

# Национальное общество имитационного моделирования России – начало пути

Интервью Р.М. Юсупова, члена-корреспондента РАН, директора СПИИРАН

Сергей Павлов, Dr. Phys. (Observer)

sergey@cadcamcae.lv

Рафаэль Мидхатович Юсупов окончил электротехнический факультет Ленинградской военно-воздушной инженерной академии им. А.Ф. Можайского, а затем математико-механический факультет ЛГУ. До 1989 года проходил службу в Академии им. А.Ф. Можайского. В 1985–1986 гг. – в Генштабе ВС СССР. В 1963 году защитил кандидатскую, а в 1968-м – докторскую диссертацию; в 1974 г. ему было присвоено звание профессора. Член-корреспондент Российской академии наук с 2006 года. Заслуженный деятель науки и техники РФ.

С 1989 года – заместитель директора по науке Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН (СПИИРАН), а с 1991 года – директор.

Р.М. Юсупов – специалист в области информационных технологий, автоматизации и теории управления, основатель и руководитель научных школ по теории чувствительности сложных информационно-управляющих систем, квалиметрии моделей и теоретическим основам информатизации. Член Бюро Отделения нанотехнологий и информационных технологий РАН; член Президиума СПб НЦ РАН, член Научного совета РАН “Научные телекоммуникации и информационная инфраструктура”, Научного совета РАН по теории управляемых процессов и автоматизации, Российского национального комитета по индустриальной и прикладной математике. Член редколлегий журналов “Информатизация и связь”, “Информация и космос”, “Информационно-управляющие системы”, “Телекоммуникации”, “Информатика, вычислительная техника”, “Информатика и её приложения”, “Мехатроника, автоматизация и



управление”, международных журналов “Проблемы управления и информатики”, “Управляющие системы и машины”.

Р.М. Юсупов заведует базовыми кафедрами в Санкт-Петербургском государственном электротехническом университете “ЛЭТИ” и в Санкт-Петербургском государственном университете аэрокосмического приборостроения. Им подготовлено 10 докторов и 45 кандидатов наук.

Является автором и соавтором более 350-ти научных работ, в том числе 16-ти монографий, и 17-ти изобретений.

Год назад, в феврале 2011 г., в Санкт-Петербурге было создано “Национальное общество имитационного моделирования” (НОИМ). Организационно-правовая форма нашего общества – *некоммерческое партнёрство* (НП) Одной из основных задач НП “НОИМ” является координация работ по имитационному моделированию (ИМ) в России.

Предлагаем вниманию наших читателей интервью президента НП “НОИМ” **Рафаэля Мидхатовича Юсупова**, члена-корреспондента РАН, доктора технических наук, профессора, директора Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН.

– *Уважаемый Рафаэль Мидхатович, не могли бы Вы, первым делом, провести “ликбез” по имитационному моделированию. Хотелось бы разобраться, чем ИМ отличается от математического*

*моделирования, являющегося основой инженерного анализа, к необходимости применения которого все уже более-менее привыкли.*

*Начнем с терминологии. Крайне непросто, пользуясь словарями английского языка, найти адекватное толкование термина “имитационное моделирование”. Он переводится как “simulation”, и в дальнейшем получается что-то похожее на масло масляное... Так, “имитационная модель” переводится как “simulation model”, “имитация” – как “imitation, simulation, modelling”, либо с уточнением: “имитация” – “imitation” (подражание), “simulation” (моделирование). Но ведь любое моделирование – это подражание природе...*

*Вопрос терминологии отнюдь не является праздным. Каждый термин отражает содержание, за ним стоящее. В случае с ИМ возникает ощущение избыточности. Что добавляет нам в*

### понимании природы выделения специфического вида моделирования?

– Метод моделирования уже давно стал одним из основных инструментов исследования объектов (систем), процессов и явлений в живой и неживой природе. Несмотря на это, до сих пор отсутствуют единый, устраивающий всех понятийный аппарат, и классификация моделей. Это касается и имитационного моделирования. В литературе чаще всего оперируют с математическим ИМ (МИМ). Терминологическая неопределенность в имитационном моделировании в значительной мере возникает вследствие некоторого произвола в переводе на русский язык английских терминов *simulation, modelling, imitation*. В результате каждый автор дает свое понимание и свою интерпретацию имитационного моделирования.

В Википедии дается несколько определений ИМ. В частности, под ИМ понимается метод исследования, при котором изучаемая система заменяется моделью, с достаточной точностью описывающей реальную систему, и с ней проводятся эксперименты с целью получения информации об этой системе.

Многие рассматривают ИМ как частный случай математического моделирования сложных динамических систем, когда отсутствуют аналитические модели или не разработаны методы решения построенных моделей. Как правило, имитационное моделирование предлагается реализовать в виде экспериментов на компьютерах.

Более “осовремененное” определение ИМ дает Ю.Н. Павловский: **“Имитационное моделирование – соединение традиционного математического моделирования с новыми информационными технологиями, возникшими на базе ЭВМ”** (Павловский Ю.Н. *Имитационные модели и системы*. Москва: Изд-во Фазис, ВЦ РАН, 2000).

Мне лично импонирует определение Е. Киндлера: **“Имитационное моделирование – метод исследования, основанный на том, что изучаемая динамическая система заменяется её имитатором (подражателем), и с ним проводятся эксперименты с целью получения информации об изучаемой системе”** (Киндлер Е. *Языки программирования*. Москва: Энергоиздат, 1985, с. 27).

Если согласиться с данным определением ИМ, можно сделать ряд принципиальных выводов. В частности, такой: **в общем случае не обязательно связывать ИМ с его реализацией только на ЭВМ**. Имитаторы могут быть реализованы на электронных, гидродинамических, механических или иных физических системах. Скажем, в практике подготовки космонавтов для имитации их движения в космическом пространстве используются гидробассейны. Конечно, для решения многих задач удобно применять ЭВМ. Тогда целесообразно говорить о компьютерном имитационном моделировании, а порой даже о математическом компьютерном имитационном моделировании.

Важным элементом ИМ является эксперимент. Для его реализации часто требуется генерирование случайных величин. Но это не значит, что, во-первых, ИМ обязательно означает использование генераторов

случайных чисел, и, во-вторых, метод статистических испытаний (метод Монте-Карло) не вытекает из метода ИМ и не включает в себя ИМ.

В связи с обсуждаемой проблемой важно отметить, что методология МИМ имеет определенные “пересечения” с концепцией вычислительного эксперимента академика А.А. Самарского. В его работах и работах его учеников термин ИМ практически не упоминается. В то же время, схема технологического цикла вычислительного эксперимента по А.А. Самарскому фактически имеет много общего с технологической схемой МИМ. Сравнительный анализ указанных двух подходов требует дополнительного исследования.

Естественно, выработка терминологии – дело серьезное и ответственное, это требует значительных интеллектуальных и временных затрат. Но отсутствие “рафинированной” терминологии не должно сдерживать развитие технологического процесса и решение прикладных задач.

В этом отношении характерен пример с таким фундаментальным понятием кибернетики и науки в целом, как информация. Каждый специалист, входя в мир информационных технологий, стремится дать свое определение информации. Сегодня таких определений существует множество. В то же время “отсутствие” стандартизованного определения информации не является препятствием для широкого развития информационных технологий. Выдвигаются даже предложения отнести термин информация к базовым неопределяемым понятиям науки...

Аналогичная ситуация складывается и со строгим определением ИМ. Каждый из исследователей и разработчиков интуитивно (да и не только) понимает суть и содержание ИМ и руководствуется этим при решении своих прикладных задач. Так поступают и мои коллеги по Национальному обществу имитационного моделирования: К.А. Аксенов, С.А. Власов, А.А. Емельянов, Ю.Г. Карпов, Н.Б. Кобелев, Ю.И. Рыжиков, Ю.Б. Сениченков, Б.В. Соколов, Ю.И. Толуев и др.

*– Любое моделирование начинается с описания исследуемого объекта как системы, выбора главных и второстепенных параметров, описания связей между ними, ограничений на параметры. В сфере инженерного анализа понимание этих азов вошло в плоть и кровь расчетчиков. Они исследуют поведение будущего изделия под воздействием нагрузок, электромагнитных полей, тепловые режимы и т.д. И параметры здесь на слуху – размеры, прочность, электропроводность, вязкость, теплопроводность и т.п.*

*Объекты каких классов и процессы каких видов изучаются с помощью ИМ? В чём специфика таких объектов и процессов, какой набор описывающих их параметров используется?*

– Построение любой модели, в том числе ИМ, осуществляется в несколько этапов. На первом этапе действительно проводятся изучение проблемной ситуации, качественное содержательное (как правило, вербальное) описание и анализ моделируемого объекта или процесса с использованием всей априорной

информации, построение концептуальной модели. В последние годы к построению концептуальной модели начал широко привлекаться онтологический подход. Онтология – это описание типов сущностей и понятий предметной области, их свойств и отношений. По существу, сегодня в определенной степени можно говорить об онтологической модели исследуемой системы как аналоге её концептуальной модели.

О классах объектов и видах процессов, исследуемых с помощью ИМ, я уже упоминал. Это сложные динамические системы, не имеющие аналитического описания или методов манипулирования соответствующими моделями. Сюда относятся различные бизнес-процессы, логистические системы, управление проектами, боевые действия, системы обеспечения информационной безопасности и защиты информации и т.д.

*– Математическое описание объектов для инженерного анализа строится на базе модели сплошной среды и системы уравнений, описывающей их поведение, записанных в дифференциальной или интегральной форме. Впоследствии эти уравнения представляются в дискретной форме (скажем, по методу конечных элементов), а затем решаются численно – как правило, путем параллельных вычислений на многоядерных компьютерах. В чём специфика подхода ИМ в сравнении с полемым описанием в механике и электродинамике сплошных сред? Какими уравнениями описываются объекты при имитационном моделировании? Какие методы специально разработаны для задач ИМ?*

– Математическое описание объектов в имитационных моделях строится на различных основах. Например, в универсальных имитационных моделях (в системах УИМ-1 или ИКМ – имитационная компьютерная модель), описание строится на типовых элементарных блоках (ТЭБ). Эти блоки представляют и выполняют различные математические схемы – от простых (сумматоры, пороговые, логические, интегрирующие, функциональные элементы, генераторы псевдослучайных чисел и т.д.) до сложных (системы массового обслуживания, системы автоматического управления и т.д.), а также типовые системы различных объектов (склад, цех, предприятие и т.д.). Естественно, библиотека математического обеспечения ТЭБ зависит от того, какой объект описывается. ТЭБ может представлять любую математическую схему. Учитывая, что имитационная модель строится для сложных иерархических систем, имеющих древовидную структуру, то используемые ТЭБ или элементы (подсистемы) соединяются между собой связями, объединяющими всю систему. Таким образом, строится математическое обеспечение имитационных моделей.

На самом деле существует не так много общих методов, характеризующих специфику аналогии или подражания (собственно *simulation*).

В дискретных моделях – это алгоритмы реализации виртуального времени с одновременной имитацией событий в этом времени.

Для гибридных моделей можно назвать, наряду с алгоритмами реализации таймера, уравнения кинетики

непрерывных компонентов, математических пространств и/или полей (формульные системы уравнений, включая дифференциальные уравнения и их системы).

*– За прошедшие годы радикально изменилось представление о вычислительном инструменте. В арсенал САЕ-специалистов, участвующих в создании сложных изделий, сегодня входят многоядерные компьютеры, а также методы параллельных вычислений. Новые возможности инструментов радикально меняют представления о “границах дозволенности”. Взять для примера описание турбулентности – в область, где еще недавно господствовали полуэмпирические модели, сейчас приходят методы, позволяющие получить значительную часть необходимой для инженерных расчетов информации в результате прямого решения уравнений.*

*Может быть, вместо построения имитационных моделей лучше сразу решать систему уравнений, описывающую сложную, многоэлементную модель с многообразными связями? А настроенные имитационные модели использовать в дальнейшем для многовариантных расчетов в процессе разработки изделий?*

– Противопоставлять “имитационное моделирование” и “прямое решение уравнений” (в частности, уравнений математической физики) – неправильно. Так же неправильно – считать имитационное моделирование синонимом “полуэмпирических моделей”. Во-первых, описание турбулентности с помощью уравнений является результатом эмпирических исследований. Во-вторых, “прямое решение уравнений” выполняется на компьютере, и поэтому его можно рассматривать как частный случай ИМ.

Сложные многоэлементные модели с многообразными связями – это и есть те системы, для которых используется имитационное моделирование. Однако **такие системы и особенности их связей очень редко могут быть описаны уравнениями**. Парадигма ИМ требует описать поведение отдельных элементов таких систем программными модулями, программно описать правила их взаимосвязей и ограничения. Но такие правила очень редко выражаются уравнениями. Они выражаются табличными и логическими соотношениями, правилами “если – то”.

Построенная имитационная модель точно так же, как и любая вычисляемая функция, может быть с успехом использована для многовариантных расчетов в процессе разработки любых изделий.

*– Обычно качество разработанной численной модели проверяется на какой-либо достаточно простой задаче, которая решается аналитически или решение которой является весьма наглядным для понимания. Не могли бы Вы привести пример задачи ИМ, решение которой сразу бы растопило сердца читателей нашего журнала в отношении к пока еще непростой для понимания области?*

– Простейшая задача – из теории массового обслуживания. Нужно определить задержку в очереди



одноканальной СМО (системы массового обслуживания) с произвольным законом интервала обслуживания.

**Вариант 1:** входной поток – пуассоновский.

В университетах студенты изучают формулу Поллачека-Хинчина (*Pollaczek-Khinchin*) и её вывод путем решения системы дифференциальных уравнений.

*Первое решение:* студент берет калькулятор, эту формулу и через несколько минут получает решение (только математическое ожидание; для получения среднеквадратичного отклонения придется поработать значительно дольше).

*Второе решение:* вместо калькулятора и формулы используется имитационная модель (на языке GPSS – это 7 блоков-строук, на *Pilgrin* – 4 оператора). Меньше, чем через минуту будут получены и математическое ожидание, и среднеквадратическое отклонение, а если очень нужно – и плотность распределения времени задержки.

**Вариант 2:** входной поток – непуассоновский.

*Первое решение:* невозможно рассчитать! Не существует аналитического решения на основе математической модели для общего случая – только приближенные и очень неточные.

*Второе решение:* используются те же простейшие имитационные модели, и результаты будут получены.

Другие простые примеры имитационного моделирования СМО можно найти в книге: **Рыжиков Ю.И. Имитационное моделирование. Курс лекций.** Санкт-Петербург: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2007.

В Институте проблем управления (ИПУ) РАН еще в 1980–1990-е годы была разработана методика имитационного моделирования производственных систем непрерывно-дискретного типа, к которым относятся, например, металлургические производства.

На основе этой методики специалистами ИПУ РАН и специалистами из Чехословакии был совместно разработан программный продукт ИМИТАМП (ИМИТАция Автоматизированного Металлургического Производства). Он был использован при проектировании новых комплексов выплавки стали с последующей разливкой на установках непрерывной разливки. Работа проектируемых комплексов моделировалась на значительных периодах времени (до месяца и более) в разной конфигурации оборудования. Каждая такая установка стоит не менее 15 млн. долларов, да и эксплуатационные расходы, конечно, тоже велики. По двум конкретным объектам (новым цехам) с помощью ИМИТАМП была доказана возможность отказа от строительства одной установки непрерывной разливки, что позволило реализовать проект с очень выгодными экономическими показателями. (Смирнов В.С., Власов С.А. и др. *Методы и модели управления проектами в металлургии.* Москва: СИНТЕГ, 2001).

В своём вопросе Вы использовали понятие *качества* разработанной модели.

Обычно понятие качества применяют для оценки совокупности характеристик материальных объектов, определяющих их способность удовлетворять установленные или предполагаемые потребности. Методологические и методические основы количественного

оценивания качества продукции разрабатываются в *квалиметрии* – важнейшем разделе *качествоведения*.

В последние годы для сравнения и выбора наилучших моделей предлагается распространить методы квалиметрии и на такие нестандартные (абстрактные) объекты, какими являются математические модели, в том числе ИМ. В своих работах (Юсупов Р.М., Иванищев В.В., Костельцев В.И., Суворов А.И. *Принципы квалиметрии моделей // IV СПб Международная конференция “Региональная информатика-95”, тезисы докладов.* Санкт-Петербург, 1995; Соколов Б.В., Юсупов Р.М. *Концептуальные и методические основы квалиметрии моделей и полимодельных комплексов // Труды СПИИРАН, вып. 2, т. 1.* Санкт-Петербург: Наука, 2004) мы ввели термин **квалиметрия моделей** (моделеметрия) и предложили перечень свойств (характеристик) для оценки качества моделей: адекватность, эффективность машинной реализации, идентифицируемость, устойчивость, управляемость и т.д.

– *Насколько весом вклад российской науки в создание методологии имитационного моделирования и в решение прикладных задач? Есть ли своя ниша в ИМ?*

– Авторами первых отечественных теоретических работ в области имитационного моделирования можно назвать Н.П. Бусленко, Ю.А. Шрейдера, Б.В. Гнеденко, И.М. Соболя, Д.И. Голенко и др. Опубликованная с их участием книга (*Методы статистических испытаний и его реализация на цифровых вычислительных машинах.* Москва: Физматгиз, 1961), а также монография (Бусленко Н.П., Шарагин З.И. *Математическое моделирование производственных процессов на цифровых вычислительных машинах.* Москва: Физматгиз, 1964) стали первыми фундаментальными работами по имитационному моделированию. Впоследствии теоретические и прикладные исследования в области имитационного моделирования начали проводиться в ряде научных организаций и вузов: Вычислительном центре РАН, Институте проблем управления РАН, Институте математического моделирования РАН, Институте прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Институте системного анализа РАН, Институте вычислительной математики и математической геофизики (Новосибирск), Ленинградском электротехническом университете, Томском политехническом университете и др.

Различные языки имитационного моделирования начали создаваться, начиная с начала 1970-х годов. Так, в Центральном экономико-математическом институте РАН под руководством Е.И. Яковлева был создан имитационный транслятор с языка *Simula*, а группой Н.П. Бусленко – имитационный язык УАИМ (универсальная агрегативная имитационная модель).

Вклад российской науки достаточно полно описан в следующей статье: Власов С.А., Девятков В.В. *“Имитационное моделирование в России: прошлое, настоящее, будущее”* (журнал “Автоматизация в промышленности”, №5, 2005).

В последние годы в России начали создаваться и прикладные программные пакеты в области имитационного моделирования.

Санкт-Петербургская компания “Экс Джей Текнолджис” (Ю.Г. Карпов, А.В. Борщев) создала программный продукт *AnyLogic*, поддерживающий такие методы ИМ, как системная динамика, дискретно-событийное моделирование, агентное моделирование.

Под руководством профессора В.И. Городецкого в Санкт-Петербургском институте информатики и автоматизации РАН разработаны технология и инструментальная среда *MASDK (Multi-Agent System Development Kit)* для разработки многоагентных систем в различных проблемных областях, в том числе в области агентного моделирования. С применением указанного инструментария был создан прототип имитационной модели управления воздушным движением в зоне крупного аэропорта. В этой модели были исследованы возможность и преимущество управления на основе “концепции будущего” (*free flight*).

А.А. Емельяновым (Московская финансово-промышленная академия) разработана технология имитационного моделирования экономических процессов в системе *Actor Pilgrim*. В Высшей школе управления (Москва) Н.Н. Лычкиной разрабатывается методология обучения студентов ИМ в применении к построению и изучению моделей организационных структур. В Высшей школе экономики (Москва) С.И. Париновым разрабатывается методология сетевой социоэкономики, основным инструментом анализа в которой является многоагентное ИМ.

По-моему, именно в начале 2000-х годов произошло то, что можно назвать ренессансом в отношении ИМ в России. В немалой степени этому способствовали все-российские конференции по имитационному моделированию – **ИММОД**, которые стали регулярно проводиться в России, начиная с 2003 года.

*– В каких направлениях ИМ уровень российских разработок сопоставим с уровнем признанных западных работ? Кого из ученых приглашают выступить с докладом на международных конференциях?*

– Одним из главных достижений российской школы ИМ можно считать идею построения моделей, в которых использованы различные уровни абстракции и различные парадигмы моделирования. Эта идея воплощена в российском инструменте имитационного моделирования – *AnyLogic*.

Применение многоагентных имитационных моделей в самых разных приложениях является областью, в которой российские ученые выполняют исследования на мировом уровне – в частности, с помощью инструментов *AnyLogic*. А.В. Борщев, Т.В. Попков – постоянные участники международных конференций по ИМ.

Следует отметить программно-технологические разработки для применения *GPSS World* в промышленности (руководитель В.А. Девятков, компания “Элина-Компьютер”, Казань), которые значительно увеличили популярность не только *GPSS*, но и других программных средств имитационного моделирования в инженерном сообществе.

Значительную активность в области ИМ проявляют *B-Club Engineering* (Иваново), Департамент

имитационного моделирования компании *IBS* (Москва) ОАО “Ленгипромез” (Санкт-Петербург) и др.

Новым перспективным направлением является использование прогнозного имитационного моделирования для управления в *Smart Grid* (Санкт-Петербургский Политехнический университет).

Другой областью, в которой исследования российских ученых находятся на мировом уровне, являются гибридные системы. Профессор Ю.Б. Сениченков недавно был приглашен с пленарным докладом на международную конференцию в Вену.

Профессор В.И. Городецкий является одним из организаторов, приглашенным докладчиком и участником всех основных международных конференций по многоагентным технологиям и их применениям для ИМ. Во многих конференциях по агентам участвуют и его сотрудники.

После того как мы создали в России “Национальное общество имитационного моделирования” (НП “НОИМ”) и заявили о себе в мире, наши общения с зарубежными партнерами, надеюсь, расширятся.

*– Как может повлиять создание НП “НОИМ” на уровень российских разработок в области имитационного моделирования?*

– Одна из основных целей НП “НОИМ” заключается в координации интересов и усилий отечественных ученых и специалистов в области имитационного моделирования. ИМ начинает применяться в разных предметных областях, в разных сферах и областях экономики. Ведомственная разобщенность приводит порой к дублированию работ, тормозит обмен научными и прикладными результатами, сдерживает широкое применение инновационных разработок, развитие общих, независимых от предметной области, научно-методологических основ ИМ.

В результате координационной деятельности общества мы надеемся получить серьезный синергетический эффект в области имитационного моделирования. Кроме того, мы надеемся, что НП “НОИМ” окажет действенную помощь отечественным исследователям в получении наиболее полной информации об успехах наших зарубежных коллег.

*– Если мостик, соединяющий ИМ с разработкой изделий, искать на уровне применения систем, которые управляют цифровыми данными об изделии, то первое, что приходит на ум – это “цифровое производство” (digital manufacturing, e-manufacturing). Какой класс задач, по Вашему мнению, здесь отдан на откуп имитационному моделированию?*

– В области “цифрового производства” место ИМ определено сегодня довольно четко.

К первому классу моделей относятся модели отдельных рабочих мест, на которых в произвольных комбинациях используются персонал, обычные станки, автоматизированные обрабатывающие центры и промышленные роботы. Чаще всего такие модели представляются как трехмерные анимационные, и в них почти с фотореалистической точностью воспроизводятся

движения как рабочих органов средств производства, так и самих обрабатываемых изделий.

Ко второму классу относятся модели производственных систем, в которых отображаются процессы обработки потоков изделий на нескольких (иногда на сотнях) рабочих мест в заданном промежутке времени – например, в течение рабочей смены или целой рабочей недели. Анимация в моделях такого класса обычно выглядит как двумерная, а кинематика отдельных рабочих органов средств производства не отображается вообще. Каждое рабочее место моделируется в таком случае как абстрактное пространство, в которое на некоторое время может помещаться определенное число подвижных объектов – например, обрабатываемых изделий.

При работе с моделями первого класса стараются доказать принципиальную реализуемость отдельных операций и определить длительность их выполнения. С помощью моделей второго класса оценивают ожидаемую производительность (пропускную способность) и характеристики загрузки всей рассматриваемой производственной или логистической системы – например, склада, участка, цеха или предприятия в целом.

*– Какой задел фундаментальных исследований в области ИМ мог бы сегодня заинтересовать вендоров PLM (в том числе, и систем цифрового производства), основной акцент деятельности которых связан с практическим внедрением разработок в промышленности?*

– В настоящее время в мире в области ИМ проводится ряд интересных исследований по квалиметрии ИМ, количественному и качественному анализу их свойств на основе категорных и структурно-математических описаний. Весьма перспективными представляются исследования по интеллектуализации рассматриваемого вида моделирования, а также его интеграции с давно уже существующими технологиями моделирования, базирующимися на аналитическом описании соответствующих объектов и процессов. Использование на современном производстве комплексного (системного) моделирования PLM-систем, особенно актуально и необходимо с учетом начала внедрения на практике принципиально новой технологии управления жизненным циклом (ЖЦ) изделий. Она получила название *CL<sub>2</sub>M* (*Closed Loop Lifecycle Management* – управление ЖЦ с обратной связью). Комбинированное описание (аналитико-имитационное, логико-лингвистическое, логико-алгебраическое и т.п.) *CL<sub>2</sub>M* процессов позволит значительно повысить степень адекватности результатов моделирования и обоснованность решений, формируемых на этой основе. Однако при таком комплексном моделировании центральной была и остается проблема согласования (координации) используемых моделей (в том числе и ИМ), что приводит к необходимости проведения дополнительных исследований с учетом специфики каждого конкретного производства.

*– Модуль Plant Simulation, входящий в состав довольно популярной системы цифрового производства Tecnomatix, позиционируется как программная среда для имитационного моделирования*

*производственных процессов. Как оценивается научный уровень этого продукта с профессиональной точки зрения?*

– “Научный уровень” продукта *Plant Simulation* проявляется, прежде всего, в его потребительских свойствах, которые испытываются разработчиками моделей производственных, транспортных и логистических систем уже начиная с 1991 года. Этот продукт можно считать одним из самых удачных из всех пакетов, ориентированных на дискретно-событийное моделирование процессов. В одной только в Германии с его помощью на профессиональном уровне созданы тысячи моделей – в частности, для автомобилестроительных заводов, выпускающих автомашины марок *Audi*, *BMW*, *Daimler*, *Opel* и *Volkswagen*, на которых продукт *Plant Simulation* принят в качестве стандартного.

*– Известно ли, с какой научной школой сотрудничает подразделение Tecnomatix компании Siemens PLM Software? Чего не хватает российским научным школам для того, чтобы соответствовать требованиям таких потребителей, как Siemens?*

– Именно в области “классического” имитационного моделирования процессов подразделение *Tecnomatix* продолжает сотрудничать с системой Фраунгоферских институтов (*Fraunhofer Institut*) в Германии. Продукт *Plant Simulation* получил такое название в 2005 году, когда подразделение *Tecnomatix* вошло в состав американской фирмы *UGS*. Это название было сохранено и в 2007 году, когда *Siemens* приобрел *UGS*. А вообще-то





история *Plant Simulation* началась в 1986 году, когда во Фраунгоферском институте *IPA (Institute for Manufacturing Engineering and Automation)* в Штутгарте в рамках исследовательских работ создавались первые версии этого продукта. Ставилась цель реализовать разработанные в то время в Стэнфордском университете (США) новые идеи, относящиеся к объектно-ориентированному программированию и графическому интерфейсу пользователя. В 1991 году была создана немецкая фирма *AESOP*, которая начала успешную реализацию на рынке продукта с названием *SIMPLE++*. В 1997 году *AESOP* была приобретена фирмой *Tecnomatix* (Израиль), которая заменила название *SIMPLE++* на *eM-Plant*. Фирма *Tecnomatix* уже тогда имела собственную линейку продуктов – в частности, для разработки программ для станков с ЧПУ. Название *eM-Plant* “продержалось” до 2005 года, а потом было заменено на *Plant Simulation*.

Чтобы соответствовать требованиям таких потребителей, как *Siemens*, российским научным школам по имитационному моделированию не хватает мотивации и еще раз мотивации. Представителям и коллективам научных школ достаточно сложно предложить услуги по ИМ “общим фронтом” – когда вендор выходит на предприятие/завод и привлекает на выполнение отдельных работ научную школу. В настоящее время сближение происходит большей частью по другой схеме – выпускник вуза (аспирант) параллельно работает во внедренческой компании и участвует в проекте по автоматизации технологического процесса, например, на заводе. С научным руководителем он работает над диссертацией, получая фундаментальные (теоретические) результаты, а со своей компанией решает внедренческую задачу. Не хватает только знания продуктов и технологий *Siemens*, ну а вся теоретическая база соответствует требованиям.

Для развития и укрепления научных школ было бы намного эффективнее работать в альянсе (выполнять совместные работы). В Германии такая схема работает, её можно применить и в России.

– В соответствии с классификацией аналитической компании *SIMdata*, системы цифрового производства входят в состав так называемых всеобъемлющих (*comprehensive*) *PLM*-систем. Чем могли бы методы ИМ, опробованные в системах цифрового производства, обогатить *PLM*-системы для поддержки других этапов жизненного цикла изделия?

– Если оставаться в области имитационного моделирования процессов, то вполне можно говорить о его применении по отношению к двум периодам жизненного цикла готовых изделий. С помощью моделей, основанных на принципах системной динамики по Форрестеру, можно очень правдоподобно отображать “динамику жизни и смерти” таких долгоживущих групп изделий массового производства, как, например, автомобили, суда или сложная бытовая техника. Модели могут охватывать такие этапы жизни изделий, как их появление на рынке в качестве нового продукта, период их эксплуатации, сопровождающийся потоком ремонтных и сервисных

услуг, а также период их вывода из эксплуатации по причинам морального или технического старения. Вполне понятно, что модели данного класса не отображают никакие конкретные изделия, а оперируют с большими количествами изделий, находящихся в определенных состояниях и переходящих с течением времени из одного состояния в другое. Обычные дискретно-событийные модели с успехом могут применяться для организации и оптимизации сравнительно новых видов производства, связанных с утилизацией (разборкой, измельчением и извлечением различных видов материалов) упомянутых выше изделий массового производства.

– Компания *Dassault Systèmes*, известная своими новаторскими разработками, расширяющими представление о *PLM* (ей, вместе с *IBM*, принадлежит приоритет в формулировании *PLM* как универсального подхода к разработке изделия), недавно приобрела компанию *Intercim*. Это будет способствовать интеграции *PLM*-системы, включающей и систему цифрового производства *DELMIA*, со специализированными системами управления производством (*MES*) и системами управления ресурсами предприятия (*ERP*). Каковы, по Вашему мнению, перспективы применения ИМ в интегрированных *PLM*-, *MES*- и *ERP*-системах?

– Отмеченные Вами конкретные движения на рынке вряд ли окажут существенное влияние на развитие таких направлений, как *PLM*, *ERP* и *MES*. Философия *PLM* известна уже более 20-ти лет, хотя она, конечно, постоянно “расширяется и углубляется”. Системы типа *ERP* более 10-ти лет массово применяются на современных предприятиях в самых различных отраслях народного хозяйства индустриально развитых стран. Сравнительно новой является концепция *MES*, хотя какие-то системы оперативного контроля и управления существовали всегда (пусть даже на базе *MS Excel*) и они всегда “питались данными” от вышестоящих систем: планирования материальных ресурсов (*MRP*) или *ERP*.

Если попытаться прямо ответить на вопрос о связях имитационного моделирования с концепциями *PLM*, *ERP* и *MES*, то вырисовывается следующая картина. Уже имеются примеры применения моделей системной динамики для стратегического анализа вариантов поведения предприятий и мониторинга его функционирования в рамках соответствующих концепций *PLM*. Перспективной задачей можно считать расширение масштабов применения этого вида имитационного моделирования. При этом надо иметь в виду, что “узким местом” в области разработки и применения таких моделей является именно человек, а не “машина” – то есть, просто не хватает специалистов, профессионально владеющих этим методом моделирования.

Системы типа *ERP* всегда были тесно связаны с производимыми в больших количествах “неонлайновыми” моделями производственных и логистических систем, принадлежащими к группе дискретно-событийных моделей, поскольку именно такие модели всегда рассматривались как средство поддержки процессов (стратегического и тактического) планирования на предприятиях. Наиболее интересные перспективы открываются

в связи с возможностями создания “онлайн-овых” моделей в качестве компонентов соответствующих систем типа *MES*. Такие модели должны просто “жить вместе с объектом моделирования”, что означает следующее: автоматически учитывать все происходящие в нём изменения и всегда быть “готовыми к старту”, который начинается с инициализации модели – то есть, с отображения в ней реальной ситуации, наблюдаемой на объекте моделирования в момент старта модели.

– *Насколько активно методы ИМ применяются для исследования экономических процессов? Какие достижения российских специалистов в этой сфере Вы могли бы упомянуть?*

– Для исследования экономических процессов методы имитационного моделирования применяются достаточно часто, но, главным образом, в тех коллективах, где есть сложившиеся научные школы и направления. Причем, следует разделять эти процессы (и модели) как по масштабам, так и по исследуемым динамическим характеристикам.

По масштабам они бывают:

- глобальные;
- макроэкономические (масштаб – государство);
- микроэкономические (масштаб – отрасль, подотрасль, холдинг, предприятие).

По исследуемым динамическим характеристикам можно выделить:

- исследование временной динамики;
- совместное исследование временной, пространственной и финансовой динамики;
- управление рисками.

Эти характеристики могут влиять на выбор программных средств. Так, для исследования временной динамики экономических процессов (или бизнес-процессов) используются, в частности, пакеты *GPSS World*, *AnyLogic* и *Actor Pilgrim*. Для совместного исследования временной, пространственной и финансовой динамики предпочтение отдается специализированному пакету *Actor Pilgrim*.

Как правило, каждое исследование заканчивается завершённым инновационным проектом и, во многих случаях, защитой кандидатской диссертации по специальности 08.00.13 – “Математические и инструментальные методы экономики”. Подобных защит в России, к сожалению, не так много – примерно одна в год.

Наиболее крупные достижения за последние 10 лет связаны с появлением ряда фундаментальных научных трудов по имитационному моделированию экономических процессов. Дело в том, что традиционные методы и приемы, используемые для имитационного моделирования производственно-технологических и транспортных систем, для создания экономических моделей, как правило, не обладают необходимыми качествами. Потребовались дополнительные исследования.

Можно отметить фундаментальные работы в области экономики Н.Б. Кобелева (две монографии) и А.А. Емельянова (докторская диссертация “Имитационное моделирование в управлении рисками”; кроме того, он является автором методологии *Pilgrim* применительно к области экономики и более 100 работ

по имитационному моделированию), а также работы ученых ИПУ РАН и Государственного университета управления В.Н. Буркова, В.В. Кульбы, А.Д. Цвиркуна, В.К. Акинфиева, А.В. Щепкина, Д.А. Новикова, Н.Н. Лычкиной, в которых приводится множество примеров таких применений.

Конкретные примеры применения ИМ в реальных отраслях экономики можно найти в трудах наших конференций ИММОД, которые проводятся в Санкт-Петербурге, начиная с 2003 года (один раз в два года).

– *Что нужно сделать, чтобы методы и инструменты ИМ вошли в обычную практику инженеров?*

– Имитационное моделирование – это методология исследования сложных систем для понимания их функционирования и для принятия обоснованных решений. **Имитационное моделирование необходимо любому человеку, принимающему ответственные решения.** Поэтому, этот инструмент нужен не только инженерам. Менеджеры и управленцы всех уровней должны основывать свои решения на анализе модели той системы, которой они управляют.

Все используемые инженерами, менеджерами и экономистами инструменты и методы ИМ являются лишь дополнительными средствами решения традиционных задач проектирования, планирования и модернизации производственных и логистических систем. Самым первым условием их применения является наличие потребности, а уж обеспечить возможности для их применения (найти соответствующие инструменты и специалистов) можно почти всегда. Сам уровень организации вышеупомянутых видов работ, если они выполняются в условиях современного конкурентоспособного производства, автоматически приводит к возникновению потребности применять ИМ, так как в таких условиях даже небольшие ошибки при принятии соответствующих технических или организационных решений часто приводят к значительным потерям.

Для внедрения методов и инструментов имитационного моделирования в обычную практику необходима разработка общедоступных хороших учебников по этому вопросу, пропаганда лучших образцов применения ИМ для решения управленческих проблем, введение курсов по имитационному моделированию в высшей школе (конечно, не только систем массового обслуживания). Так сложилось, что в государственных образовательных стандартах раньше были специальности, где в числе обязательных компонент присутствовала дисциплина “имитационное моделирование” – например, в распространённой специальности “Прикладная информатика (по областям)”. Но сейчас эта дисциплина исключена из учебных планов, поскольку не вошла в базовую часть новых стандартов. Только некоторые вузы продолжают её преподавать как элективный (по выбору студента) компонент учебного процесса.

Инструменты имитационного моделирования необходимо сделать частью сервис-ориентированных приложений для САПР, АСУ и других систем принятия решений.

Необходимо всячески поддерживать и развивать научные школы имитационного моделирования.



Научные школы должны работать с реальными секторами экономики.

*– Каковы Ваши планы сотрудничества в области ИМ с ведущими вендорами рынка САПР/PLM? Какие организационные формы представляются Вам наиболее эффективными: организация стартапа, занимающегося внедрением фундаментальных разработок в практику производства, с последующей его продажей вендору; организация центра компетенции на базе академического НИИ?*

– Вариант с организацией стартапа является наилучшим для развития новых программных продуктов и может быть интересен молодежи – сейчас многие мечтают создать свое дело. Это позволит закрепить молодых людей в наукоемких отраслях.

О месте “фундаментальных разработок” в области ИМ я уже говорил выше.

Наиболее полезной и реалистичной представляется идея создания *центров компетенции*, в которых можно было бы узнать о мировом опыте применения самых современных средств имитационного моделирования для решения как типовых, так и уникальных задач проектирования, планирования и реконструкции современных производственных и логистических систем.

*– Какие направления координации научных исследований и коммерциализации практических разработок Вам кажутся наиболее перспективными в рамках “Национального общества имитационного моделирования” для последующего применения в промышленности?*

– Одно из наиболее важных и перспективных направлений исследований в этой области – прогнозное моделирование экономики с целью получения обоснованных рекомендаций по использованию финансовых и административных инструментов для стабильного развития государства. Другое важное направление – прогнозное моделирование гибридных электроэнергетических систем типа *Smart Grid* для автоматического принятия решений по предотвращению аварий.

Необходимо также рассмотреть возможность участия в государственных программах по приоритетным направлениям технологического развития страны, а также в работах, которые развиваются в крупных национальных и международных компаниях и корпорациях.

*– Каковы источники формирования бюджета Общества? Участвует ли в этом государство?*

– Основные источники финансирования Общества на сегодняшний день – регулярные и целевые взносы членов Общества, физических и юридических лиц. Государство в формировании бюджета Общества участия не принимает.

*– У Вас, Рафаэль Мидхатович, есть возможность обратиться к нашей читательской аудитории с заявлением, приглашением или пожеланием...*

– Методы моделирования являются и, несомненно, останутся одним из основных инструментов

современного исследователя и проектировщика практически во всех отраслях экономики, науки и техники. Возможности моделирования, особенно математического, в том числе имитационного, существенно выросли в связи с развитием возможностей вычислительной техники. Сегодня в развитых странах обязательной практикой стало моделирование всего жизненного цикла таких сложных объектов, как самолеты, суда, автомобили, ракетно-космическая техника и т.д. В ближайшем будущем модели и высокопроизводительные вычисления будут определять конкурентоспособность любой страны на мировом уровне.

В связи со сказанным не могу не вспомнить опять добрым словом академика А.А. Самарского, который еще в восьмидесятых годах прошлого столетия активно пропагандировал математическое моделирование и вычислительный эксперимент, настойчиво доказывая научной общественности и руководству страны важность и незаменимость их (моделей) для решения крупных научно-технических, социальных, экономических и оборонных задач.

В 1986 году с участием А.А. Самарского было подготовлено и принято Постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР об усилении научно-исследовательских работ в области математики и моделирования. В этом документе, в частности, предлагалось разработать общегосударственную программу широкого использования математического моделирования в различных отраслях народного хозяйства. Намечалось создание *службы математического моделирования* – своеобразной математической индустрии, аналогичной индустрии энергетики или транспорта. Была надежда, что быстрое развертывание программы во многом определит лицо научно-технического прогресса в стране в конце XX – начале XXI веков. К сожалению, события и процессы 1990-х, приведшие к распаду СССР и фактически всей его экономики, свели на нет все задумки, запланированные в указанном постановлении. В противном случае, я уверен, в настоящее время в области математического моделирования мы находились бы на вполне достойном уровне.

Так что сегодня нам необходимо наверстывать упущенное.

Для этого нужно активизировать научные исследования в области ИМ, организовать или скорректировать подготовку кадров, активнее участвовать в международном обмене информацией, технологиями и специалистами.

Надеюсь, что успешному решению этих и других задач будет способствовать созданное нами “Национальное общество имитационного моделирования”. Приглашаю всех, кто профессионально занимается ИМ или интересуется этой областью вступать в члены НП “НОИМ”.

В заключение хочу отметить, что некоторые ответы на вопросы редакции я обсуждал со своими коллегами – активистами “Национального общества имитационного моделирования” (К.А. Аксенов, С.А. Власов, А.А. Емельянов, Ю.Г. Карпов, Н.Б. Кобелев, А.М. Плотников, Б.В. Соколов, Ю.И. Толуев), за что выражаю им искреннюю благодарность! 🙏