

УДК 681.387.8

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ПО НАПРАВЛЕНИЮ 654700 – ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

С. А. Яковлев,

доктор техн. наук, профессор

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет

Рассматривается машинное моделирование как эффективный инструмент исследования характеристик процесса функционирования информационно-управляющих систем реального времени как на этапе их проектирования, так и эксплуатации. Особое внимание уделяется задаче построения прикладной теории эволюционного и десиженного моделирования таких систем.

Machine modelling is considered as the effective tool of research of characteristics of process of functioning of information - managing systems of real time as at a stage of their designing, and operation. The special attention is given a problem of construction of the applied theory evolutionary and designation modelling of such systems.

Нельзя говорить конкретно о моделировании систем вообще. Поэтому сразу ограничим круг рассматриваемых объектов моделирования теми объектами, которые лежат в рамках направлений 654600 – Информатика и вычислительная техника и 654700 – Информационные системы. Обобщено их можно назвать информационно-управляющими системами (ИУС) реального времени. Таким образом, речь в статье с точки зрения методологии моделирования пойдет об ИУС, а не о социологических, биологических и других системах (хотя подчеркиваю, возможности имитационного моделирования, несомненно, позволяют расширить круг объектов моделирования).

Машинное моделирование является эффективным инструментом исследования характеристик процесса функционирования ИУС как на этапе их проектирования, так и эксплуатации. Но этим возможностями данного метода не ограничиваются: в современных системах управления машинное моделирование используется непосредственно в контуре управления, на его основе решаются задачи прогнозирования для принятия решений по управлению объектом, т. е. реализуются адаптивные системы управления. Построение таких адаптивных систем стало возможным, с одной сторо-

ны, после решения ряда вопросов информационного подхода к проблеме управления, а с другой стороны, после проработки задач моделирования в реальном масштабе времени на современных ЭВМ с учетом ограниченности ресурсов в системе управления объектом.

Одной из самых актуальных задач в информатике является создание методологии исследования объектов внешнего мира средствами вычислительной техники, т. е. в конечном итоге, создание информационных моделей, на основе которых можно объяснить теоретическую значимость и практическую ценность любой системы S (в том числе и программной системы) в условиях воздействий внешней среды E .

Создание системы управления различными объектами требует наличия большого объема информации как о самом объекте, так и о его входных и выходных переменных. Эта информация необходима для построения адекватной модели ИУС, на основе которой может быть эффективно осуществлен процесс управления. При этом следует различать два вида информации, необходимой для построения и совершенствования модели и ИУС: априорную и текущую. Априорная информация об объекте управления (ОУ), его

входных и выходных переменных, внутренних состояниях необходима для построения модели, по которой будет создаваться система управления этим объектом: выбирать структуру, алгоритмы и параметры ИУС, критерий функционирования. Обычно для сложных вновь проектируемых ОУ отсутствует необходимая для создания ИУС модель, и задача управления должна решаться в условиях недостаточной или вовсе отсутствующей априорной информации об объекте. Речь идет об отсутствии информационной («управленческой») модели ОУ, устанавливающей взаимосвязь между выходными и входными переменными.

Особенности ИУС

Проблема создания ИУС неизбежно возникает при разработке ОУ и при их модернизации. На первый взгляд может показаться, что в тех случаях, когда новая ИУС разрабатывается для уже давно функционирующей системы S , длительное время находящейся в эксплуатации, положение с априорной информацией лучше и построение модели проще. Опыт показывает, что это не так и получение информационной модели в этом случае также весьма трудоемко. Таким образом, как в случае вновь проектируемой системы S , так и при наличии уже функционирующей возникает проблема получения дополнительной информации для создания ИУС. Единственным эффективным путем получения такой информации в настоящее время является машинное моделирование.

В том случае, когда ИУС создана и функционирует, существует необходимость в получении текущей информации, вызванная в основном двумя причинами. Во-первых, это потребность в совершенствовании ИУС, а во-вторых, необходимость уточнения поведения системы и возникающих в ней ситуаций с целью компенсации изменений характеристик системы S как ОУ. Процессы, с которыми связана текущая информация первого вида, являются достаточно медленными и для управления ими необходима подсистема эволюционного управления. Процессы второго типа являются более быстрыми и для управления ими необходима подсистема оперативного управления в реальном масштабе времени (РМВ).

Следует подчеркнуть, что по темпу принятия решений и месту решения задач подсистемы эволюционного и оперативного управления существенно отличаются друг от друга. Так, процессы оперативного управления могут протекать на несколько порядков быстрее, чем процессы эволюционного управления.

Важнейшей задачей современной теории и практики управления является построение модели ОУ, т. е. формализация закономерностей функционирования объекта. На основе этой модели определяются структура, алгоритмы и параметры ИУС, выбираются аппаратно-программные сред-

ства реализации системы. Одним из эффективных методов построения модели сложного объекта является идентификация.

Появление в настоящее время большого количества работ по формализации процессов и построению их моделей во многих областях исследований (технике, экономике, социологии и т. д.) преследует две основные цели. Первая из них связана со значительным расширением возможностей изучения на базе ЭВМ сложных процессов функционирования различных объектов при помощи метода моделирования, для чего необходимо математическое описание исследуемого процесса. Не меньшее значение в технических системах имеют модели, используемые для достижения второй цели, т. е. применяемые непосредственно в контуре управления объектами.

Эволюционные и десиженные модели

Невозможность ограничиться только одной универсальной моделью связана с тем, что, с одной стороны, перед этими моделями ставятся различные цели, а с другой стороны, они описывают процессы, протекающие в различных масштабах времени, причем степень полноты модели и ее соответствия реальному объекту зависят от целей, для которых эта модель используется. Модели первого типа имеют в основном гносеологический характер, от них требуется тесная связь с методами той конкретной области знаний, для которой они строятся. Модели такого типа являются достаточно «инерционными» в своем развитии, так как отражают эволюцию в конкретной области знаний. Такие модели будем называть эволюционными. Модели второго типа имеют информационный характер и должны соответствовать конкретным целям по принятию решений в управлении объектом, который они описывают. Такие модели будем называть десиженными. Деление на гносеологические (эволюционные) и информационные (десиженные) модели достаточно условно, но оно удобно для отражения целей моделирования.

В информационных моделях, используемых непосредственно для принятия решений в ИУС, требование оперативности является одним из основных. Оно вызвано тем, что при каждом воздействии на ОУ необходимо учесть в модели действительные изменения, происшедшие в объекте, и внешние возмущения, на основе которых рассчитывается управление. Это требование оперативности, т. е. необходимость работы такой модели в РМВ, часто приводит к отказу от сложных и точных моделей и к разработке специальных, так называемых робастных, алгоритмов построения моделей, использование которых в ИУС обычно ведет к поставленной цели.

Появление идентификации в начале 1960-х годов было связано с острой необходимостью разработки методов построения именно информаци-

онных моделей ОУ. Отсутствие таких моделей сдерживало процесс автоматизации этих объектов, использования ЭВМ в контуре управления. Объекты оказались неподготовленными к внедрению вычислительной техники из-за отсутствия их математического описания, их информационных моделей. Построение информационной модели методами идентификации должно быть направлено на ликвидацию этого разрыва и разработку методов оперативного получения модели ОУ. При этом методы идентификации должны предусматривать использование ЭВМ для решения задач построения информационной модели.

Элементы теории моделирования

Отсутствие формальных методов перехода от гносеологических моделей к информационным в современной теории управления не дает возможности получить по имеющейся информации адекватное описание, необходимое для создания ИУС. Но учет сведений, содержащихся в гносеологических моделях, может значительно увеличить объем априорной информации о рассматриваемом ОУ. Поставив цель построения гносеологической модели процесса функционирования системы S для получения необходимой априорной информации с целью создания эффективной ИУС и сузив класс объектов моделирования до конкретного, т. е. до поведения конкретной системы S , решим задачу построения *прикладной теории эволюционного и десиженсного моделирования*, позволяющей эффективно (в реализационном аспекте) перейти от гносеологических («исследовательских») моделей к информационным («управленческим») моделям. Наиболее просто такой переход можно совершить, если оба эти класса моделей будут базироваться на единой концептуальной модели, использовать единую систему информации (базу знаний) и иметь единую критериальную систему. Рассмотрим сначала особенности гносеологических и информационных моделей.

Вопрос применимости некоторой математической модели к изучению рассматриваемого объекта не является чисто математическим вопросом и не может быть решен математическими методами. Только критерий практики позволяет сравнивать различные гипотетические модели и выбрать из них такую, которая является наиболее простой и в то же время правильно передает свойства изучаемого объекта, т. е. системы S .

Ориентируясь на общие вопросы методологии моделирования сложных технических систем, сформулируем требования к прикладной теории моделирования, а точнее – к элементам этой теории в ее приложении для решения конкретно поставленной задачи. Как уже отмечалось выше, эта задача ставится следующим образом. Необходимо сначала построить и реализовать на ЭВМ эволюционную модель процесса функционирования

системы S , полученную в ходе стратегической идентификации ОУ, а затем на ее базе построить десиженсную модель, используемую для решения практических задач оперативного управления в адаптивной ИУС сетью. Или, используя терминологию теории идентификации, необходимо построить конкретную дискретную адаптивную систему управления с идентификатором и предсказателем (комбинированную) в цепи обратной связи (ДАСК), т. е. реализовать сначала стратегический идентификатор, а затем на его базе тактический оперативный идентификатор и предсказатель, рассматривая в качестве ОУ не реальную систему S (ввиду ее отсутствия), а машинную модель процесса ее функционирования.

Таким образом, поставленную задачу можно трактовать и как задачу автоматизации исследования объекта (машинной модели M_m) в целях синтеза тактической и оперативной модели, используемой непосредственно в контуре управления системой S , а затем для проверки эффективности управления в целом.

Прежде чем переходить к изложению элементов теории моделирования 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 фактически будем понимать 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. системы S .

Задачу прикладной теории моделирования сформулируем, исходя из тех требований, которые будет предъявлять к ней пользователь (исследователь, разработчик системы S), проводящий эксперименты с процессами функционирования системы S 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 ИУС черты S 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 модели, связанные с формальным представлением ее описания, его упрощением, проверкой адекватности упрощенной модели и т. д.

Тот факт, что моделируемая система S существует лишь как замысел разработчика, вносит в про-

блему разработки такой теории значительные трудности. В частности, не удастся непосредственно проверить адекватность модели процесса функционирования системы S с помощью реального объекта. Частично эта трудность устраняется путем проведения натуральных экспериментов с элементами S . Ряд существенных трудностей возникает из-за неполноты исходной информации об объекте моделирования.

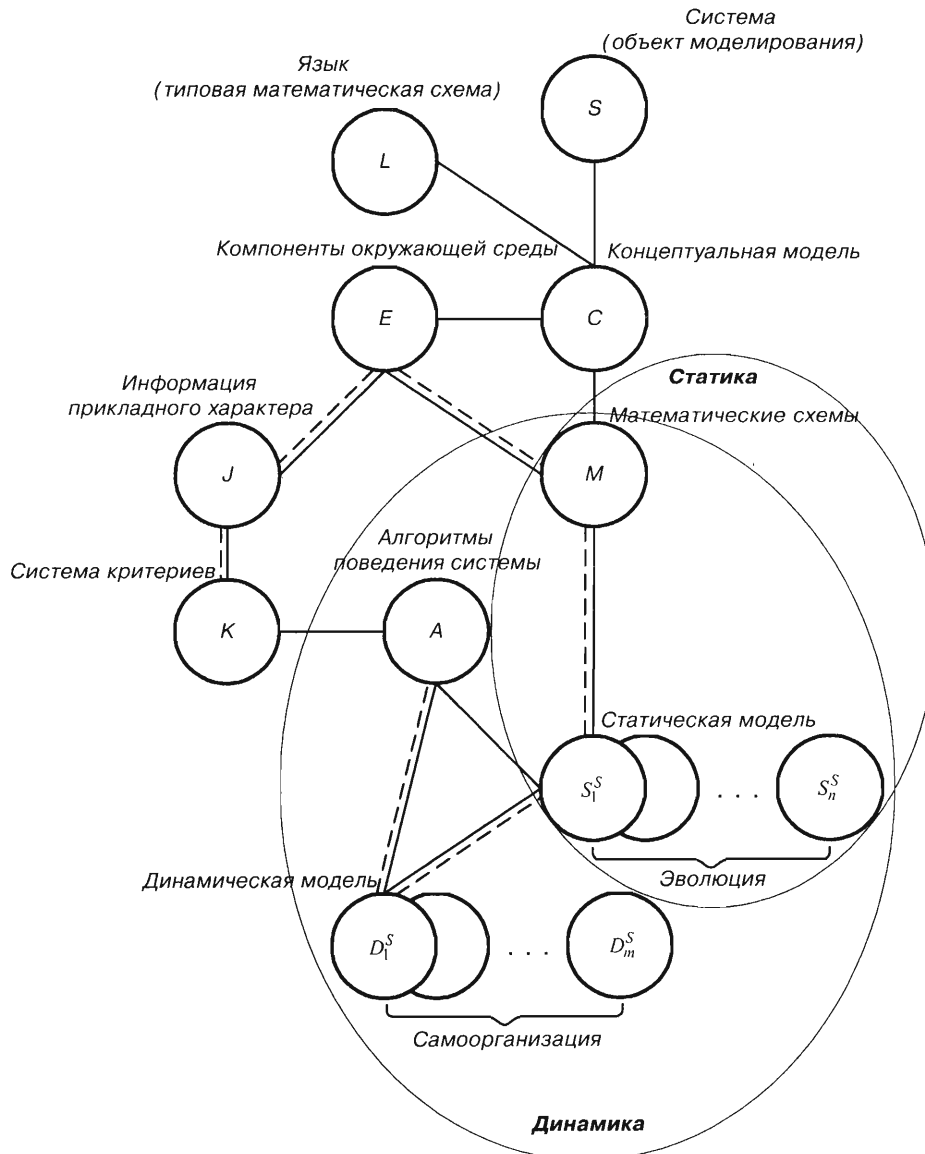
Большой объем знаний о системах и их элементах, накопленный к настоящему времени, подлежащий объединению в рамках теории моделирования и несоизмеримый с познавательными возможностями одного исследователя, выдвигает необходимость организации и детализации таких знаний (теории) в систему, затрагивающую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

планирования машинных экспериментов 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.

Объект прикладной теории моделирования

Объектом разрабатываемой прикладной теории является непосредственно процесс моделирования поведения системы S , т. е. процесс перехода от моделируемого объекта (системы S) сначала к статической модели S^S , используемой при стратегической идентификации, а затем и к динамической модели D^S , непосредственно исполь-



■ Схема построения репромодел (статика и динамика)

зуемой при оперативном управлении с использованием методов и алгоритмов ИУС. При этом ориентируются на критериальную систему K . Такой переход осуществляется через описание (концептуальную модель), фиксирующее сведения об объекте S в понятиях языка L (терминах типовых математических схем). При выборе математической схемы моделирования M вводится также понятие среды E , позволяющее использовать информацию прикладного характера J о целях моделирования, законах функционирования системы S , имеющей математическим аппаратом и другую информацию для исследования методов и алгоритмов управления системой A .

Таким образом, поскольку объектом данной прикладной теории моделирования является процесс моделирования, то возникает необходимость в построении и изучении «модели моделей», или *репромодели* RM (от англ. reproduce – воспроизводить, делать копию, порождать). Репромодель представляет собой упрощенный и наглядный прототип создаваемых моделей, используемых в ИУС, и дает возможность эффективного приближения к таким моделям с максимальным использованием априорной и оперативной информации о поведении системы S , поступающей в процессе ее функционирования. Схема построения репромодели приведена на рисунке. После того как сформулирована концептуальная модель S и введены понятия компонент сред S , основное содержание элементов прикладной теории моделирования для управления системой составляют компоненты M , A , S^S и D^S (критерий K считается заданным), причем переход от M к S^S составляет *статику* моделирования, а переход от M к множеству D^S с привлечением информации из компонент S^S и A – *динамику* моделирования. Такое разделение на статику и динамику условно показано на рисунке пунктирной и сплошной линиями, соответственно.

Движение в пространстве статических моделей процесса функционирования системы S^S назовем *эволюцией* (или эволюционным моделированием), а движение в пространстве динамических (активных) моделей D^S , используемых в контуре управления, – *самоорганизацией* (или моделированием 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 теории. Это существенно отличает прикладную теорию моделирования от естественнонаучных теорий.

Предмет прикладной теории моделирования

Высказывания, составляющие любую теорию, формируются относительно предмета теории, а имен-

но системы понятий, отображающих с той или иной степенью обобщения объект теории (репромодель RM). Таким образом, задание предмета прикладной теории моделирования процессов в системе S равносильно заданию репромодели. Очевидно, что различным репромоделям должны соответствовать различные аспекты теории. Применительно к ИУС сужаем круг этих аспектов за счет конкретизации целей моделирования путем введения в репромодель компонент A , ограниченных методами и алгоритмами оперативного управления. Построение репромодели по схеме, приведенной на рисунке, позволяет использовать как информацию общего характера о процессах моделирования и управления J , так и конкретную информацию о методах и алгоритмах управления системой S с учетом выбранных критериев оценки эффективности K .

Содержание, структура и логика прикладной теории

Содержание прикладной теории моделирования охватывает две части: 1) базис теории, включающий систему эвристических принципов, полученных при обобщении имеющегося опыта моделирования сложных объектов вообще; 2) тело теории, содержащее эвристические правила машинной реализации конкретных моделей процесса функционирования S (S^S и D^S).

Предложения теории, 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 моделирования, которые назовем *прецедентами* Pr . Отметим, что Pr составляют эмпирическую основу прикладной теории моделирования, 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 теории 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* $\{\pi r\}$, определяющих желаемые свойства моделей (S^S и D^S) и другие ограничения. Использование $\{\pi r\}$ регламентируется предложениями теории, относящимися к ограниченному множеству обобщенных ситуаций. Поиск этих ситуаций в множестве известных прецедентов $\{Pr\}$ позволяет накопить необходимые факты в количестве, достаточном для формулировки обобщенных предложений.

Говоря о прикладной теории моделирования с системных позиций, невозможно обойти ее реализационный аспект. В теории это отражено введением понятия *трактабельности* модели, т. е. ее реализуемости в рамках принятых ресурсных ограничений (например, на оперативную память и быстродействие ЭВМ). Особенно важна трактабельность десиженсных моделей, непосредственно используемых в ИУС, так как часто от нее зависит эффективность конкретного метода и алгоритма управления (а иногда и возможность его использования вообще). Вопросы трактабельности модели 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 теории моделирования.

Таким образом, в конечном итоге множество прецедентов выражается через меньшее число эвристических принципов $\{\pi r\}$ и практических правил реализации $\{pr\}$ (базис и тело теории). Это позволяет считать репромодель и систему $\{\{\pi r\}, \{pr\}\}$ основой «системного» аспекта прикладной теории моделирования. При практическом применении неизбежно объединение «прецедентного» и «системного» аспектов теории моделирования на основе логического понятия дополнительности. В данном случае это способствует сужению общей проблемы моделирования за счет введения в прикладную теорию компоненты А. Для обеспечения возможности развития репромодель

должна строиться как открытая система, т. е. с соблюдением принципов архитектуры открытых систем, что нашло свое отражение при машинной реализации моделей (например, в системе моделирования GPSS, хотя авторы при ее разработке вряд ли подозревали об этом и получили эффект открытости интуитивно, на опыте аналогичных разработок).

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 моделирования конкретных ИУС, работающих в РМВ.

Литература

1. **Арсеньев Б. П., Яковлев С. А.** Интеграция распределенных баз данных. – СПб.: Лань, 2001. – 464 с.
2. **Колбанев М. О., Яковлев С. А.** Модели и методы оценки характеристик обработки информации в интеллектуальных сетях связи. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 2002. – 230 с.
3. **Советов Б. Я., Яковлев С. А.** Моделирование систем / 3-е изд. – М.: Высшая школа, 2001. – 343 с.
4. **Советов Б. Я., Яковлев С. А.** Моделирование систем. Практикум / 2-е изд. – М.: Высшая школа, 2003. – 295 с.
5. **Швецов А. Н., Яковлев С. А.** Распределенные интеллектуальные информационные системы. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ, 2003. – 318 с.

Крылов Э. И., Власова В. М., Оводенко А. А.

Анализ эффективности инвестиций и инноваций: Учеб. пособие / СПбГУАП. СПб., 2003. 506 с.: ил. ISBN 5-8088-0093-5

В учебном пособии рассматриваются задачи анализа эффективности инвестиций и инноваций. Исследованы взаимосвязи между инвестиционной, инновационной, финансовой и производственной деятельностью предприятия в рамках учебных курсов «Комплексный экономический анализ хозяйственной деятельности», «Инвестиции».

Пособие предназначено для студентов, обучающихся по экономическим специальностям 060400 «Финансы и кредит», 060500 «Бухгалтерский учет и аудит», 060600 «Мировая экономика», и может быть использовано студентами междисциплинарных специальностей 3514 «Прикладная информатика (в экономике)», 3512 «Налоги и налогообложение».

