью модифицированных сетей Петри (метод табличных вычислений). Приводится алгоритм определения возможности выборки маркеров из входных позиций для *синхронной* сети Петри. Предлагается алгоритм определения возможности перемещения маркеров в выходные позиции. Описан алгоритм прогнозирования ближайшего времени срабатывания временной сети Петри. Рассмотренный алгоритм был успешно применен для оценки предельной пропускной способности подсистемы обмена информацией АСУ военного назначения, выявления компонент «риска» и выработки рекомендаций по совершенствованию программно-аппаратных средств АСУ.

Д. В. Кочкин [4] приводит модели коммутатора и небольшой сети, построенные с использованием *нейронечетких* сетей Петри. В докладе правильно оговорена специфика

ка «нейро», о которой часто забывают – неопределенность имеет нестохастический или субъективный характер. Сообщается о построении моделей сетевого оборудования (рабочая станция, коммутатор, канал передачи данных), которые можно комплексировать. Общая модель записывается в виде сценария.

Говоря об агрегативном моделировании (кусочно-линейные агрегаты - КЛА) необходимо отметить, что данный подход по существу содержится в классическом событийно-ориентированном дискретном имитационном моделировании. Оно просто описывает процесс в иных терминах, и его применение в значительной степени является делом вкуса или привычки. КЛА использовались в докладе А. А. Молева [3] о полунатурном моделировании радиоэлектронных систем, причем для описания агрегатов, их состояний и операторов применялся объектно-ориентированный подход. В докладе В. Г. Хлопяка [4] введение упрощенных X-агрегатов рассматривается как универсальный подход к созданию имитационных моделей. «Определение агрегата строится из общих представлений о характере функционирования объектов реального мира», однако сущность упрощения четко не прописана. Предлагаемые основной и оперативный «почтовые ящики», по сути, не отличаются от цепей GPSS будущих и текущих событий соответственно. Большое количество докладов на конференциях ИММОД было также посвящено рассмотрению других отечественных ИССАМ, среди которых следует, в первую очередь выделить BPsim, Modul Vision, Triad.Net, CERT, ESimL, Simulab, NetStar, Pilgrim, МОСТ, КОГНИТРОН [1-5].

#### **3.4. Проблемы интеллектуализации и гибридизации инструментальных средств и сред имитационного и комплексного моделирования**

Анализ перечисленных ранее особенностей формального описания и исследования сложных объектов и систем, постоянно проводимый в ходе ИММОД, показал, что при моделировании и управлении данными объектами и системами следует базироваться на концепциях и принципах, положенных в основу современных технологий системного (комплексного) моделирования [6-10]. Более того, как показывает анализ, при решении актуальных в современных условиях проблем структурно-функционального синтеза облика гибридных интеллектуальных системы управления (ГИСУ) СОТО целесообразно рассматриваемые технологии системного моделирования, традиционно связанные с количественными вычислениями, дополнить интеллектуальными информационными технологиями (ИИТ), ориентированными на символьную обработку информации. К указанным информационным технологиям принято относить [7-10, 14-20]:

- технологии экспертных систем (Expert Systems) или систем, основанных на знаниях (Knowledge-Based Systems);
- технологии нечёткой логики (Fuzzy Logic);
- технологии искусственных нейронных сетей (Artificial Neural Networks);
- технологии вывода, основанного на прецедентах (Case Based Reasoning, CBR) CBR-технологии;
- технологии естественно-языковых систем и онтологии;
- технологии ассоциативной памяти;
- технологии когнитивного картирования и операционного кодирования;
- технологии эволюционного моделирования.

Наибольший интерес на последних трех конференциях ИММОД был связан с мультиагентными технологиями имитационного моделирования. Различным аспектам

проведения исследований сложных объектов и систем с использованием данных технологий было посвящено более 50 докладов [3-5]. При этом в указанных докладах отмечалось, что главной чертой сложных социально-технических систем является наличие значительного числа субъектов, действующих относительно обособленно и имеющих возможность влиять на систему и другие субъекты путем принятия определенных субъективных решений. Эта ситуация идеально реализуется в технологиях объектно-ориентированного программирования (ООП). Оно основано на представлении программы в виде совокупности объектов, каждый из которых является экземпляром определенного класса, а классы образуют иерархию с наследованием свойств. Взаимодействие объектов в такой системе осуществляется путем передачи сообщений.

Модель интеллектуального агента включает: имя агента, его цели, приоритет, базу знаний, виды входящих и выходящих сообщений, сценарии поведения, множество управляемых объектов преобразования ресурсов; место агента в иерархии начальников и подчиненных. Основными объектами агентной модели процесса преобразования ресурсов являются: операции, ресурсы, команды управления, средства, процессы, источники и приемники ресурсов, перекрестки, параметры, агенты. Для придания им достаточной автономности распределенные интеллектуальные системы должны проходить обучение (самообучение).

А. В. Борщев пропагандировал для решения задач данного класса систему AnyLogic и демонстрировал разнообразные примеры ее использования – в частности, для исследования динамики употребления агентами алкоголя в России и ассимиляции испаноязычного населения США.

В докладе А.В. Шатрова обсуждалась агентная имитационная модель развития региональной экономики. «Массовые» агенты «Банк», «Производитель», «Собственник», «Население» представляют совокупности реальных субъектов экономики. Массовые агенты благодаря конкуренции, подражанию и специализации субъектов ведут себя более регулярно и рационально, чем каждый из составляющих его субъектов. Поэтому их совокупное поведение считается возможным описывать вариационным принципом – максимизацией целевого функционала в рамках наложенных ограничений.

И. Г. Поспелов (уже упоминавшийся доклад группы акад. А. А. Петрова) рассматривал объекты макроэкономической системной динамики как макроагентов, в процессе взаимодействия которых устанавливаются ключевые параметры модели (цены). В докладе А. И. Микова обсуждалось автоматическое доопределение имитационной модели агента. Процесс доопределения описывается в терминах формальных грамматик. Термин «рутина» в докладе не определен и к тому же цепляется за понятия подпрограммы (subroutine) и маршрута (route). По мнению автора доклада, его предложения «позволяют избавить исследователей от рутинной работы».

В докладе А. А. Емельянова обсуждаются агентные программы, используемые для управления вычислительным процессом, процессами в коммуникационных и потребительских узлах Интернет, в социальных сетях. Поскольку актер является одновременно агентной программой, он имеет уникальную способность выполнять особенные функции преобразования модели при её выполнении (которые в любой другой системе недопустимы). Приводится краткое описание конструктора моделей Actor Pilgrim.

И. В. Котенко, а также М. В. Степашкина, А. В. Уланова и О. В. Черватюк, рассматривали многоагентное моделирование для исследования механизмов защиты информации в сети Интернет от сетевых атак (таких, как «распределенный отказ в обслуживании», распространение сетевых червей и др.). Предлагается имитация антаго-

нистического взаимодействия команд программных агентов, представляющих злоумышленников и компоненты систем защиты. Определена специфика ситуации (динамичное поведение; автономность, специализация, адаптация, способность вести переговоры и кооперироваться). Перечислены необходимые действия по защите. Выделены следующие классы агентов защиты: обработки информации, обнаружения атаки, фильтрации и балансировки нагрузки, расследования и деактивации агентов атак.

Детально обсуждается защита от распределенных атак. Строится абстрактная модель взаимодействия. Определены условия (например, степень информированности о своей и чужой команде). Описана среда ИМ (совокупность специфических модулей). Не разъяснены, однако, некоторые ключевые моменты: кем командует «мастер», как составляется команда защитников, как учитывается «нормальный» трафик со смежными узлами, как определяются возможность и успех обезвреживания. Технология собственно моделирования, как и в GPSS, строится на основе цепи будущих событий. Ядра агентов выполнены на основе сопрограмм. Многие модули параметризуемы. Обсуждаются результаты проведенных экспериментов.

В. П. Романов предложил включить в модель экономики агента, выполняющего функции переподготовки и повышения квалификации работников. Кроме того, в модели имеются биржа труда, государство, предприятие, рынок. Учитывается зависимость доли занятого населения от инвестиционной стратегии предприятия, уровня налогообложения, стоимости обучения в университете. Модель реализована в AnyLogic. Заметим, однако, что целевая функция (максимизация прибыли) записана в виде произведения – видимо, для одного продукта, тогда как предприятия предполагаются многопродуктовыми (пожалуй, даже слишком). По продуктам должна быть сумма!

Чрезвычайно интересным представляется доклад К. Ю. Шуляка. Он исследовал социально-экономических отношений, которые складываются в обществах с неевропейской экономической культурой, посредством имитационного моделирования взаимодействия агентов «с китайской спецификой».

Доклад Е. Л. Зайцевой посвящен созданию концепции построения имитационных моделей для исполняемых бизнес-процессов. Особый упор делается на систему RepastJ агентного класса. Сообщается о намерении построить набор программных продуктов.

В. К. Гулаков рассматривал распределенную координацию изменений графика проекта, работы по которому выполняют независимые субподрядчики, управляющие собственными ресурсами. Описана методология мультиагентных компенсационных переговоров, основанная на представлении полезности изменения времени как «перемещаемых денег» и использовании вариантов изменения графика для описания воздействий на график. Обосновывается необходимость коррекции оперативных планов и обеспечения их ресурсами усилиями субподрядчиков – без помощи генерального. Возникает естественный вопрос о том, как это организовывать реально, сколько на это уйдет времени и зачем вообще нужен генеральный. А. С. Зраенко и К. А. Аксенов разработали математическую модель использования мультиагентного моделирования в системах поддержки принятия решений с учетом возможности создания коалиций агентов. Б. И. Клебанов предложил мультиагентную имитационную модель муниципального образования. В его докладе класс агентов «человек» моделирует поведение индивидов или групп граждан со сходными характеристиками. Агент-человек включает базовый класс «Потребитель», моделирующий расход человеком денежных средств на удовлетворение 12 видов собственных потребностей - в зависимости от уровня дохода человека и его состояния.

А. Ф. Берман предлагает применить агентный подход для имитационного моделирования динамики состояния механических систем, но предложение сводится к умным разговорам около проблемы - никаких подтверждений расчетами.

Е. О. Кринецкий предлагает действующий прототип имитационной модели, которая может использоваться в исследованиях коллективного поведения широкомаштабных социальных систем. Имитационная модель разработана в операционной среде агентной парадигмы системы AnyLogic.

Наряду с мультиагентными технологиями широкое обсуждение на последних трех конференциях ИММОД также получили вопросы использования при ИМ таких интеллектуальных информационных технологий как генетическое и эволюционное моделирование, нейросетевые технологии в сочетании с методами развиваемыми в современной теории нечетных и мультимножеств [3-5].

Принцип действия генетического алгоритма заимствован у живой природы. Именно по такой схеме природа решает задачу формирования облика и свойств живых существ, максимально приспособленных для их среды обитания. Такое приспособление осуществляется от поколения к поколению и реализовано природой при помощи механизмов скрещивания особей (кроссинговер), их мутаций и наследования потомками признаков их родителей. Чем более приспособленной является особь, тем больше потомков она воспроизведет. А особи-потомки, в свою очередь, унаследуют характеристики приспособленности от своих родителей. Некоторые особи-потомки вследствие мутаций приобретут и новые признаки, не существовавшие у их родителей. Таким образом, суммарная приспособленность вида особей от поколения к поколению будет увеличиваться. Значение показателя качества возможного решения является мерой приспособленности особи.

Генетический алгоритм оптимизации формулируется следующим образом:

1. В пространстве поиска случайным образом задается популяция возможных решений (особей).
2. Вычисляются значения вектора функции цели для всех особей.
3. Из популяции отбираются и удаляются, например, 10% худших по значению целевой функции особей. Оставшиеся особи образуют родительскую группу.
4. Из родительской группы случайным образом выбираются пары особей в количестве тех же 10% от общего числа.
5. Новое поколение особей генерируется в результате обмена участками родительских хромосом (кроссинговер), а также мутаций.
6. Это поколение восполняет популяцию до исходной численности.

Далее этапы начиная со второго повторяются, пока во всех координатных точках значения оптимизируемой функции не станут отличаться друг от друга меньше, чем на заданное малое число. Предложена также комбинация генетического алгоритма с градиентным поиском локальных экстремумов и заменой ими «плохих» точек.

Таким образом, генетический алгоритм — это эвристический алгоритм поиска, используемый для решения задач оптимизации и моделирования путем последовательного подбора, комбинирования и вариации искомых параметров с использованием механизмов, напоминающих биологическую эволюцию. Отличительной особенностью генетического алгоритма является акцент на использование оператора «скрещивания», который производит операцию рекомбинации решений-кандидатов, роль которой аналогична роли скрещивания в живой природе. Генетические алгоритмы служат, главным образом, для поиска решений в очень больших, сложных пространствах поиска.

В Генетическом Программировании каждый индивид является некоторой программой. Размер программы ограничен. Каждый индивид кодируется сходным с ДНК

методом – в виде строки из символов одного типа. Длина строки (ДНК) постоянна. Описанная методология генетического и эволюционного моделирования нашла свое отражение применительно к ИМ в ряде докладов на конференциях ИММОД [3-5].

В докладе Г. В. Пушкарева обсуждался гибридный генетический алгоритм для планирования движения резака при термической резке металла. Предложены модификации вышеупомянутых основных операций, в которых более четко прописаны вероятностные и имитационные элементы. Оператор разнообразия улучшает особь методом спуска. Оператор селекции уничтожает большую часть популяции, заменяя ее лучшим материалом. К.О. Боченина для оптимизации системы предлагает схему Беллмана (термин «динамическое программирование» не используется), дополненную генетическими алгоритмами пошаговой оптимизации. В докладах Аксенова К.А., Замятиной Е.Б., Микова А.И. и их коллег обсуждались вопросы использования генетических алгоритмов при формировании технологий гибридного моделирования сложных объектов и процессов. Важная роль в рамках указанных технологий отводится нейронным сетям.

Нейронная сеть (НС) есть набор связанных между собой нелинейных элементов – нейронов. Работа нейросети состоит в преобразовании входного вектора в выходной. Возможности сети возрастают с увеличением числа нейронов, количества связей между ними и числа внутренних слоев (каскадов). Настройка сети производится изменением интенсивностей связей между нейронами. Этот процесс называется обучением НС и выполняется по определенным правилам, определяемым исходной информацией относительно объекта управления. При отсутствии эталона обучение проводится «без учителя» - с помощью генетических алгоритмов, в ходе реализации которых меняются упомянутые интенсивности. Как генетические алгоритмы, так и нейронные сети в ряде докладов обсуждались применительно к оптимизации имитационных моделей. В связи со сказанным в докладах Ковтуна Л.И. и его коллег [4-5] обсуждались проблемы упрощающего имитационного моделирования, которое использовалось в сочетании с нечеткой логикой, алгеброй суждений и нейросетевыми технологиями применительно в сфере современного кораблестроения. Для указанной предметной области Осиповым В.Ю. также предложены оригинальные подходы к автоматизации процессов управления, базирующиеся на интеллектуальных геоинформационных технологиях.

### ***3.5. Проблемы организации распределенного имитационного и комплексного моделирования, визуализации моделирования***

Несмотря на рост производительности современных компьютеров, их мощности не хватает для моделирования задач, связанных с самолето- и автомобилестроением, логистикой, сборочным производством и т. п., когда имитационные прогоны моделей могут длиться часами. Одним из вариантов решения этой проблемы является использование параллельного и распределенного дискретно-событийного моделирования. В этой области есть даже стандарт HLA – High Level Architecture.

Однако многие разработчики имитационных моделей отмечают сложность реализации этого стандарта, а также неприемлемость его для языков декларативного типа вроде GPSS из-за объектной ориентации HLA. В докладе Д. Г. Диденко [4] обсуждалась распределенная система имитационного моделирования OpenGPSS с использованием технологии взаимодействующих агентов и многосессионной клиент-серверной СУБД Oracle, позволяющей одновременно работать нескольким пользователям. В докладе А. И. Микова рассмотрена динамическая балансировка распределенной модели.

Предполагается выяснение дисбаланса во время выполнения эксперимента и перенос объектов имитационной модели с наиболее загруженных узлов на менее загруженные.

Распределенное моделирование (в смысле моделирования на многопроцессорных и многомашинных системах) в условиях России рассматривается как несколько преждевременное – главным образом в связи с недостатком заказов. В докладе А. И. Микова обсуждается его реализация в системе Triad.Net [3]. В. В. Окольников [2] представил систему распределенного имитационного моделирования «Мера», пригодную, в частности, для реализации на МВС-1000. «Мера» имеет многослойную структуру (ядро, последовательная машина, распределенная машина, коммуникационная машина) и допускает реализацию под операционными системами Linux, QNX-4, Windows – в частности, на однопроцессорных комплексах. В. В. Александров [4] рассматривает концепцию и реализацию распределенной инфраструктуры имитационного моделирования в среде GPSS World на основе SOA (сервис-ориентированной архитектуры). Предложенная инфраструктура осуществляет обработку запросов на моделирование, как в асинхронном (по умолчанию), так и в синхронном режиме. В последнем случае предлагаются возможности для синхронизации модельного и реального времени, управления процессом моделирования и передача данных в реальном масштабе времени с целью их оперативной обработки. Тот же подход обсуждался в докладе Девяткова П.В. [4]. [4] описывает архитектуру и возможности распределенной подсистемы управления моделями и обработки стандартных отчетов GPSS World. Компонента призвана помочь исследователям и аналитикам в области имитационного моделирования, в организации эффективного взаимодействия на основе корректного именования объектов совместно используемых отчетов.

В любой ИМ должны быть сохранены и легко узнаваемы такие черты моделируемого объекта, как структура, связи между компонентами, способ передачи информации. Поведение таких моделей иллюстрируется с помощью принятых в предметной области графических образов. Пакеты *визуального моделирования* позволяют пользователю вводить описание моделируемой системы преимущественно в графической форме, а также представлять результаты в виде диаграмм, графиков и таблиц, что упрощает их понимание исследователем. Это позволяет пользователю не заботиться о написании программы модели как последовательности выполняемых операторов, повысить интерес заказчиков и облегчить внедрение и применение системы. Ряд докладчиков отмечал как недостаток GPSS/W ее неспособность к «фотореалистичной» анимации. Из инструментов визуализации считается предпочтительным VRML по следующим причинам:

1. Язык является открытым, и для начального процесса обучения не нужно покупать дорогие пакеты по созданию анимации (достаточен стандартный Интернет-браузер).

2. VRML через Java Script допускает сопряжение с другими программными средствами.

3. Различные узлы VRML (LOD, SENSOR, INTERPOLATOR), а также методы прототипирования (PROTO) позволяют получать объекты различной степени детализации и повторно использовать объекты (метод порождения), что ускоряет разработку анимации.

4. VRML широко применяется в автоматизированном проектировании и, в частности, играет ведущую роль в концепции Virtual Factory.

Комплексная технология на его основе обсуждалась в докладе Р. Г. Гиниятуллина [3]. Наблюдается четкая тенденция перехода к графической среде разработки моделей: сборке их из стандартных блоков (наподобие общеизвестной системы Visio) с их по-



следующим соединением, спецификацией параметров и взаимодействия. Такие модели обсуждались в докладе Ю. И. Толуева [3].

Т. В. Девятков [4] разрабатывал визуальную среду графического построения GPSS-моделей на основе библиотеки классов для основных понятий технологических понятий (графическое представление результатов пока оставлено в стороне). Модель генерируется из стандартных элементов среды и пользовательских GPSS-шаблонов; генератор модели написан на языке PascalScript.

В системе Visual Imitak (К. М. Максимов) пользователь в главном окне модели строит модель из структурных элементов системной динамики – накопителей, темпов, констант, массивов. Затем он устанавливает связи между объектами и переменными, записывает уравнения и значения констант. В распоряжении пользователя имеется набор встроенных функций. Имитационная модель работает совместно с СУБД и допускает запросы на языке SQL.

А. В. Приступа [2] представил инструмент объектного моделирования ObjectSim. Модель собирается из стандартных элементов, для каждого типа которых имеется окно настройки. Допускаются авторские компоненты пользователя. Каждая компонента имеет порты входа и выхода, переменные и константы. Пользователь может написать собственные обработчики для процессов входа и выхода в элемент и сбора нетипичной статистики. Языком написания кода служит PascalScript. Возможна интеграция системы с Microsoft Word и Excel, экспорт графики в популярные форматы BMP, JPEG, WMF.

### ***3.6. Проблемы практического использования результатов имитационного и комплексного моделирования***

Вопросам практического использования результатов имитационного и комплексного моделирования сложных процессов и систем уделялось особое место на всех проведенных конференциях. Организационно данные вопросы рассматривались на отдельной секции. Интегрально на данной секции на пяти конференциях ИММОД было сделано более 230 докладов [1-5].

Если говорить о сценариях использования ИМ в практике, то наиболее типичные из них (по А. В. Борщеву) таковы:

1. Модель полностью встроена в производственный или бизнес-процесс и при выполнении соответствующих операций запускается автоматически.
2. Модель оформлена в виде утилиты, регулярно запускаемой вручную при принятии оперативных решений.
3. Модель оформлена в виде игры, используемой при обучении сотрудников.
4. Модель создается для оценки и сравнения вариантов предполагаемых изменений (модернизации) или для выработки оптимальной стратегии.
5. Модель создается ради динамической визуализации (демонстрации) проектируемого объекта – как дополнительный аргумент для руководства или потенциальных заказчиков.

Судя по продажам становящегося все более популярным отечественного пакета AnyLogic, активнее всего ИМ интересуются в металлургии, нефтегазовой отрасли, производстве стройматериалов, пищевых продуктов.

В этом подразделе обзора будут перечислены основные области применения разработанных докладчиками имитационных моделей. Сводный перечень применений выглядит следующим образом: предоставление услуг связи, сети передачи данных; управление подвижными (космическими) объектами, воздушным и автотранспортным

движением; организация промышленного производства (ГПС, обувное, мелкосерийное, сборка персональных компьютеров, разработка программного обеспечения); проектирование рыбообрабатывающих комплексов на судах промыслового флота; космическая сварка; информационное противоборство, блочное шифрование; динамика таймырской популяции северных оленей; региональные экономические системы; лечебно-эвакуационные мероприятия в аиадивизии; налоговое и пенсионное законодательство, обращение граждан в органы государственного управления; бюджет домашних хозяйств; подготовка специалистов по управлению железнодорожным транспортом и магистральными трубопроводами. В нижеследующем обзоре они по возможности сгруппированы.

### *Государственное и корпоративное управление.*

Из этого направления отметим доклад А. Р. Горбунова об имитационных моделях построения финансовых планов; А. В. Шатрова об имитационной модели развития региональной экономики; А. А. Громовой о моделировании баланса интересов в системах принятия решений по управлению научно-промышленным комплексом г. Москвы; Б. И. Клебанова о мультиагентной имитационной модели муниципального образования (в последней класс агентов «человек» моделирует поведение индивидов или групп граждан со сходными характеристиками).

Н. Н. Лычкина докладывала об имитационном моделировании социально-экономического развития регионов и о современных технологиях имитационного моделирования и их применении в информационных бизнес-системах и системах поддержки принятия решений.

В докладе И. Г. Поспелова рассмотрена система ЭКОМОД для разработки и исследования динамических моделей экономики. Система поддерживает все этапы работы с моделью: от написания соотношений до расчетов и анализа результатов, и реализована в среде компьютерной алгебры Maple. Разработанная технология моделирования была использована при создании модели для оценки теневого оборота в российской экономике по заказу Агентства по налогам и сборам РФ. В этой модели развитие экономики описывается как результат взаимодействия производителей, банков, домашних хозяйств, собственников, государства. Полное описание модели состоит из 92 разнородных равенств, неравенств и условий дополненности, связывающих 73 переменных и содержащих 34 параметра. Значения параметров были определены из различных соображений, в том числе воспроизведения показателей развития экономики за 2000-2003 гг. Приведены результаты расчетов по модели значений трех наблюдаемых величин: реального ВВП, темпа инфляции и объема кредитных вложений за 16 кварталов в сопоставлении со статистическими данными. На будущее модель прогнозирует постепенное затухание экономического роста при сохранении достаточно высокой инфляции и усилении колебаний.

В докладе А. В. Горохова разработан комплекс имитационных моделей основных отраслей экономики Мурманской области. С помощью моделей отыскиваются внешние и внутренние параметры, наиболее влияющие на поведение региональной социально-экономической системы. В докладе М.С. Кобылкина сделан акцент на социальные сферы (здравоохранение, жилой фонд, социальное обеспечение, образование, культуру), а также описание демографических, экономических и финансовых процессов. Модель позволяет проводить прогнозирование социально-экономического развития региона, уровня жизни и выполнять комплексный анализ вариантов управленческих решений по перспективному социально-экономическому развитию регионов.

Е. В. Крысов анализировал бюджет домашних хозяйств на примере статистической выборки города Кирова. Выполненный анализ подтвердил существенное расслоение общества. Автор обращает внимание на прискорбную закрытость социально-экономической информации.

С помощью системы КОГНИТРОН (два доклада В. Е. Марлея) решались задачи прогнозирования и балансирования планов в макроэкономике, разработаны модели годового и пятилетнего планирования для Госплана РСФСР, эколого-экономическая модель озера Севан, модель процесса производства стекла, модель энергоснабжения судна.

А.Н. Швецов моделировал эффективность рассмотрения обращений граждан в отделе писем и приема граждан правительства Вологодской области.

Ю. Морозова предлагает модель пенсионной системы, реализованную методами системной динамики и включающую следующие подсистемы: население, формирование пенсий, пенсионный фонд, инвестиционный портфель, финансовый рынок.

### ***Организация промышленного производства***

Типичные модели обычно включают: детальные модели производства, позволяющие проводить анализ узких мест; комплексное управление логистическими процессами; выбор эффективных стратегий управления запасами; анализ финансово-экономического состояния предприятия; оперативное и календарное планирование. Большинство ответственных решений принимается в ходе диалога - с помощью интерактивных процедур, запускающих имитацию реальных процессов для различных альтернатив.

Отметим новые и уже ставшие общими тенденции в применении имитационных моделей. Помимо исследовательских и проектных работ, они используются (В. В. Окольников):

- в отладочном стенде для комплексной отладки подсистем АСУ ТП;
- в тренажере для обучения и аттестации управляющего персонала;
- в оперативном контуре управления АСУ ТП для предсказания нежелательного поведения реальной системы, выдачи предупреждений и рекомендаций персоналу.

Данная модель разрабатывалась для АСУ работой тепловентиляционного оборудования Северо-Муйского тоннеля (трасса БАМ).

Е. А. Бессмертнова рассматривала методику пошагового гибридного моделирования стратегии взаимодействия промышленных предприятий при разработке и производстве высокотехнологичной продукции. Для формализации задачи на первом этапе применялись интеллект-карты. Функциональная модель организации взаимодействия предприятий записана в нотации стандарта IDEF0. Многокритериальная оптимизация проводилась средствами AnyLogic.

### ***Горное дело***

По В. Л. Конюху, в данной сфере имитационное моделирование используется с 1958 г. В 1960-х гг. с помощью моделирования на Фортране анализировали работу шахтной транспортной сети, процессы камерной выемки, взаимодействие самосвалов и экскаваторов на разрезе, работу рельсового транспорта на поверхности. В последние годы модели горного дела чаще всего разрабатывают на GPSS/H. Имитационные эксперименты с моделью горных работ позволяют до реальных инвестиций в производство ответить на вопросы:

- какие изменения техники и технологии приведут к увеличению производительности?

- как согласовать работу участков технологической цепи?
- какое оборудование потребуется при переходе на другие участки добычи?
- какое расписание участков эффективнее?
- как продолжать работу при отказах оборудования?

Конкретными объектами моделирования послужили:

1. Сеть конвейеров шахты «Распадская».
2. Диспетчеризация конвейерно-локомотивного транспорта шахты «Комсомолец».
3. Взаимодействие экскаваторов и самосвалов на разрезе «Кедровский».
4. Технологии проведения выработок (комбайновый и буровзрывной способы).
5. Компоновка оборудования очистного забоя.

П. В. Гречишкин для имитации процесса очистных работ в длинном забое использовал проблемно ориентированный имитатор сетей Петри.

В докладе В.Л. Конюха отмечалось, что вынужденный переход к добыче полезных ископаемых на глубине более 1 км, где остались основные запасы полезных ископаемых, будет сопровождаться повышением температуры и изменением свойств горного массива. Это сделает невозможной работу подземных горнорабочих. Идея переноса на поверхность кабины машиниста, соединенной информационным каналом с подземной машиной, с 1993 г. реализуется на крупнейших рудниках. Для рудника будущего необходимо создать распределенную в выработках сеть для обмена аудио-, цифровой и видеоинформацией в реальном масштабе времени, оснастить подземные машины средствами навигации, позиционирования и автоматического управления, сформировать алгоритмы человеко-машинного управления добычей. Их проверка на рудниках будущего потребует крупных затрат; поэтому для формирования концепции рудника будущего применен метод дискретно-событийного ИМ. Модель разработана на GPSS/H и анимирована посредством Proof Animation.

### *Металлургия*

С. А. Власов и А. Л. Генкин докладывали, что в Институте проблем управления РАН для решения задач управления интегрированными АСУТП разработана имитационная система, охватывающая участки металлургического производства от выплавки и разлива стали до прокатки на листовых и сортовых станах с различными технологическими схемами и составом оборудования. Средством интегрированного проектирования являются человеко-машинные процедуры моделирования на ЭВМ, ориентированные на конкретный класс объектов и оснащенные необходимыми для этого класса моделями агрегатов, их взаимодействия, работы систем управления и т. п. Отмечен опыт использования имитационных систем для следующих объектов металлургического производства:

- кислородно-конвертерные цехи с отделениями разлива в слитки и с отделениями непрерывной разлива;
- электросталеплавильные цеха с непрерывной разливкой;
- миксерные отделения доменных цехов – конвертерные цеха;
- технологические комплексы (конвертеры – агрегаты внепечной обработки стали – разливочные агрегаты – склады – нагревательные агрегаты);
- технологические комплексы «печи – стан» различных типов;

- технологические комплексы заготовочных и сортовых станов со складским, транспортным и другим оборудованием.

С использованием ИМ разработана методика расчета управляющих воздействий, оптимальных по критерию минимума суммарных затрат на нагрев и прокатку металла для ПК «печи - стан».

В докладе В. А. Арашкевича имитационное моделирование используется для анализа работы технологического и подъемно-транспортного оборудования конвертерного производства ОАО «Северсталь». Промоделированы варианты реорганизации отделений первичной переработки шлака, работа загрузочного пролета цеха выплавки, совместная работа ряда пролетов (ковшевого, внепечной обработки стали, раздаточного) и участка непрерывной разливки стали. Учитывались реальные графики вывода основного оборудования на техническое обслуживание и ремонт. Результатом стали выданные заказчику оптимальные циклограммы.

В докладе А. В. Абросимова сообщается, что имитационное моделирование применялось при реконструкции металлургических заводов для анализа логистических задач:

- совместной работы технологического и подъемно-транспортного оборудования на уровне цеха;
- внутризаводских транспортных потоков, включая склады полупродукта и готовой продукции, в связи с пуском новых агрегатов (цехов) и выводом из действия устаревшего оборудования.

При этом учитывались пространственное взаимодействие агрегатов на уровне кранового оборудования и вероятностный характер процессов, в частности: переменная длительность операций, совпадение требований на обслуживание, взаимные помехи при работе на одном уровне, износ оборудования. Разработана человеко-машинная процедура анализа логистических систем, сочетающая эвристические решения проектировщика с имитационными моделями на GPSS. Предложенные варианты проверяются на моделях по производительности, условиям работы оборудования (фонд времени, технология обработки технологических и транспортных потоков), задержкам в обслуживании технологических агрегатов, портфелю заказов. Затем определяются капитальные затраты на реализацию каждого из отобранных вариантов и делается окончательный выбор. Сообщалось, что использование накопленного опыта проектирования обеспечивает быструю сходимость процедуры. Приводится пример реконструкции сталеплавильного цеха ОАО «Северсталь» (замена электродуговых печей на шахтные, установка сортовой машины непрерывной разливки и реконструкция слябовой) при сохранении существующего здания цеха и подъемно-транспортного оборудования. По разделу железнодорожного транспорта определены местоположение дополнительных путей, их необходимая длина и места установки дополнительных стрелочных переводов. Рассчитано необходимое число вагонов в составе и количество локомотивов. Проведена оценка пропускной способности автомобильных дорог предприятия с учетом задержек на железнодорожных переездах.

Б. В. Панов рассматривал метод автоматизированной разработки планов локализации аварий опасных производственных объектов металлургических предприятий, в основе которого лежит агентное моделирование. Предложена оригинальная модель онтологического описания, подход к программированию агентов и алгоритм имитационного эксперимента на мультиагентной модели. Приведенная схема алгоритма, однако, относится не к разработке планов, а к их реализации.

### *Судостроение*

Опыт применения методов имитационного моделирования в задачах разработки оргтехпроектов модернизации действующих производств судостроительных предприятий на базе GPSS World изложен в докладе А. М. Плотникова. Представлены имитационные модели функционирования комплекса подводного судостроения предприятия ФГУП «Адмиралтейские верфи» и корпусообрабатывающего производств предприятия ОАО «Северная верфь». Моделирование выполнялось для оценки принимаемых проектных решений по реконструкции и модернизации производства.

А. А. Васильев с соавторами кратко описывает результаты, полученные на этапе разработки проектов модернизации корпусостроительных производств судостроительных предприятий, в рамках которых применялись современные методы и программные средства имитационного моделирования. Под типовые корпусостроительные схемы были составлены алгоритмы функционирования корпусостроительных производств. На их основе разработан набор имитационных моделей. Для каждой ИМ создан свой пользовательский интерфейс для управления, корректировки модели, выполнения расчетов и визуализации результатов расчета. При создании моделей использовался специализированный пакет имитационного моделирования AnyLogic. Для каждого из производственных участков в модель вносились максимальная вместимость, количество кранов, обслуживающих участок. Для кранового и транспортного оборудования в моделях учитывались их «скоростные» показатели: длительность перемещения составных элементов оборудования, перемещения в пролете цеха и длительность выполнения типовых погрузочно-разгрузочных операций.

Б. К. Елтышев применял GPSS/W для проектирования циклограмм автоматизированных гальванических линий на «Адмиралтейских верфях». Здесь модель включена в систему оперативного управления, в связи с чем потребовался предельно упрощенный интерфейс. Исходные данные вводились через экранные формы Microsoft Access, после чего на внутреннем уровне корректировались операнды соответствующих блоков GPSS в тексте модели-прототипа.

### *Энергоснабжение*

В докладе О. А. Савиной была построена модель энергопотребления промышленного предприятия для проведения энергосберегающих мероприятий.

### *Строительство и смежные отрасли*

В докладе В. Д. Ермошина представлены результаты внедрения модели процессного управления в цехе по производству печатных валов для обойного производства (ОАО «Саратовские обои»). Спрогнозированы пиковые нагрузки на оборудование цеха, для их устранения предложена оптимизация производственной программы. Перепланирована загрузка лазерных гравировальных установок, нерациональная эксплуатация которых приводила к их крайне высокому износу. Имитационное моделирование нештатных ситуаций гибкого многоассортиментного производства гранулированных пористых материалов рассмотрено И. В. Новожиловой. Ее модель ориентирована на обучение операторов.

### *Приборостроение*

Центральным элементом модели С. В. Терентьева является сетевой график производственного процесса. Учитываются взаимозаменяемость ресурсов и их совместное использование, степень участия человека, количество одновременно обрабатываемых деталей и время на переналадку оборудования, а также моменты запуска в производство отдельных деталей.

Разработанная В.Н. Волковым имитационная модель реализует процессный подход к единичному и мелкосерийному производству. Особое внимание обращалось на выявление зон пересечения полномочий разных подразделений, гибкий переход между уровнями управления, интегрируемость в информационную систему предприятия.

И. И. Савелова рассматривала внедрение имитационной модели финансовых потоков на предприятии приборостроения, включая анализ факторов чувствительности, выбор распределения входных параметров и оценку адекватности результатов. Описывается эксперимент, проведенный на ИМ после ее внедрения: разработка схемы кредитования и расчета с контрагентами, минимизирующей затраты на привлечение оборотного капитала. Оптимизация сводилась к ненаправленному перебору вариантов.

### *Электроника*

В. В. Дьячкова представил имитационная модель сборочного производства персональных компьютеров. В качестве «атомарного элемента» выбрана заявка на сборку одного компьютера. Модель позволяет учесть все значимые временные задержки, количество линий, график работы (число смен, выходные и праздники), объемы мест тестирования, размеры транспортных тележек). Выполненные расчеты опирались на накопленную предприятием трехгодичную статистику.

### *Мелкосерийное производство*

Моделям для таких применений посвящены доклады С. А. Лазарева и С. В. Терентьева. В последнем случае рассматривается объединение «Научприбор», изготавливающее аппаратуру для цифровой рентгенографии, рентгеновской спектрометрии, жидкостной хроматографии и др. Центральным элементом модели производства изделия (партии изделий) является сетевой график, который строится по детальной технологической схеме изделия (одновременно реализуется множество графиков). Для получения календарного плана выполнения работ применяется имитационное моделирование с использованием системы правил предпочтения. При этом учитываются взаимозаменяемость ресурсов;

- совместное использование ресурсов;
- режим использования ресурса (с участием человека и без него);
- количество одновременно обрабатываемых деталей;
- затраты времени на переналадку оборудования.

### *Гибкое автоматизированное производство*

Этой важной проблематике посвящен доклад Р. Р. Загидуллина. В докладе Ф. Ф. Гильфановой рассмотрено построение циклограмм работы ГПС с использованием приоритетных правил обслуживания.

### *Связь и телекоммуникации*

Информационно-вычислительные системы всегда были популярными объектами математического (в частности, имитационного) моделирования. Самые общие проблемы в данной области рассматривались в докладе М. И. Коротина «Оценка живучести распределенных вычислительно-управляющих систем». К «широкоохватным» можно отнести также доклад В. С. Шерстнева об информационных потоках в корпоративной распределенной геоинформационной системе.

Вопросы общего характера, возникающие при моделировании телекоммуникационных корпоративных систем, рассмотрены в докладе Ю. И. Воротницкого. Подчеркнута важность этапа формализации описания системы. В. М. Гостев рассматривал проектирование сетей передачи данных. Он рекомендует в рамках комбинированного подхода использовать преимущества как аналитических моделей (на этапах формирования и корректировки проекта), так и имитационных (на этапе оценки качества и эффективности полученного проекта).

Вопросам анализа алгоритмов маршрутизации был посвящен доклад В. В. Колпакова, а протоколов маршрутизации - С. А. Макеева. К проблеме коммутации в сетях передачи данных можно отнести доклады Д. Ю. Пономарева об использовании GPSS/W для изучения коммутационных систем, в том числе с различными типами потоков вызовов. С. Ю. Шерышов исследовал задержки информационных ячеек в узлах коммутации широкополосной сети.

Исследование мультисервисных сетей выполнено Д. Ю. Пономаревым. В качестве модели мультисервисной сети предложена сеть массового обслуживания с отдельными генераторами запросов на услуги разного вида. В. Д. Боев рассматривал предоставление услуг средств связи как бизнес-процесс. В докладе Т. М. Татарниковой моделируется многопортовое устройство сопряжения матричного типа. Отмечается полезность имитации для выявления случаев несбалансированного трафика, когда применение конкретной модели коммутатора для данной сети заведомо неприемлемо.

В докладе В. Д. Боева изложены особенности решение прямой и обратной задач в системе моделирования. Прямая задача заключается в нахождении оценки математического ожидания какого-либо показателя моделируемой системы при заданном времени ее функционирования. Обратной задачей автор считает оценивание времени функционирования моделируемой системы, за которое какой-либо ее показатель достигает заданного значения. Постановка такой задачи представляется сомнительной: из нее исчез вероятностный аспект, да и показатель может оказаться недостижимым.

В. А. Коковин имитировал таймерную систему ускорительного комплекса ИФВЭ как при проектной конфигурации и существующих условиях, так и при значительном увеличении числа узлов системы и интенсивности таймерных сообщений.

А. Н. Козловым выполнен анализ производительности банковского центра, обрабатывающего запросы по переводу средств от кредитных организаций из других регионов. Разработана статистическая модель рабочей нагрузки. Предложена методика определения числа центральных процессоров в зависимости от параметров рабочей нагрузки.

М. Ю. Охтилев моделировал работу систем реального времени. Предлагаемая информационная технология реализована в системах контроля и управления сложными технологическими процессами: в ракетно-космической отрасли (при управлении разгонными блоками и некоторыми типами космических аппаратов), в атомной энергетике (АСУ энергоблоков Курской и Ленинградской атомных электростанций).



Д. Н. Верзилин рассматривал процессы управления активными подвижными объектами. Выявлены конфигурации последних, для которых незначительное увеличение нагрузки приводило к резкому снижению пропускной способности АСУ (многократному росту количества невыполненных операций взаимодействия).

Несколько докладов было посвящено оценке эффективности мультимедийных технологий. Назовем доклад Р. Т. Алиева о передаче телефонного трафика (речи) по сети Ethernet в реальном масштабе времени и М. С. Косякова - по серверам мультимедиа. Наконец, упомянем работу В. В. Зимина о моделировании деятельности оператора кабельного телевидения. Здесь речь идет об экономической целесообразности установки оборудования для оказания клиентам Интернет-услуг. Предварительно были построены модели поведения потенциальных клиентов.

В докладе Кухаревых рассматривается программный комплекс, предназначенный для имитации работы сетей с технологией MPLS - в частности, для исследования загрузки сетевых элементов (выявление «узких мест» в сети), анализа и оптимизации характеристик сетей, а также исследования поведения трафика разных классов с целью обеспечения заданного качества обслуживания. Доклад уникален тем, что при имитации работы сети используется метод задания времени при помощи фиксированных интервалов времени (механизм фиксированных приращений временных интервалов). Все события, которые имеют место в течение этого промежутка времени, считаются одновременными. Это – давно забытая технология!

Д. Ю. Пономарев исследовал возможности среды GPSS по имитационному моделированию процессов обработки сигнальной информации в сети IMS на примере процедуры регистрации абонента с учетом детальной структуры протоколов обмена.

Доклад А. Красносельского посвящен агентной имитационной модели российского рынка сотовой связи. Приведен реальный пример. И. В. Трегуб предложил модель прогнозирования цены на дополнительные услуги сотовой связи в краткосрочном и долгосрочном периодах для разных схем взаимодействия между участниками рынка. Рассмотрен процесс установления равновесной цены. Результаты моделирования не приводятся. С. Василева разработала чрезвычайно обстоятельную GPSS-модель одновременного доступа транзакций в системах распределенных баз данных при неполной репликации данных и при синхронном обновлении копий элементов с целью исследования производительности таких систем.

Нгуен Дык Тай предлагает методы и средства исследования канала связи и сетей передачи данных на GPSS, предназначенные для оценки влияния второго и третьего моментов распределений потоков пакетов и времени передачи пакетов по каналам на временные характеристики каналов связи и сети. Все эти результаты можно получить и расчетным путем – без имитации.

И. Е. Никульский для сегмента широкополосной сети доступа, использующего технологию пассивных оптических сетей GPON, ориентированного на передачу трех видов трафика (голос, видео и данные) разработал аналитические (с применением методов теории массового обслуживания) и имитационные (с использованием среды GPSS World) модели, как для нисходящей, так и для восходящей ветвей передачи.

Выполнен подробный анализ характеристик качества функционирования сети при обслуживании с тремя классами относительных приоритетов.

В. В. Соснин на основе анализа экспериментальных данных показал, что характер задержки передачи пакетов через Интернет не зависит от размера пакетов и величины межпакетного интервала. Оказалось, что в среднем лишь каждый 42-й пакет проходит до пункта назначения по альтернативному маршруту. Эксперименты по отправке пакетов проводились с серверами крупных компаний следующих 16 стран: Сингапур, Бра-

зилия, Калифорния, Канада, США, Куба, Япония, ЮАР, Вьетнам, Франция, Австралия, Чили, Россия, Новая Зеландия, Китай, Великобритания. Отправка производилась с компьютеров из г. Санкт-Петербурга и г. Ангарска Иркутской области. Всего было отправлено около 2 миллионов ring-пакетов. А. В. Облакова рассматривает применения имитационного моделирования в оценке эффективности и рисков инвестиционных проектов сотовых операторов и описывает процессы учета проектных рисков при расчете критериев эффективности, построения математических и имитационных моделей денежных потоков и их апробации на примере проекта по установке башни связи.

### ***Военные приложения***

А. Хижняк с соавторами предложили имитационная модель кластеризации воздушных объектов при решении задачи третичной обработки радиолокационной информации в автоматизированной системе управления противовоздушной обороны, разработанную с использованием теории нечетких множеств.

А. В. Борзунов рассматривал методологические вопросы создания интерактивных моделей, в том числе вопросы отладки взаимодействия средств автоматизации корабельных многоканальных зенитных ракетных комплексов с человеком-оператором и получения оценок эффективности для сложных систем. Предложены и обоснованы принципы построения интерактивной математической имитационной модели. Приведен пример создания интерактивной модели системы управления зенитной ракетной системы с полуактивным самонаведением.

И. А. Кулешов построил имитационную модель подвижной сети связи, построенной на технологии TCP/IP. Гибридная модель направления связи на GPSS/PC учитывает огневое и радиоэлектронное воздействие противника на линии и узлы связи заданием вероятности нахождения элемента сквозного тракта в исправном состоянии и среднего значения времени блокировки по причине внешнего воздействия.

### ***Моделирование информационно-вычислительных сетей***

Анализ производительности компьютерных систем и сетей при помощи ИМ у нас применялся давно, так что наблюдающийся спрос на это телекоммуникационных компаний вполне предсказуем, хотя и не очень велик.

В. В. Афонин моделировал локальную вычислительную сеть с топологией «Общая шина». К более частным (но не менее интересным) проблемам из этой области можно отнести сравнение М. С. Косяковым методов организации дискового пространства файловых серверов.

В докладе М. Л. Федоровой рассматривается задача укомплектования модемного пула Интернет-провайдера необходимым количеством модемов, которая сводится к классической задаче Эрланга. В другом ее докладе имитация применялась для расчета характеристик вычислительного кластера. Исследовалась также пропускная способность модулей общей памяти вычислительной системы в зависимости от объема буфера. Были сделаны доклады Т. И. Алиева о моделировании экспоненциальных сетей передачи данных (заметим, что из-за обязательного наличия детерминированного обрамления пакетов распределение их объема заведомо отличается от показательного). В докладах с участием О. И. Кутузова моделировались коммутационная система и сети хранения данных. Компьютерный бизнес был представлен в докладах о работе фирмы по продаже и обслуживанию вычислительной техники и ее программного обеспечения.

Весьма актуальная проблема борьбы с компьютерными атаками (вирусами и «червями») обсуждалась в двух докладах с участием А. В. Уланова. В. В. Девятков представил гибридную систему оптимального планирования загрузки программно-аппаратного комплекса ОВИП (открытое виртуальное исследовательское пространство). Рассмотрены основные принципы функционирования. Приведена схема организации процесса оптимизации. Генератор собирает исходный код модели на языке GPSS World для конкретного эксперимента. Для оптимизации структуры ОВИП используется аппарат нечеткой логики из расширения MatLab.

Л. М. Груздева предлагает имитационную модель корпоративной сети (КС) для количественной оценки влияния вредоносных и антивирусных программ на параметры производительности сетей. КС представляется СМО с ограниченной очередью. Интенсивность потока заявок увеличивается при воздействии вредоносных программ; время обработки заявки увеличивается при наличии анти-вирусов. Рассматривались антивирус Касперского 7.0; Dr.Web 4.44; Avast! 4 Home Edition. Приводятся данные по увеличению задержки пакетов.

Л. А. Муравьева-Витковская анализировала влияние непуассоновского трафика на качество функционирования компьютерной сети при распределении сетевых ресурсов в соответствии с заданными приоритетами. Определены области параметров нагрузки, при которых приближенные методы, разработанные в предположении о пуассоновском характере трафика, позволяют получить приемлемые для инженерной практики результаты. В очередной (!) раз установлено, что надо учитывать высшие моменты исходных распределений.

В докладе В. Балашова и соавторов описывается структура стенда полунатурного моделирования работы бортовых вычислительных систем. В программной модели поддерживаются следующие типы ошибок: обрыв канала, генерация в канале, ошибка четности, неверная пауза перед ответным словом, нарушена непрерывность сообщения, число информационных слов больше заданного, неверный адрес ОУ, неверный тип синхроимпульса, ошибка это контроля при передаче. При моделировании соблюдается соответствие модельного и реального (астрономического) времени с погрешностью порядка 0,0001 секунды.

### *Метрологическое обеспечение*

В. М. Прищенко разработал модель технической эксплуатации средств измерения с учетом:

- количества рабочих мест по ремонту и поверке;
- вероятности достаточности ЗИП;
- укомплектованности метрологических и ремонтных органов обменными фондами, технологическим оборудованием, передвижными лабораториями.

Очевидна возможность применения такой модели для анализа работы ремонтных служб разнообразного профиля.

### *Логистика*

В пленарном докладе А. В. Борщева отмечалось, что безусловный лидер по осознанному спросу на ИМ и его внедрению – область логистики: перевозка, работа складов, политика закупок и – шире – функционирование цепочек поставок. Объясняется это тем, что «логистика в России переживает невероятный подъем» (авторы данного обзора назвали бы это состояние «бумом»), а также сложным динамическим характе-

ром логистических процессов, обилием временных и причинно-следственных связей, размерностью задач. Невозможность оптимизировать логистические системы «на коленке» (= в Excel'e) настолько очевидна, что заставляет сами компании искать более продвинутые технологии.

Д. А. Иванов предлагает для управления логистическими цепями объединить аналитико-имитационный и мультиагентный подходы и приводит примеры реализации. В докладе Ю. И. Толуева сообщается о внедрении моделей:

- сборочных конвейеров;
- систем транспортировки грузов внутри предприятия (краны, погрузчики, трейлеры и т.п.);
- стационарных напольных и подвесных систем транспортировки грузов;
- складских процессов (прием грузов, их перемещение в зоны хранения и обратно, отбор, комплектация, упаковка и отправка);
- технологических операций, выполняемых роботами (кинематические, временные и эргономические);
- кинематические модели перемещения крупных объектов (фюзеляжей самолетов, корпусов судов);
- анализа взаимного пространственного расположения компонент изделия;
- физического изменения изделий при прессовке, гибке и т. п.;
- ситуаций типа Crashtest (последствий удара, столкновения и т. п.).

Из докладов этого направления отметим работу А. А. Кожушко о моделировании мультимодальных (с несколькими видами транспорта) грузовых перевозок на примере Астраханской области.

А. А. Кайгородцев обосновывал эффективность применения имитационного моделирования при проектировании логистических цепочек доставки готовой продукции предприятия и определял эффект поставок через распределительный центр. Эта очень старая задача может решаться и без имитации – см. «Управление запасами» Ю. И. Рыжикова, «Наука», 1969 г.

В докладе В. Е. Воронина рассматривается возможность практического применения имитационного моделирования для оптимизации управления логистической системой предприятия. Все его рассуждения и предложения можно найти в вышеупомянутой книге.

Лукинский В.С., Шульженко Т.Г. в своем докладе предложили модельно-алгоритмическое обеспечение решения логистических задач при реализации технологии «точно и в срок».

Доклад А. В. Попова, К. А. Аксенова и А. А. Бубенщикова посвящен вопросам оптимизации логистических процессов (ЛП) компаний и связанных с ними вопросам поддержки принятия решений (ППР), а также вопросам разработки интеллектуальной системы моделирования процессов логистики. Отмечается, что в настоящее время, когда предложение повсеместно стало превышать спрос, предприниматели начали признавать также важность обеспечения сбыта за счет снижения транспортных, складских, внутрифирменных издержек, и современные методики и технологии управления стали основным инструментом для достижения данной цели. По Европейским оценкам, снижение логистических издержек на 10% позволяет увеличить прибыль на 50%.

При сопоставлении методов решения задач логистики докладчики явно неправильно аттестуют аналитические (по современным понятиям – их численную реализацию). В связи с этим информация о дополнении инструментария аппаратом моделирования очередей и численными методами оптимизации надежд не внушает.

### *Транспортные проблемы*

В современных российских городах постоянно обостряются (и будут обостряться) транспортные проблемы. Неуклонно растет численность населения городов, резко увеличивается число автомобилей - как находящихся в личном пользовании горожан, так и используемых предприятиями и организациями различных форм собственности. Существующая транспортная инфраструктура не отвечает современным требованиям, образуются автомобильные пробки. Усложняется экологическая ситуация в крупных городах. Моделирование можно использовать для осмысления особенностей существующей системы, выявления узких мест, прогнозирования последствий возможных управляющих воздействий.

И. В. Яцкив рассматривала модель реальной транспортной развязки в г. Рига, выполненную по заказу городской думы. Основными целями были: выбор оптимальной организации движения на перекрестке и оценка пропускной способности для каждого варианта движения; оптимизация работы сигнальных устройств; анализ мероприятий по облегчению движения грузового транспорта. Предполагается создание на базе модели адаптивного управления движением как на локальных перекрестках, так и на комплексных участках дорожной сети.

Всеобщий интерес автолюбителей вызвал доклад А. С. Никитина о разезде автомашин на нерегулируемом перекрестке. Его своеобразие заключалось в имитации без статистики (хотя статистика ДТП пошла бы докладу на пользу), а также в богатой и наглядной визуализации.

Особое значение имеет возможность изучения переходных режимов системы общественного транспорта. В докладе В. Е. Воронина моделировались ситуации временного прекращения движения электротранспорта вследствие обрывов контактной сети, прекращения подачи в нее электроэнергии, а также ДТП, при которых электротранспорт не может объехать место аварии.

Р. Г. Гиниятуллин моделировал работу казанского метро. Были поставлены следующие задачи:

- анализ влияния интенсивности пассажиропотоков на загрузку метрополитена и возможные организационные способы устранения очередей в часы «пик»;

- исследование вариантов расписаний движения поездов;

- исследование влияния надежности работы оборудования на пропускную способность системы;

- анализ эффекта оргмероприятий: количества и расстановки турникетов, расстановки ограждений, введения (отмены) льготного проезда;

- экономическая оценка функционирования метро;

- работоспособность служб метрополитена в чрезвычайных ситуациях: резкое увеличение пассажиропотока, выход из строя большого количества оборудования, снижение энергоснабжения.

С. В. Микони рассматривал составление графика движения с учетом обеспечения требуемой расстановки на ночь поездов метрополитена. Им была принята многоагентная парадигма. В качестве агентов использованы станции, а в качестве управляемых объектов – поезда.

В. В. Зимин исследовал алгоритмы диспетчирования в междугородных автогрузовых перевозках. Требовалось найти ответы на следующие вопросы:

- какой наибольший суточный поток заявок заданной структуры может обработать фирма при уровне обслуживания не ниже 80 % и существующем парке грузовиков?

сколько и каких грузовиков надо иметь фирме для обеспечения 80 % уровня обслуживания при поступлении 30-40 заявок за каждые 6 часов?

имеет ли смысл для повышения уровня обслуживания и прибыльности компании откладывать выполнение заявки до освобождения транспорта?

В докладе Ю. И. Жукова моделируется организация северного завоза грузов -- по железной дороге и кораблями. Д. А. Ломаш моделировал подвоз экспортного груза к припортовой станции Новороссийска. Отметим работу А. А. Кожушко о моделировании мультимодальных (с несколькими видами транспорта) грузовых перевозок на примере Астраханской области.

В докладе Д. А. Тулубаева представлена имитационная модель-тренажер системы диспетчерского управления магистральным нефтепроводом. Модель системы запасов нефтепродуктов предложена И. М. Якимовым.

М. С. Неймарк исследовал эффективность применения самолетов в авиакомпаниях. Входными данными были:

- периодичность и продолжительность планового и непланового технического обслуживания;
- организация его (пропускная способность производственных цехов, квалификация персонала);
- расписание и характеристики маршрутов;
- показатели надежности и эксплуатационной технологичности самолетов;
- перечень оборудования;
- организация снабжения запасными частями.

Модель применялась в конкретных авиапредприятиях для оценки результатов реальной эксплуатации ИЛ-62, ИЛ-86 и для прогнозов - по разрабатываемым Ил-96-300 и Ил-114.

А. А. Артамонов моделировал использование воздушного пространства в зоне аэропорта г. Рига. Моделирование потребовалось потому, что штатная система управления воздушным движением лишь констатировала конфликтные ситуации (опасное сближение), но не давала рекомендаций по их разрешению. Определялась вероятность конфликтных ситуаций и влияние на нее исходных параметров. Данный доклад интересен большим объемом реальных исходных данных. Странно, однако, что скорость самолетов измеряется в сугубо флотских единицах (узлах).

Л. М. Местецкий исследовал наземное движение воздушных судов в аэропорту. Целевыми характеристиками считались:

- суточная пропускная способность;
- параметры задержек вылетов;
- время руления по летному полю при взлете и посадке;
- время работы аэропорта в режиме перегрузки.

Компонентами модели были: редакторы карты летного поля, расписания, сценариев; имитатор; модуль статистики; модуль визуализации. Как пример высокого уровня детальности назовем доклад К. И. Дизендорфа, посвященный моделированию бортовой системы управления полетом с воспроизведением электронной карты местности. Требовалось определить минимально достаточное число процессоров и распределение работы между ними.

О. В. Дегтярева представила программный комплекс моделирования процессов организации и управления воздушным движением в воздушном пространстве РФ. Подчеркнуто, что для моделирования управляемых полетов требуется полноценное динамическое моделирование (решение дифференциальных уравнений).

В. В. Александров описывает комплекс имитационного моделирования движения воздушных судов в приаэродромном пространстве, предназначенный для проведения исследований в поддержку разрабатываемых процедур и средств управления очередями прибывающих и вылетающих из аэропорта воздушных судов.

М. В. Бахиркин построил распределенную модель динамической воздушной обстановки. Отработана модель движения самолета, которая представляет собой детальный вариант динамической модели регулятора системы стабилизации с подробным моделированием сил и моментов и с учетом имеющихся нелинейностей.

О. В. Дегтярев с соавторами обсуждает возможности ускоренной имитации управления очередями прилета/вылета из аэропорта. Никакой информации об источниках ускорения имитации, о возможности использования в тех же целях теории очередей и о реализации заявленных идей в докладе не содержится.

И. П. Владимирская обещает примеры важных и неочевидных выводов по оптимизации транспорта реального промышленного предприятия, которые невозможно получить без экспериментов на подробной компьютерной имитационной модели, реализующей принцип ситуационного управления.

В докладе Ю. И. Буряка рассказывается об информационной поддержке управленческих решений в задачах сопровождения эксплуатации авиационной техники. Комплекс разрабатываемых программных средств предназначен для анализа в реальном времени статистических показателей по отказам компонентов ВС и формирования возможных решений по организации их более экономичной эксплуатации.

И. В. Макарова обсуждает использование средств математического и имитационного моделирования для разработки способа рационального управления транспортными потоками города на основе научного анализа ситуации на дорогах города и прогноза состояния дорожной сети в целях обеспечения надежности транспортного процесса и безопасности дорожного движения. Текст доклада никакой конкретики не содержит.

Р. Г. Хабибуллин с соавторами предлагают использовать методы имитационного моделирования для решения задачи территориального размещения предприятий по техническому обслуживанию и ремонту автомобильного транспорта. Разработана имитационная модель развития автосервисной сети, реализованная в системе AnyLogic с использованием объектов библиотеки Enterprise Library. О результатах моделирования ничего не сообщается.

Е. В. Хуторная рассматривает постановку и методику решения задачи совместного функционального и имитационного моделирования работы мобильной сети управления безопасной проводкой судов по северному морскому пути с использованием современных инструментальных средств. Функциональное моделирование завершается построением диаграмм потоков данных в системе управления и потоков работ, соответствующих задачам, решаемым при проводке судов по Северному морскому пути.

А. А. Малыханов с соавторами считают низкоуровневое агентное моделирование транспортных потоков эффективным средством анализа транспортных систем, но полагают, что существующие инструменты либо слишком сложны для использования инженерами-транспортниками, либо не предоставляют возможностей расширения. Разработана среда моделирования и упрощающий работу пользователей графический конструктор.

О. А. Василевич предлагает моделировать с помощью GPSS работу ОСАГО. Стоимость полиса зависит от группы риска определенной марки и модели автомобиля с учетом времени его эксплуатации; стоимости нормочаса ремонтных работ на станции технического обслуживания каждого автомобиля; возраста и стажа лиц, допущенных к управлению данным автомобилем; пола владельца. Вышеперечисленные факторы фор-

мирования стоимости страхового полиса учтены как параметры транзактов (транзакт в модели – и страховой полис и страховой случай, в зависимости от того, в каком блоке находится).

Название доклада В. Д. Левчука и П.Л. Чечета не соответствует его содержанию: имитационное моделирование может использоваться при проектировании сети, но никак не является средством проектирования. Собственно о проектировании (исключая формулировку требований) речь не идет («алгоритм решения задачи включает в себя многократные запуски имитационной модели» - и только). Фактически обсуждается лишь выбор интервала между запусками транспортного средства. Планируется работа трех маршрутов, но не обсуждается возможность их частичного совмещения, которая обогащает и усложняет задачу. Станным представляется требование к наполняемости транспортного средства на каждой остановке: остановка остановке рознь, и наполняемость должна оцениваться по маршруту в среднем. Возможность существования приемлемых по обоим критериям решений априорно ниоткуда не следует. Ничего не говорится о методике и специфике моделирования. Нигде нет даже намека на вероятностный характер обсуждаемой ситуации и получаемых оценок. Утверждается, что при увеличении интенсивности выпуска на линию транспортных средств наполнение и время ожидания нестрого возрастают. Должно быть наоборот, что позже и подтверждается графиком рис. 4.

В докладе Д. В. Дурнова обсуждается прогнозирование потребления электрической энергии на железнодорожном транспорте. Предлагается использовать традиционную схему анализа временных рядов методом декомпозиции, предусматривающей выделение тренда, сезонности, цикличности и нерегулярности.

### *Медицина*

«Медицинские» доклады, как ни странно, не затрагивали процессы лечения больных. А. П. Рагулин моделировал транспортное обеспечение учреждения «семейной медицины». Рассматривались следующие «автомобильные стратегии»:

- предоставить автомобиль каждому врачу и через расширение клиентуры увеличить пропускную способность,
- выделить одну машину на несколько врачей,
- не предоставлять никому.

И. А. Тогунов моделировал систему оплаты врача. В тексте его доклада не удалось найти никаких следов имитации.

Моделирование организации лечебно-эвакуационных мероприятий в авиационной дивизии вследствие боевых потерь предпринято А. В. Висловым.

Упомянем также доклад Ю. В. Шорникова «Имитационное моделирование билиарной системы». Речь шла о работе (и диагностике) системы желчевыделения, описываемой системой дифференциальных уравнений с запаздывающим аргументом. Имитационные и статистические аспекты в докладе отсутствовали.

Доклад А. В. Улыбина и А. А. Арзамасцева описывает способ моделирования развития инфекции на основе агентного подхода. Излагаются известные принципы мультиагентного моделирования. Разработана модель развития инфекции и правила взаимодействия агентов в модели на примере распространения ВИЧ в России.

### *Банковская деятельность*



Д. И. Амелин моделировал кредитно-депозитарные операции коммерческого банка с оцениванием доходности и рискованности. Модель отражает формирование потока возвращаемых заемных средств и процентов по ним и дает возможность многовариантного анализа управленческих решений. На ее основе предполагается определение процентных ставок по депозитарно-кредитным операциям в одном из коммерческих банков г. Орла. Ту же проблему исследовал Е. П. Бочаров. Его анализ показал, что интуитивные подходы к определению процентных ставок по депозитам и кредитам в условиях острой конкуренции становятся недостаточными. Отмечена полезность применения подобных моделей в образовательном процессе.

Большинство участников конференции представляло точные и технические науки. Поэтому для них оказались новыми и интересными (между прочим, и с точки зрения платежеспособного спроса на моделирование) финансово-экономические приложения. Э. Б. Песиков оценивал на имитационной модели эффективность и степень риска маркетинговых стратегий предприятия. Учитывались действия предприятий-конкурентов и поставщиков ресурсов, коэффициенты эластичности спроса в зависимости от цены товара и дохода потребителей, а также воздействие рекламы на объемы продаж (модель Видаля - Вольфа).

И. В. Яцкив применяла моделирование для оценки рисков инвестиционных проектов. Были выделены детерминированные и стохастические рискованные факторы, влияющие на изменения денежных потоков и упомянутую стоимость проекта. Приведена схема программы имитации. Создан «бизнес-калькулятор», позволяющий настраивать модель на реальные данные и проводить статистический анализ полученных результатов, а также выяснить чувствительность проекта к размеру и сроку банковской ссуды и проценту по ней.

Очень свежей (для инженеров) оказалась представленная К. В. Воронцовым имитационная модель финансовых торгов. Торговля идет как двойной аукцион. Участники торгов в произвольном порядке подают заявки с указанием направленности (покупка или продажа), цены и объема. Приняв заявку, «торговый автомат» просматривает очередь заявок, поданных ранее, пытаясь найти удовлетворяющую ей встречную заявку (цена заявки на покупку должна быть не меньше цены заявки на продажу). Приоритет имеют заявки, поданные по наилучшей цене, а среди имеющих одинаковую цену -- поданные раньше. Если встречная заявка имеется, автомат фиксирует сделку. Если заявка не удовлетворяется или удовлетворяется частично, остаток ставится в очередь. Участник торгов в любой момент может снять заявку из очереди. В каждый момент максимальная цена в заявках на покупку меньше минимальной цены в заявках на продажу. Разница между ними называется спрэдом. Модель воспроизводит реальную торговую сессию, имитируя действия отдельных участников. Каждый из них «видит» протокол торгов, текущее состояние очередей, собственную позицию (купленный и проданный объемы) и принимает решения о подаче или снятии своих заявок на основе формализованных мотивов (степеней целесообразности возможных действий). Чем больше мотив, тем выше значения параметров сделки. В докладе рассматриваются специфические методы валидации обсуждаемой модели. Модель называется адекватной, если в ответ на типовое возмущающее воздействие возникает типичная ответная реакция (например, в ответ на единичную покупку большого объема происходит кратковременное расширение спрэда и повышение цены, а затем откат обратно).

### *Тренажеры и системы реального времени*

В докладе В.М. Дозорцева обсуждались имитационные модели технологических процессов в компьютерных тренажерах (КТ). Отмечено, что за 1965-95 гг. потери из-за некачественного управления переработкой нефти для среднего завода составляли более 1 млн долл. в год. Авария на химическом предприятии в Тулузе 21 сентября 2001 г. унесла жизни 29 человек и обошлась в 2 млрд долл.

КТ позволяют операторам вырабатывать навыки и практиковаться в правильных процедурах, добиваться усовершенствования последних. Дополнительный эффект применения КТ создается:

- тестированием базы данных систем управления;
- разработкой и проверкой новых стратегий управления, анализом их эффективности и устойчивости;
- обкаткой новых технологических режимов, расшивкой «узких мест».

В вычислительном плане речь идет о численном интегрировании (с шагом 1-2 с) систем из нескольких тысяч дифференциальных и алгебраических уравнений. В период 2007-2010 гг. наиболее существенный рост применения тренажеров ожидается в регионах с интенсивным строительством и реконструкцией производства: в Китае, Индии, России.

Л. И. Ковтун и Н. А. Шарков отмечают, что современные бортовые системы информационной поддержки, компьютерные обучающие системы и тренажеры должны быть дополнены эвристическими подходами на основе идей теории искусственного интеллекта. Реализация такой задачи может базироваться на математической интерпретации работы нервной системы человека, а именно, логико-лингвистическом описании аварийных ситуаций, алгебре высказываний, нечеткой логике и процессах преобразования информации в нейроподобных сетях. Предлагаются иерархическая структуризация данных (упаковка в двоичные матрицы) и сочетание нейросетей с нечеткостью. Полезный эффект создается резким сужением пространства поиска оптимальных решений. Доклад завершается очень здоровой мыслью: бортовые информационные системы должны давать *хорошие советы, но не диктовать безусловные решения*.

В докладе В. М. Дозорцева формализуется задача определения параметров имитационной модели, обеспечивающей необходимую для обучения операторов точность статического и динамического поведения моделируемого технологического процесса. Предлагается рекурсивный подход, основанный на декомпозиции тренажерной модели до уровня оперативных моделей технологического процесса, используемых операторами. Нам представляется, что это не рекурсия, а обычная схема последовательных уточнений проекта в любой отрасли.

А. Н. Лукичев описывает механизм организации вычислений, при котором моменты взаимодействия задач с сервисами ОС и между собой жестко координируются операционной системой. Такой подход применяется в ОС реального времени Terra. Представлена среда для имитационного моделирования и анализа многозадачных приложений под управлением Terra. Кратко описаны проблемы сопряжения разнородных моделей задач и способы их решения.

### ***Коммунальное хозяйство***

К данной сфере, проклятой богом и людьми, исследователи обращаются неохотно. По этому поводу процитируем крик души Л. А. Осипова: «Известный навигационный прибор GPS весом 200 г на маршрутах в десятки и сотни километров выводит путешественника к намеченной цели с точностью до одного метра! Неужели в социально-экономических системах вида ЖКХ мы не можем повысить точность расчетов?»

Ясно, что сколь угодно адекватные математические модели проблем ЖКХ не решат, но пригодиться могут. Поэтому упомянем доклад Л. А. Осипова о моделировании службы ремонта теплосетей РТС-2 г. Сургута.

### **Сантехника**

Редкой для науки, но чувствительной для всех области посвящена модель производства унитазов, сливных бачков, писсуаров, умывальников, пьедесталов и урн на заводе «Стройфарфор» (тот же Л. А. Осипов). Перед моделированием были поставлены следующие цели:

- выявить соотношение брака и годных изделий за любой период;
- определить интенсивность замены форм;
- выявить частоту дефицита форм на складе и скорректировать стратегию пополнения запасов;
- построить гистограммы распределения длительности работы станков до смены форм;
- построить гистограммы распределения брака в натуральном и стоимостном выражении;
- вывести графики выпуска изделий по участкам;
- выявить продолжительность переходного режима.

### **Моделирование в образовании**

Все указанные виды математического моделирования их комбинации и технологические инструменты могут быть полезны по-разному (и в разных ситуациях). Соответственно они имеют право на включение в учебные программы - в пропорциях, определяемых конкретными специальностями. На моделирование (и не только на него) не следует вводить жесткие стандарты: полезно вспомнить часто цитируемого в недавнем прошлом классика (В. И. Ленина) о том, что успех дела определяется составом лекторов. Однако общие положения о моделировании и специфику его видов необходимо предусмотреть обязательно. В докладе Ю. И. Рыжикова предлагался учебный план «Компьютерного моделирования» для специальностей «Математическое обеспечение ЭВМ», «Управление космическими системами» и др., включающий базовые вероятностные понятия, теорию очередей, принципы и технику имитационного моделирования на языках высокого уровня и в GPSS World.

В. К. Кумунжиев в связи с подготовкой специалистов на факультете информационных и телекоммуникационных технологий заявил, что «многие вузы ограничиваются использованием одного языка моделирования, чаще всего типа GPSS. Мы сочли такую позицию далеко не лучшей. Освоение общих принципов и технологии должно быть построено на использовании нескольких языков, ориентированных на различные предметные области». Конкретно им предлагались системы моделирования IMITA – для потоковых и сигнальных схем, ДИСПАС – для систем управления, GPSS World – для систем массового обслуживания. Ясно, однако, что знание языков и технологий не заменяет усвоения ключевых понятий, т. е. элементов фундаментального образования. Впрочем, и сам В. К. Кумунжиев пишет, что «знания человека должны быть системой. Это способствует сохранности знаний и их актуализации».

В. И. Малюгин и Ю. С. Харин описывают опыт и проблемы преподавания имитационного моделирования сложных систем для студентов математических специальностей Белорусского государственного университета. Лабораторные занятия проводят-

ся в форме компьютерного практикума. Одно из заданий выполняется на универсальном языке по выбору студента (C++, Java). При этом студенты получают более глубокие представления о принципах организации специализированных систем, в частности: о функциях симулятора, способах организации модельного (системного) времени, принципах получения статистических данных, вычислении характеристик системы и т. д.

В. А. Углев отмечает, что «особенности» учебных государственных стандартов и дефицит учебных часов грубо нарушают разумную последовательность изложения учебного материала и заявляет, что «все учебники содержат только два раздела: теория генерации псевдослучайных процессов и теория очередей». Видимо, В. А. Углеву не повезло с учебниками. Он считает, что игнорируются важные для ИМ дифференциальные модели (системная динамика), блочное моделирование, теория подготовки и проведения эксперимента, анализ результатов моделирования. Здесь очевидно смешиваются понятия ИМ и компьютерного моделирования вообще.

К этому обзору можно добавить предложения других докладчиков о включении нужных разделов моделирования в более специальные дисциплины (внедрение GPSS/W в курс теории телетрафика для изучения характеристик потоков вызовов с такими распределениями, как Вейбулла, Пирсона, логнормальное, а также моделирования неполнодоступных систем - Д. Ю. Пономарев). Заметим, что перечисленные задачи о входящем потоке легко решаются численными методами теории очередей.

В докладе К. А. Аксенова подробно описывается процесс агентного моделирования управления учебным процессом в вузе. Приведены данные о росте производительности труда сотрудников деканата (не ясно, как подсчитывался). Сообщается (очень редкий факт!), что экономический эффект составил 1 млн руб. в год. Доклад аналогичного содержания представил А. В. Горохов. В нем перечислены характеристики агентов: преподавателя и студента. Ни элементы новизны, ни результаты моделирования не обсуждаются.

Г. А. Сырецкий для эффективного решения задач обучения студентов технических направлений предлагает использовать инновационные технологии концепций CALS, PLM и имитационного моделирования системы Tecnomatix Plant Simulation фирмы Siemens PLM Software, на которых базируется организация и имитация функционирования производств ряда отраслей промышленности.

Г. А. Листьев представил имитационную модель возможного взаимодействия экономики России и системы образования (СО). Приводятся соображения о значимости различных факторов, влияющих на эффективность инвестиций в образование. Учитываются особенности российской действительности: затраты на образование делятся на «белые» - бюджет и прозрачные инвестиции (платное обучение); «серые» - репетиторство, дообучение и т.п.; «черные» - взятки и коррупция. Полученные результаты показывают, что для получения устойчивого роста экономики страны при заданных условиях и ограничениях необходимы значительные инвестиции в образование. При этом общий объем ВВП будет снижен и восстановится не менее через 40 – 50 лет.

На заключительном заседании первой конференции поднимался выходящий за рамки компетенции собравшихся вопрос о расширении преподавания компьютерного моделирования для экономистов и о его введении для будущих медиков. Дело хорошее, но требующее солидной базы по высшей математике и теории вероятностей, без которых преподавание компьютерного моделирования невозможно.

К числу других проблем, которые широко обсуждались на конференциях ИММОД следует отнести [1-5]:

***Проблему обеспечения гармоничного взаимодействия пользователей с вычислительной средой, в рамках которой реализуются ИМл (создание интеллектуального интерфейса).***

Опыт эксплуатации различных классов интегрированных систем поддержки принятия решений (ИСППР) показывает, что формализованные модели (прежде всего математические модели) не позволяют в полной мере учесть все многообразие возможных вариантов функционирования СОТС. Поэтому особую актуальность начинает приобретать вопрос объединения формализованных процедур анализа и выбора, реализованных в рамках соответствующих ИМл, входящих в состав ИСППР, и творческих возможностей пользователей.

***Проблему обеспечения открытости имитационных моделей и комплексов (ИМлК) и их способности к адаптации, самоорганизации и развитию.***

Анализ процессов создания, эксплуатации и совершенствования СОТС показывает, что "внешняя среда", с которой взаимодействует СОТС, постоянно изменяется, это, в свою очередь, приводит к изменению параметров и структур указанных объектов. В этих условиях, разработанные на различных этапах с различными целями ИМл и комплексы, а также методы и алгоритмы манипулирования данными моделями могут лишь приблизительно отражать необходимые свойства исследуемых элементов и подсистем СОТС.

Создание универсальных моделей и алгоритмов, реализующих, например, все основные функции управления СОТС применительно к различным предметным областям, также затруднено. Поэтому реально на практике в зависимости от складывающейся обстановки должен конструироваться или выбираться наиболее пригодный в силу своих свойств вариант ИМл (входящий в состав ИСППР) и соответствующий ему алгоритм решения той или иной задачи автоматизированного управления СОТС. Таким образом, СОТС и ее ИСППР, находящиеся в условиях воздействия нестационарной внешней среды, только тогда будут способны обеспечивать выработку эффективных плановых и регулирующих воздействий, когда будут наделены особыми механизмами (процедурами) адаптации и, в перспективе, самоорганизации, обеспечивающими целенаправленное изменение параметров моделей и самих моделей и алгоритмов ИСППР с учетом возможных вариантов выдачи управляющих воздействий в будущем, что позволяет, в конечном итоге, осуществлять приспособления СОТС к будущему развитию как объектов управления, так и внешней среды. Конструирование или выбор типа ИМл и алгоритма ИСППР должны являться функцией специально выделенной подсистемы (адаптера), входящей в состав ИСППР. С помощью данного адаптера путем проведения параметрической и структурной адаптации (а в перспективе и самоорганизации) соответствующих компонент СПМО обеспечивается согласование свойств СОТС со средой, что позволяет сократить до минимума число ситуаций, при которых ИСППР не сможет выдать рекомендации по управлению СОТС на различных этапах их жизненного цикла.

Адаптация рассматриваемых СОТС, ИСППР предполагает адаптацию к "прошлому" и к "будущему". Для реализации указанных механизмов адаптации необходимо чтобы в составе ИСППР имелись такие процедуры, которые обеспечивали накопление и сохранение уникального опыта работы органов управления, выявление закономерностей течения процессов управления, фиксацию этого опыта в формализованном виде: либо в форме алгоритмов переработки информации о компонентах вектора состояния СОТС, либо в виде параметров законов управления, или в форме решающих правил (алгоритмов) принятия рациональных решений, либо в форме записей в базе данных

или базе знаний. Среди частных проблем, связанных с созданием и применением ИМЛК, можно отнести:

*а) проблему обеспечения простоты и оптимальности построения каждой конкретной имитационной модели.* Данная проблема непосредственно связана с проблемой обеспечения необходимой степени адекватности моделирования. В самом деле, для достижения необходимой степени адекватности иногда приходится идти на существенное усложнение модели, построения вместо одной модели целого моделирующего комплекса. Однако даже в этом случае, если существует возможность выбора между различными классами моделей (либо комбинациями этих моделей), позволяющими обеспечивать примерно одинаковую степень адекватности моделирования, очевидно, из этих моделей целесообразно выбирать наиболее простую. В этом и состоит суть оптимальности построения (выбора) моделей.

*б) проблему обеспечения эффективной машинной реализации ИМЛ.* Решение данной проблемы, прежде всего, предполагает обеспечение высокой эффективности реализации вычислительного процесса, организованного с учетом конкретных свойств разработанных моделей и алгоритмов (степени связности алгоритмов, возможности распараллеливания счета при решении задач, решение задач в оверлейных режимах).

*в) проблему обеспечения возможности моделирования с различными масштабами времени;*

*г) проблему нахождения обоснованного компромисса между универсальностью и проблемной ориентацией ИМЛК.*

#### **4. Критические замечания по содержанию и научно-практическому уровню представленных докладов**

Проводимые конференции ИММОД по своему статусу должны быть достойны публикации материалов, отвечающих уровню кандидатских и докторских диссертаций. Это налагает соответствующие обязательства как на докладчиков, так и на Программный комитет, обязанный «держат планку» достаточно высоко.

При общем достойном уровне конференций по содержанию и форме некоторых докладов приходится сделать ряд серьезных замечаний. Программный комитет предлагает в качестве камертона для настройки докладчиков цитату из выступления одного из спонсоров и активному участнику конференций — А.В. Борщева (XJ Technology): «Преподаватели, студенты и аспиранты часто увлекаются, например, созданием собственных симуляторов или, хуже того, разводят заумное и занудное теоретизирование вокруг понятия "модель"...Важны выступления не просто в своей академической тусовке, а там, где Вас может услышать заинтересованный практик, и разговоры о не том, что сети Петри с раскрашенными фишками лучше, чем с нераскрашенными, а про то, на сколько процентов сократится время ожидания грузовика на въезде в контейнерный терминал — если принять такие-то решения, подсказанные имитацией». ~~Именно эти критические замечания~~ ~~представлены~~ ~~в~~ ~~ранее~~ ~~выполненных~~ ~~обзорах~~ [1-3] и могут быть сведены в несколько подразделов, среди которых были выделены замечания связанные с бессодержательностью докладов, несоответствием тематики докладов проблематике конференции, формулировкой глобальных претензий, содержательной неполнотой докладов, «обурбачиванием» проблем ИМ, банальностями и и переоткрытием известных результатов, философской несостоятельностью, математическим невежеством, дефектами оформления и представления полученных результатов. Анализ материалов четвертой и пятой конференций ИММОД [4-5] показывает, что большинство высказанных ранее замечаний остались актуальными и на данных конференциях.

### Заключение

Программный комитет конференции ИММОД-2011 при подготовке данной конференции постарался учесть все ранее высказанные критические замечания. Поэтому одна из основных задач данной конференции состоит в том, что, во-первых, при ее проведении учесть все ранее высказанные предложения по повышению качества представляемых докладов и, во-вторых, определить наиболее перспективные пути дальнейшего решения перечисленных проблемы теории и практики имитационного и комплексного моделирования.

Данная работа была выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 05-07-90088, № 10-07-00311, 10-08-90027-Бел\_а, 11-08-01016, 11-08-00641, 10-08-00906), Института системного анализа РАН (проект 2.3).

### Литература

1. Плотников А.М., Рыжиков Ю.И. Первая всероссийская научно-практическая конференция ИММОД-2003. Итоги и перспективы // Вестник технологии судостроения. – 2004. – № 12. – С. 69–73.
2. Рыжиков Ю.И., Плотников А.М. Вторая всероссийская научно-практическая конференция ИММОД-2005. // Вестник технологии судостроения. – 2006. – № 14. – С. 67–73.
3. Рыжиков Ю.И., Плотников А.М. Третья всероссийская научно-практическая конференция ИММОД-2007. // Вестник технологии судостроения. – 2008. – № 16. – С. 108-114.
4. Материалы 1-й, 2-й, 3-ей, 4-ой Всероссийской научно-практической конференции «Имитационное моделирование. Теория и практика», т.т. 1-2 – СПб.: ФГУП «ЦНИИ», 2003, 2005, 2007, 2009.
5. Труды 5-й Всероссийской научно-практической конференции «Имитационное моделирование. Теория и практика», т.т. 1-2 – СПб.: ОАО «ЦТСС», 2011 г.
6. Аврамчук Е.Ф., Вавилов А.А., Емельянов С.В. и др. Технология системного моделирования / Под общ. ред. С.В.Емельянова. И.: Машиностроение, 1988.
7. Власов С.А., Девятков В.В. Имитационное моделирование в России: прошлое, настоящее, будущее // Автоматизация в промышленности, 2005, №5. стр. 63-65.
8. Захаров И.Г. Обоснование выбора. Теория практики.- СПб.: Судостроение, 2006.-328 с., ил.
9. Краснощёков П.С., Петров А.А. Принципы построения моделей. – М.: Фазис, 2000. – 400 с.
10. Месарович М., Такахара Я. Общая теория систем: математические основы. М.: Мир, 1978.
11. Бусленко Н.П. «Моделирование сложных систем», М., «Наука», 1968.
12. Т. Нейлор «Машинные имитационные эксперименты с моделями экономических систем». М.: Мир, 1975. – 500 стр.
13. Р. Шеннон «Имитационное моделирование систем – искусство и наука». М.: Мир, 1978. – 418 стр.
14. Карпов Ю. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic. СПб.: БХВ-Петербург, 2005.
15. Ростовцев Ю.Г., Юсупов Р.М. Проблема обеспечения адекватности субъектно-объектного моделирования// Известия ВУЗов. Приборостроение. - № 7, 1991. – С.7-14.

16. Рыжиков Ю.И., Плотников А.М., Четвертая всероссийская научно-практическая конференция ИММОД-2009. Репринт. СПб.
17. Савин Г.И. Системное моделирование сложных процессов. М.: Фазис, 2000.
18. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. – М.: Физматлит, 2001. – 320 с.
19. Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Концептуальные основы оценивания и анализа качества моделей и полимодельных комплексов // Теория систем и управления, 2004, № 6. С. 5–16.
20. Шеннон Р. Имитационное моделирование – искусство и наука. – М.: Мир, 1978. – 418 с.
21. Юсупов Р.М. Элементы теории испытаний и контроля технических систем: / Под ред. Р.М. Юсупова. – М.: Энергия, 1977. – 189 с.
22. Юсупов Р.М., Иванищев В.В., Костельцев В.И., Суворов А.И. Принципы квалиметрии моделей // IV СПб Международная конференция «Региональная информатика-95», тезисы докладов. – СПб, 1995. – С.90-91.
23. 21<sup>st</sup> European Conference on Modelling and Simulation, June 4–6, Prague, Czech Republic, Proceedings, 2007, Prague 826 pp.
24. <http://www.wintersim.org>
25. <http://www.scs.org>
26. <http://www.liophant.org/scsc>