

---

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ СРЕДА ПОДДЕРЖКИ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ

Б. Я. Советов, С. А. Яковлев (Санкт-Петербург)

Образовательная система в информационном обществе должна стать системой опережающей. Переход от консервативной образовательной системы к опережающей мог бы базироваться на опережающем формировании информационного пространства Российского образования. Информационное пространство Российского образования формируется уже в настоящее время, хотя в ряде случаев и стихийно. Появление информационных технологий способствовало ускорению смены технологий в производстве, проектировании, научных исследованиях, административном управлении. Прогнозируют, что цикл обновления производственных технологий уменьшится до 6–8 лет, а это означает неоднократную смену вида деятельности человека в течение его жизни, уже в настоящее время перед многими встает задача смены профессии. Ускоренное получение дополнительного образования возможно за счет эффективного внедрения в процесс обучения новых информационных технологий (в том числе и имитационного моделирования – ИМ). Поэтому проблема информатизации имеет глубокое социальное значение. И в этом смысле проблема модернизации образования на всех его уровнях требует конструктивных решений, и ее целесообразно решать в тесной связи с информатизацией общества. Одним из существенных направлений модернизации образования является подготовка разработчиков информационных технологий. Как показал опыт, это можно реализовать в рамках направления подготовки бакалавров, магистров и дипломированных специалистов «Информационные системы».

Интенсивное развитие информационной индустрии не может не отражаться на потребностях отраслей экономики России в подготовке квалифицированных специалистов в области информационных систем и технологий. Исторически первой по инициативе учебно-методического объединения (УМО) вузов по университетскому политехническому образованию при МГТУ им. Н.Э. Баумана была организована подготовка инженеров по межотраслевой специальности 071900 – Информационные системы (по областям применения). Существование одной специальности 071900 – ИСТ в рамках направления подготовки дипломированных специалистов 654700 – ИС привело к возникновению в рамках данной специальности более чем 20 специализаций, обусловленных потребностями регионов России. Объектами профессиональной деятельности инженера по этой специальности были определены информационные системы и сети, их математическое, информационное и программное обеспечение, способы и методы проектирования, отладки, производства и эксплуатации программных средств информационных систем в областях: машиностроение, приборостроение, наука и образование, металлургия, энергетика, техническая физика, административное управление, бизнес, менеджмент, ядерная энергетика, геология и нефтегазодобыча, химико-лесной комплекс, телекоммуникации, связь, горное дело, управление технологическими процессами, медицинские технологии, средства массовой информации, химико-лесной комплекс, текстильная и легкая промышленность, строительство, экология, дизайн, а также и в других областях человеческой деятельности [1, 2].

Переход к информационному обществу требует кадровой поддержки, которая не может быть реализована в рамках существующих направлений подготовки дипломированных специалистов, а поэтому объективно возникла необходимость формирования самостоятельного единого направления подготовки бакалавров (магистров) и дипломированных специалистов по ряду новых специальностей в области

информационных систем. Необходимость открытия ряда новых специальностей направления подготовки дипломированных специалистов 654700 – Информационные системы подтверждается тем, что возникшие специализации специальности 071900 – Информационные системы и технологии носили отраслевой характер, что не могло служить основой для их дальнейшего эффективного развития в условиях, когда происходит интеграция различных отраслей [1, 2].

Необходима подготовка разработчиков информационных технологий в конкретных областях применения. Поэтому с учетом мнения научно-педагогической общественности Российской высшей школы было предложено сформировать новые специальности по областям деятельности, в которых наметились явные достижения в области использования информационных технологий. Экспертная оценка показала, что такими областями являются образование, научные исследования, средства массовой информации, менеджмент, дизайн, защита информации и т.д.

Сегодня для руководства практически любой организации или предприятия необходим инженер по информационным системам, профессионально подготовленный для решения задач управления на основе эффективного использования информационных технологий, что можно осуществить в рамках существующего направления Информационные системы с расширенной номенклатурой специальностей. Дефицит таких специалистов на отечественном рынке труда не восполняется выпускниками направления 654600 – Информатика и вычислительная техника. Эти причины побудили открыть в рамках направления подготовки дипломированных специалистов 654700–ИС следующие специальности: 071900 – Информационные системы и технологии, 073700 – Информационные технологии в образовании, 074000 – Информационные технологии в дизайне, 074100 – Информационные технологии в медиаиндустрии. УМО и учебно-методическим советом проводится работа по открытию в рамках направления 654700 – ИС ряда специальностей: Информационный менеджмент, Информационные системы в научных исследованиях, Безопасность информационных систем.

Единый подход к подготовке инженеров по этим специальностям должен предусматривать наличие бакалавриата (магистратуры) по направлению Информационные системы. Поэтому было предложено наряду с подготовкой дипломированных специалистов по указанным специальностям организовать в России подготовку бакалавров по направлению 554400 – Информационные системы, содержание ГОСа которого стало базой для последующего обучения магистров данного направления и дипломированных специалистов по вновь открываемым специальностям.

В соответствии с разработанным ГОСом *информационные системы* определяются как область науки и техники, которая включает совокупность средств, способов и методов человеческой деятельности, направленных на создание и применение систем сбора, представления, хранения, передачи и обработки информации. Базовую подготовку по направлению обеспечивает блок общепрофессиональных дисциплин общей трудоемкостью 2040 ч (в том числе, федеральный компонент – 1632 ч). В настоящее время содержание ГОСов по направлениям 554400 и 654700 отличается единым подходом и преследует цель создания эффективной многоуровневой системы образования с подготовкой бакалавров, магистров и дипломированных специалистов с квалификацией «инженер». Организация предложенной подготовки по направлению Информационные системы может стать конструктивной основой модернизации образования на базе современных информационных технологий. Специалисты данного профиля займут нишу разработчиков перспективных информационных технологий. Часть из них, работая в сфере образования, несомненно, будет способствовать повышению качества образования.

*Дисциплина «Моделирование систем»* в ГОС направления 654700 – ИС впервые стала общепрофессиональной дисциплиной. До этого в рамках других направлений такая дисциплина была только специальной. Например, в направлении 654600 – Информатика и вычислительная техника для специальности 220100 – Вычислительные машины, комплексы, системы и сети – это специальная дисциплина Моделирование, для специальности 220200 – Автоматизированные системы обработки информации и управления – это тоже специальная дисциплина Моделирование систем и т.д.

Введение общепрофессиональной дисциплины Моделирование систем потребовало *нового методологического взгляда* на дисциплину в целом и, с одной стороны, повышения уровня абстрагирования в силу существенного расширения класса моделируемых (имитируемых) процессов, а, с другой стороны, конкретизации *имитационного подхода как инструмента* проведения машинных экспериментов с конкретными прикладными информационными процессами (обработка информации, управление, мультимедиа, образовательный процесс и т.д.). Актуальность проблемы усиливается многократно с учетом невозможности в каждом конкретном вузе иметь реальные объекты.

Таким образом, возникает проблема создания прикладной (применительно к информационным системам и процессам) теории имитационного моделирования (ТИМ).

Прежде чем переходить к изложению элементов ТИМ процессов в системе *S*, дадим ряд определений. Напомним, что под моделированием будем понимать исследование объекта посредством изучения его модели, т. е. другого объекта, более удобного для этой цели. Под сложностью моделируемого объекта будем понимать фактически сложность сведений о нем (его описания), зависящую от целей моделирования и уровня, на котором выполняется описание. Таким образом, сложность возрастает не только при введении в рассмотрение новых качеств, но и при переходе к более детальному описанию процесса функционирования объекта моделирования, т. е. информационной системы *IS*.

Задачу прикладной ТИМ сформулируем, исходя из тех требований, которые будет предъявлять к ней пользователь (исследователь, разработчик *IS*), проводящий эксперименты с процессами функционирования и ее элементов для решения конкретной прикладной задачи. В таком контексте основной задачей при решении проблем управления является выбор моделей на уровне оперативного управления, сохраняющих при этом существенные для конкретной *IS* с учетом ограничений реализации в РМВ (особенно при оперативном управлении). В дальнейшем модель, практически реализуемую с учетом ограниченности ресурсов, будем называть трактабельной. Таким образом, помимо теоретических вопросов построения модели вообще будем рассматривать вопросы трактабельности ИМ, связанные с формальным представлением ее описания, упрощением, проверкой адекватности упрощенной модели и т.д.

Тот факт, что моделируемая *IS* существует лишь как замысел разработчика, вносит в проблему разработки такой теории значительные трудности. В частности, не удастся непосредственно проверить адекватность модели процесса функционирования системы *IS* с помощью реального объекта. Частично эта трудность устраняется путем проведения натуральных экспериментов с элементами *IS*. Ряд существенных трудностей возникает из-за неполноты исходной информации об объекте моделирования.

Большой объем знаний о системах и их элементах, накопленный к настоящему времени, подлежащий объединению в рамках ТИМ и несоизмеримый с познавательными возможностями одного исследователя, выдвигает необходимость организации и детализации таких знаний (теории) в систему, затрагивающую лишь существенно ограниченное число объектов при сохранении общности подхода. При этом развитие от-

дельных методов статистического моделирования, языков моделирования, теории планирования машинных экспериментов и т. д. оказывается недостаточным.

Создание прикладной теории, обеспечивающей конкретные потребности разработчика модели и охватывающей весь процесс моделирования в широком смысле этого слова, требует системного подхода и прежде всего установления основ теории: понятий об объекте, предмете, содержании, структуре и логике теории. Объектом разрабатываемой прикладной ТИМ является непосредственно процесс моделирования поведения информационной системы  $IS$ , т. е. процесс перехода от моделируемого объекта (системы  $IS$ ) сначала к статической модели  $S^s$ , используемой при стратегической идентификации, а затем и к динамической модели  $D^{ss}$ , непосредственно используемой при оперативном управлении с использованием методов и алгоритмов РИИС. При этом ориентируются на критериальную систему  $K$ . Такой переход осуществляется через описание (концептуальную модель), фиксирующее сведения об объекте  $IS$  в понятиях языка  $L$  (терминах типовых математических схем). При выборе математической схемы моделирования  $M$  вводится также понятие среды  $S$ , позволяющее использовать информацию прикладного характера  $J$  о целях моделирования, законах функционирования системы  $IS$ , имеющемся математическом аппарате и т.д. для исследования методов и алгоритмов управления системой  $A$ .

Таким образом, так как объектом данной прикладной ТИМ является процесс моделирования, то возникает необходимость в построении и изучении «модели моделей», или репромодели  $RM$  (от англ. reproduce – воспроизводить, порождать). Репромодель представляет собой упрощенный и наглядный прототип создаваемых моделей, используемых в РИИС, и дает возможность эффективного приближения к таким моделям с максимальным использованием априорной и оперативной информации о поведении системы  $IS$ , поступающей в процессе ее функционирования.

После того, как сформулирована концептуальная модель  $C$  и введены понятия компонент среды  $S$ , основное содержание элементов прикладной ТИМ для управления системой составят компоненты  $M$ ,  $A$ ,  $S^s$  и  $D^s$  (критерий  $K$  задан), причем переход от  $M$  к  $S^s$  составит статику ИМ, а переход от  $M$  к множеству  $D^s$  с привлечением информации из компонент  $S^s$  и  $A$  составит динамику ИМ. Движение в пространстве статических моделей процесса функционирования системы  $S^s$  назовем эволюцией (эволюционным ИМ), а движение в пространстве динамических (активных) моделей  $D$ , используемых в контуре управления, – самоорганизацией (ИМ с самоорганизацией). Важно отметить, что компоненты объекта теории  $L$ ,  $C$ ,  $E$ ,  $M$  имеют искусственное происхождение, базирующееся на эвристических представлениях, и могут при необходимости изменяться (развиваться) в интересах самой прикладной ТИМ. Это существенно отличает прикладную ТИМ от естественно-научных теорий.

Высказывания, составляющие любую теорию, формируются относительно предмета теории, а именно, системы понятий, отображающих с той или иной степенью обобщения объект теории (репромодель). Таким образом, задание предмета прикладной ТИМ процессов в системе  $IS$  равносильно заданию репромодели. Очевидно, что вообще различным репромоделям должны соответствовать различные аспекты теории. Применительно к РИИС сужаем круг этих аспектов за счет конкретизации целей моделирования путем введения в репромодель компонент  $A$ , ограниченных методами и алгоритмами оперативного управления. Построение репромодели позволяет использовать как информацию общего характера о процессах моделирования и управления  $J$ , так и конкретную информацию о методах и алгоритмах управления системой  $IS$  с учетом выбранных критериев оценки эффективности  $K$ .

Содержание прикладной ТИМ охватывает две части: *базис* ТИМ, включающей систему эвристических принципов, полученных при обобщении имеющегося опыта

ИМ сложных объектов вообще; *тело* ТИМ, содержащее эвристические правила имитационной реализации конкретных моделей процесса функционирования  $S$  ( $S^s$  и  $D^s$ ).

Предложения ТИМ, относящиеся к компонентам  $M$ ,  $A$ ,  $S^s$  и  $D^s$  или возможным переходам между ними, содержат множество условий, позволяющих точно их сформулировать лишь для простейших случаев. В пределе предложения сводятся к описанию фактов, относящихся к отдельным реализациям процесса ИМ, которые назовем прецедентами  $Pr$ . Отметим, что  $Pr$  составляют эмпирическую основу прикладной ТИМ, а множество  $\{Pr\}$ , классифицированное по условиям, может рассматриваться как обобщенное предложение теории, содержащее весь зафиксированный в  $\{Pr\}$  опыт моделирования сложных систем вообще.

Более определенные предложения ТИМ могут быть получены на основе системного подхода с детализацией репромодели по этапам построения и реализации  $S^s$  и  $D^s$ , когда ставятся различные цели при моделировании процессов в системе  $S$ . В общем случае репромодель, т. е. ее базис, задается множеством принципов  $\{Pr\}$ , определяющих желаемые свойства моделей ( $S^s$  и  $D^s$ ) и другие ограничения. Использование  $\{Pr\}$  регламентируется предложениями ТИМ, относящимися к ограниченному множеству обобщенных ситуаций. Поиск этих ситуаций в множестве известных  $\{Pr\}$  позволяет накопить необходимые факты в количестве, достаточном для формулировки обобщенных предложений.

Говоря о прикладной ТИМ с системных позиций, невозможно обойти ее реализационный аспект. В теории это отражено введением понятия трактабельности ИМ, т.е. ее реализуемости в рамках принятых ресурсных ограничений (например, на оперативную память и быстродействие с учетом конкретной инструментальной платформы). Вопросы трактабельности ИМ ставятся во главу угла при проведении стратегического и тактического планирования машинных экспериментов. Поэтому не будем останавливаться на этих вопросах детально, отметим только, что трактабельность модели достигается выполнением набора практических правил реализации модели  $\{Pr\}$ , которые и составляют тело прикладной ТИМ.

Таким образом, в конечном итоге множество прецедентов  $\{Pr\}$  выражается через меньшее число эвристических принципов  $\{Pr\}$  и практических правил реализации  $\{Pr\}$  (базис и тело ТИМ). Это позволяет считать репромодель и систему  $\{\{Pr\}, \{Pr\}\}$  основой «системного» аспекта прикладной ТИМ. При практическом применении неизбежно объединение «прецедентного» и «системного» аспектов ТИМ на основе логического понятия дополнительности. В данном случае это способствует сужению общей проблемы моделирования за счет введения в прикладную ТИМ компоненты  $A$ . Для обеспечения возможности развития репромодель должна строиться как открытая система, т.е. с соблюдением принципов архитектуры открытых систем, что нашло свое отражение при имитационной реализации моделей.

Относительно логики прикладной теории моделирования отметим, что она опирается на индуктивный подход, т. е. обобщение и классификацию множества прецедентов  $\{Pr\}$  оставляя место для дедуктивного подхода в рамках конкретных математических схем  $M$ . Вопросы практического воплощения прикладной теории моделирования непосредственно связаны с реализацией соответствующих инструментальных средств моделирования и возможностью ее использования для решения задач имитационного моделирования конкретных систем.

Основной целью ИМ является прогнозирование в широком смысле этого слова. ИМ позволяет сделать вывод о принципиальной работоспособности объекта (системы  $S$ ), оценить его потенциально возможные характеристики, установить зависимость характеристик от различных параметров и переменных, определить оптимальные значения параметров и т. п. Имитационные модели  $M_u$ , используемые в качестве имитаторов

и тренажеров, дают возможность предсказать поведение системы  $S$  в условиях взаимодействия с внешней средой  $E$  [3, 4, 5].

Использование метода ИМ для получения прогноза при принятии решений в системе управления в РМВ выдвигает на первое место задачу выполнения ограничения на ресурс времени моделирования процесса функционирования системы  $S$ . Для управления объектом может использоваться либо информация о состояниях (ситуациях) системы  $S$  и внешней среды  $E$ , либо информация о выходных характеристиках (поведении) системы  $S$  во взаимодействии с внешней средой  $E$ . Это обстоятельство определяет и цели ИМ. В одном случае требуется оценить изменения состояний за время прогнозирования  $T_n$  (ситуационное ИМ). В другом случае требуется оценить выходные характеристики на интервале времени  $(O, T)$  (бихевиоральное ИМ). Цель ситуационного ИМ – получение прогноза вектора состояния  $z(t)$ , а цель бихевиорального ИМ – оценка вектора выходных характеристик  $y(t)$ . Соответственно целям ситуационного и бихевиорального ИМ должен отличаться и подход к разработке и реализации моделирующих алгоритмов, хотя принципы их построения («принцип  $\Delta t$ » и «принцип  $\delta z$ ») сохраняются [4, 5].

Другой особенностью ИМ для принятия решений по управлению объектом в РМВ является существенная ограниченность вычислительных ресурсов, так как такие системы управления, а, следовательно, и ИМ  $M_n$  реализуются, как правило, на базе аппаратных средств, когда имеется ограничение по быстродействию и объему памяти. Это требует тщательного подхода к минимизации затрат ресурсов по ИМ в РМВ.

Кроме того, следует учитывать, что достоверность и точность решения задачи ИМ (прогнозирования ситуаций или поведения) системы существенно зависят от количества реализаций  $N$ , которые затрачены на получение статистического прогноза. Таким образом, возникает проблема поиска компромисса между необходимостью увеличения затрат времени на моделирование, т. е. числа реализаций  $N$  на интервале  $(O, T)$  для повышения точности и достоверности результатов ИМ (прогнозирования), и необходимостью уменьшения затрат машинного времени из условий управления в РМВ. При использовании имитационной модели  $M_m$  в контуре управления системой  $S$  в реальном масштабе времени возникает также проблема оперативного обновления информации как в базе данных об объекте, так и в базе данных об эксперименте, т. е. в данном случае о конкретном прогнозе.

При ситуационном ИМ важно не потерять информацию о смене состояний системы  $IS$ , так как от этого зависит эффективность управления. Поэтому построение детерминированных моделирующих алгоритмов, когда используется «принцип  $\Delta t$ », приводит либо к увеличению времени моделирования при уменьшении  $\Delta t$ , либо к снижению достоверности прогноза состояний при увеличении  $\Delta t$ . Это говорит в пользу использования стохастических алгоритмов, а именно тех вариантов, которые наиболее просто реализуются, т. е. асинхронных спорадических алгоритмов [4, 5].

Такое прикладное использование машинной имитации позволит расширить кругозор подготавливаемых специалистов, научить их использованию ИМ как рабочего инструмента исследования и проектирования информационных систем.

Можно надеяться, что подготовка разработчиков информационных систем и технологий будет способствовать конкурентоспособности российского образования и ускорит продвижение России к информационному обществу.

### Литература

1. **Федоров И.Б., Коршунов С.В., Советов Б.Я.** Новые специальности в направлении подготовки «Информационные системы»//Информационные технологии. –2002. – N 8.
2. **Федоров И.Б., Коршунов С.В., Советов Б.Я.** Перспективы подготовки кадров по направлению «Информационные системы»//Информационно-управляющие системы. 2004. –N 5.
3. **Яковлев С.А.** Методические основы использования имитационного моделирования в учебном процессе при подготовке по направлению 654700 – Информационные системы//Информационно-управляющие системы. 2004. –N 5.
4. **Советов Б.Я., Яковлев С.А.** Моделирование систем (учебник, 4-е изд.). – М.: Высшая школа, 2005.
5. **Советов Б.Я., Яковлев С.А.** Моделирование систем. Практикум (учебное пособие, 3-е изд.). – М.: Высшая школа, 2005.