

# ГЛАВА 1. ОБЗОР МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ

## 1.1. Имитационное моделирование

Для выделения класса имитационных моделей и систем необходимо предварительно определить понятие модели.

Под моделью понимается *“устройство (а в широком смысле — любой образ), воспроизводящее, имитирующее строение и действие какого-либо другого устройства”* [СЭС, 1980].

Модель всегда является упрощением реального объекта, поэтому она никогда не сможет заменить его полностью. Тем не менее, этот факт не уменьшает значения моделей и моделирования. *“Модель строится, как можно более ярко выразить структуру явления, его главные аспекты. Модель является концентрированным выражением сущности предмета или процесса, выделяя только его основные черты. Знания — это модели окружающего мира, фиксируемые человеком в его мозге или на технических носителях. Модели обладают повышенной наглядностью, выделяя главные аспекты сущности, и активно используются в процессах познания и обучения”* [Мухин, 1999].

В английском языке для обозначения процесса моделирования используется два различных слова: *modeling* и *simulate*. При этом первому слову соответствует процесс проектирования, создания модели устройства или предметной области. Под симуляцией (имитацией) понимают исследование (испытание, прогонку) модели. Процесс имитации невозможен без предварительного создания модели. В свою очередь последующая имитация накладывает ограничения на язык и способы описания модели.

Исходя из выше сказанного, имитационное моделирование (ИМ) можно рассматривать как один из способов моделирования, который предполагает дальнейшее исследование. Отличительной чертой неимитационных моделей является их статичность, поэтому к ним можно отнести языки описания декларативных знаний или данных. Примерами могут являться фактографические системы (базы данных) и модели БД (реляционная, объектная, многомерная и т.д.), CASE системы проектирования Erwin и Rational Rose и соответствующие им модели и языки IDEFX1, UML.

В работе [Вилкас, 1981] при разбивке по *модельным схемам* выделяется классификация по *средствам описания и оценки*, которая разбивает модели на *дескриптивные, нормативные и смешанные*. Дескриптивные модели не включают явно сформулированных критериев оценки

состояний или траекторий развития моделируемого объекта, поэтому с их помощью нельзя проводить оптимизацию, а можно лишь описывать и анализировать поведение объекта. В рамках дескриптивных моделей *имитационные модели* выделяются в особую группу наряду со *статистическими* и *балансовыми*.

Автор книги [Таха, 1985] приравнивает имитационное моделирование к статистическому эксперименту. Таким образом, *имитационную модель* можно трактовать как *модель, с помощью которой можно описывать и проводить статистический эксперимент, который характеризуется отсутствием оптимизационных критериев для цели*.

Часто имитационный подход противопоставляется *аналитическому*, основой которого является составление общего функционала работы системы в виде одного или нескольких уравнений [Советов, 2001]. Отличием аналитического подхода является то, что динамика (взаимодействие) системы учитывается при составлении функционала, а не реализуется в виде последовательностей операций (состояний или процессов). При этом статистический эксперимент представляет собой подстановку исходных данных в формулы и вычисление результатов.

Для формулировки отличия ИМ от аналитического подхода воспользуемся определением [Мухин, 1999]: *“имитационное моделирование — способ моделирования с обязательным наличием счетчика, который позволяет моделировать процесс по шагам”*.

До сих пор имитационное моделирование рассматривалось в общем, т.е. без привязки к объектам или системам моделирования. Имитационное моделирование можно применять к человеческим рассуждениям, для анимации, создания виртуальных миров и т.д., однако при этом используется другая терминология: экспертное, графическое, ситуационное, математическое моделирование, игры-симуляторы и др.

Имитационное моделирование обычно связывают с системами массового обслуживания (СМО), которые характеризуются большим количеством однотипных заявок (исходных данных). Это объясняется тем, что, если количество исходных данных незначительно или каждая заявка уникальна, то создание имитационной модели не оправдано или неэффективно.

Суммируя все выше сказанное, определим *имитационную модель* как *способ описания процесса функционирования СМО, при котором необходимо пошаговое моделирование, так как отсутствуют явно заданные критерии оценки состояния и траектории развития моделируемой системы*.

Под *системой имитационного моделирования (СИМ)* будем понимать комплекс программных средств для создания имитационной модели и ее симуляции (имитации).

**Классификация СИМ.** В качестве первого критерия классификации выберем способ представления модельного времени в СИМ (рис. 1.1.). Исходя из определения имитационной модели, время в системе может изменяться скачками (после каждого шага). Некоторые объекты могут быть заданы с помощью формул, которые позволяют вычислять их состояние на любой момент времени при наличии исходных данных. Системы, в которых используются только такие объекты, будем называть *непрерывными СИМ*. Шаг такой системы соответствует каждому моменту передачи данных от одного объекта к другому. Примерами таких систем могут служить программы, использующие для описания системы дифференциальных уравнений и передаточные функции.

Системы, в которых состояние объектов не может быть вычислено на любой момент времени внутри одного шага, называются *дискретными СИМ*. Системы, поддерживающие оба способа задания времени, называются *смешанными (комбинированными) СИМ*.

Среди дискретных систем согласно [Прицкер, 1987; Советов, 2001] выделяют *событийно-, процессно-, транзактно- и действие-ориентированные СИМ*. В ранних классификациях [Максимей, 1988; Бусленко, 1968] выделяли также *агрегатные СИМ*, а действие-ориентированные СИМ называли *системами сканирования активностей*, а событийно-ориентированные — *системами с расписанием событий*.

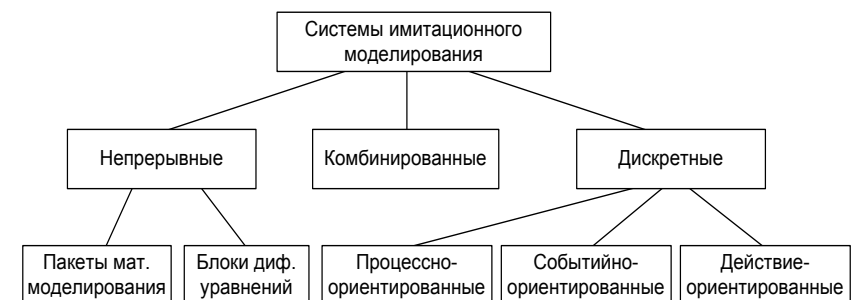


Рис. 1.1. Классификация систем имитационного моделирования.

В работе [Марков, 1999] отмечается, что “в настоящее время в мире известно более 500 различных программных систем для построения имитационных моделей”. При этом автор ссылается на данные каталога 1987 года и книгу С. Кейслера 1986 года. Надо отметить, что эта цифра завышена и на сегодняшний день используется значительно меньшее количество систем. В приведенных источниках описываются все возможные среды и языки программирования, с помощью которых можно создать СИМ, в том числе и языки программирования общего назначе-

ния. Системы 15-летней давности были направлены на решение узких вопросов и задач и на сегодняшний день не актуальны. Современные системы содержат многообразные математические функции, различные типы объектов, встроенные интерпретаторы и компиляторы, языки программирования и возможность подключения библиотек других языков.

**Языки моделирования систем.** Особую роль в СИМ играют языки моделирования, которые являются одной из ключевых характеристик для сравнения функциональных возможностей программ. Почти все программы СИМ имеют свой уникальный язык. Сравнение наиболее известных языков (DYNAMO, GPSS, SLAM, SIMULA) приведено в [Бахвалов, 2002]. Язык DYNAMO является непрерывным, GPSS и SIMULA — процессно-ориентированными, а SLAM — смешанного типа. В качестве событийно-ориентированного языка следует упомянуть язык SIMSCRIPT. Наиболее популярным событийным языком являются Сети Петри [Котов, 1984; Питерсон, 1984] и их модификации (Е-сети, Р-сети). Данный подход имеет серьезное и хорошо проработанное математическое обоснование.

Все перечисленные языки появились уже давно и в настоящее время нашли широкое применение. Их реализация в современных СИМ имеет существенные отличия только в области графического интерфейса. Надо отметить, что графические обозначения элементов языка оказывают сильное влияние на наглядность модели, скорость ее проектирования и анализа.

Главным достоинством современных СИМ является возможность разработки дополнительных модулей на внутренних или внешних языках программирования. Например, современная версия GPSS позволяет подключать программы, написанные на C++; Arena имеет возможность написания программ на VBA; Stratum содержит собственный язык.

На сегодняшний день при проектировании сложных систем основной упор делается на разработку дополнительных программных модулей. И это привело к тому, что проще и дешевле реализовать нужные возможности СИМ в программе, чем подключить программу к СИМ. Например, существует модуль GPSS для Matlab и компоненты для Delphi. Такое использование СИМ позволяет выделить одну из основных тенденций развития — интеграцию с другими программными комплексами.

Развитие языков моделирования идет за счет расширения числа типовых блоков и разработки дополнительных операторов (функций), позволяющие выполнять вычисления, генерировать потоки данных и т.д. Широкое распространение получили предметно-ориентированные СИМ (например, СИМ сетей и сетевого оборудования NetCracker).

Серьезным препятствием к активному использованию языков и систем имитационного моделирования является сложность описываемых систем и экспоненциально растущее время моделирования. Необходимо разработать такие языки ИМ, которые позволяют описывать различные операции свертки, иерархические объекты, правила преобразования моделей и т.д.

Шагом в этом направлении можно считать возможность укрупненного проектирования модели и постепенного ее усложнения в СИМ Arena, разработка процессных языков с операторами свертки (PERA [Donatelli, 2000], язык описания сцепленных процессов [Черненко, 2000]), использование производственных правил в СИМ [Ясиновский, 1994].

**Методы имитационного моделирования.** Методы ИМ непосредственно связаны с классом СИМ. При использовании событийно-ориентированного подхода динамика системы задается с помощью множества событий, которые упорядочиваются по времени возникновения. Например, для описания работы сканера можно указать четыре события (рис. 1.2.): *расположение оригинала (e1), начало сканирования (e2), окончание сканирования (e3), удаление оригинала (e4)*.

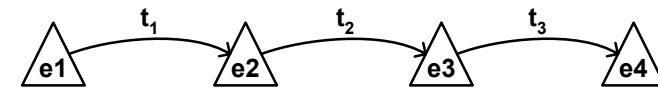


Рис. 1.2. Пример описания событий.

В сетях Петри используют несколько иное представление. События представляют собой переход от одного состояния системы к другому<sup>1</sup> (см. рис. 1.3.).

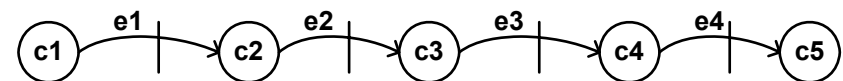


Рис. 1.3. Представление событий в сетях Петри.

Преимуществом событийного подхода является его быстрдействие, которое достигается за счет возможности “скачкообразного” изме-

<sup>1</sup> Сети Петри можно было бы назвать “состояние-ориентированным подходом”, однако это не принято.

нения модельного времени. Однако при реализации параллельных процессов возникает сложность в синхронизации событий.

Например, для увеличения производительности работы на барабанном сканере используют два барабана: один — для закрепления материала, другой — для сканирования. При такой организации труда (рис. 1.4) добавляется операция смены барабанов и соответствующее событие — смена барабанов ( $e5$ ). Переход от события  $e4$  к  $e1$  и  $e5$  к  $e2$  не занимает существенного времени и эти события можно объединить (рис. 1.5).

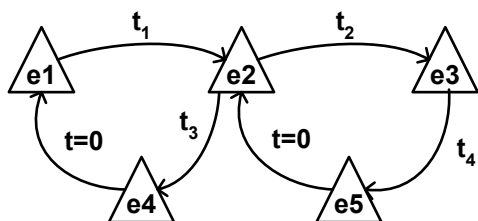


Рис. 1.4. Сканирование на барабанном сканере.

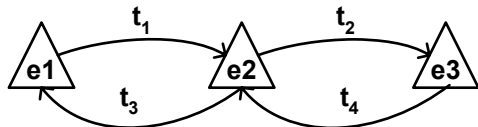
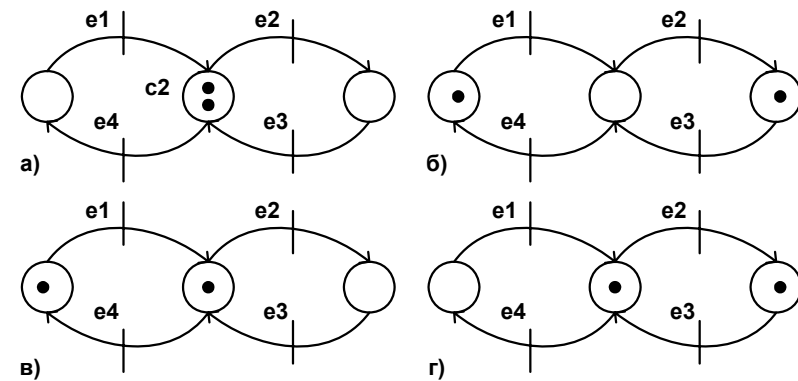


Рис. 1.5. Совмещение событий.

Если время, необходимое для удаления уже отсканированного и расположения нового оригинала, больше, чем время сканирования и смены барабанов, то событие  $e2$  (начало сканирования) не может осуществиться. В сетях Петри условие начала сканирования можно задать с помощью фишек. Если в метке  $c2$  находится две фишки, то переход (событие  $e2$ ) может осуществиться (рис. 1.6 а). В том случае, когда не произошло событие  $e1$  или  $e3$ , переход (событие  $e2$ ) не осуществляется (рис. 1.6 б, в, г).

Таким образом, событийный метод позволяет моделировать параллельные системы, не учитывая продолжительность отдельных операций. Если необходимо определить возможность выполнения работы (полиграфического заказа), требуемое количество событий и процессов (технологических операций), то событийно-ориентированный метод

является одним из самых эффективных. Кроме того, сети Петри имеют



развитый математический аппарат и множество полезных теорем.

Рис. 1.6. Задание условий перехода в сетях Петри.

Для использования временных задержек в событийном подходе каждому переходу ставится в соответствие фиксированное (неизменное) значение времени. Увеличение интервалов времени может быть реализовано за счет введения нескольких дополнительных событий. Недостатком такой реализации является то, что интервалы должны быть кратны минимальному значению. При учете времени событийная СИМ может превосходить по быстродействию процессную, что возможно в тех случаях, когда время перехода от одного события к другому больше шага модельного времени в процессной СИМ.

Другими способами учета времени являются введение особых вершин (меток, событий) или усложнение алгоритмов работы (поиск ближайшего события во всех ветвях параллельного процесса).

Следует отметить, что событийный подход лег в основу и получил широкое распространение в области объектно-ориентированного программирования. В операционной системе в каждый момент времени возникают различные события. Разработчик программного обеспечения выделяет необходимые события и пишет соответствующие обработчики.

В процессно-ориентированном подходе для задания динамики используют процессы. Например, ранее рассмотренную работу сканера можно представить с помощью трех процессов (рис. 1.7.): *расположение оригинала (p1)*, *сканирование (p2)*, *удаление оригинала (p3)*.

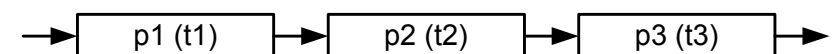


Рис. 1.7. Пример процессного описания.

Такое представление процессов легко преобразуется в событийное описание: каждому процессу ставится в соответствие два события (*начало процесса* и *конец процесса*). В этом смысле событийный и процессный подход эквивалентны. Для описания процессов с помощью сети Петри необходимо в качестве перехода использовать не событие, а процесс. Примером процессного языка, описывающем только структуру процессов (их последовательность), является алгебра процессов PERA.

Особенностью некоторых процессно-ориентированных СИМ является то, что процессы могут выполняться только внутри специальных блоков, которые имитируют обслуживающие аппараты (ОА). При проектировании модели создаются типовые блоки, и задается последовательность переходов между ними. В агрегатных СИМ блок представляет собой устройство, на которое подаются входные данные и управляющие сигналы.

Часто среди процессных СИМ выделяют транзактно-ориентированные системы. Их отличие заключается в том, что между блоками передаются динамические объекты (транзакты, заявки). Каждый блок ОА захватывает транзакт, удерживает его какое-то время и изменяет его параметры. Таким образом, в каждый момент модельного времени система находится в определенном состоянии. В сетях Петри аналогом транзакта является фишка, но она не имеет изменяемых параметров.

Методы, используемые в действие-ориентированных СИМ, аналогичны рассмотренным выше структурным подходам. При проектировании модели задается последовательность действий и условия переходов между ними. Само действие трактуют как часть процесса или как множество процессов, приводящих к одному результату. Подробно различия между действием и процессом рассматривается далее в главе 4 при описании SIE-модели.

Обобщая рассмотренные подходы к имитационному моделированию, можно выделить *метод структурного описания* событий, состояний, процессов, действий и последовательностей переходов между ними. Метод имитационного моделирования в этом случае представляет собой последовательный переход от одного элемента к другому. Он позволяет оценить возможность и сложность выполнения задач. СИМ, реализующий данный подход, наиболее приближены к системам поиска решения и экспертным системам.

*Методы динамического моделирования* имеют существенные различия в представлении динамических объектов и задании условий пере-



ходов: в сетях Петри условие перехода задается количеством и цветом (в раскрашенных сетях) необходимых фишек; в транзактных блочных СИМ (GPSS) — с помощью условных операторов и параметров транзакта; в агрегатных СИМ — с помощью входных, выходных данных и управляющей информации.

Особое внимание следует уделить комбинированным и универсальным СИМ: SLAM [Прицкер, 1987], УАИМ [Бусленко, 1977], УСИМ [Тарзанов, 1998], УЯМ [Дал, 1969] и др. Они объединяют возможности различных методов, которые во многом являются эквивалентными. Особенностью метода моделирования смешанных систем является то, что последовательная (параллельная) обработка элементов модели может быть прервана событиями, которые изменяют текущее состояние или даже структуру модели. Это приближает его к идее (методу) генерации внешних событий с помощью систем, которые анализируют процесс имитации.

*Методы непрерывного моделирования* не рассматриваются, так как их применимость в настоящее время ограничена. Они используются для описания работы физических объектов и не подходят для описания систем массового обслуживания. Ограниченность применения различных подходов в области полиграфии рассматривается в главе 5.

На ранних этапах развития СИМ особо выделялись *методы генерации случайных потоков данных*, необходимых для проведения статистических экспериментов. Эти вопросы подробно обсуждаются в [Таха, 1985; Кофман, 1965], а пример реализации можно найти в [Марков, 1999].

К методам ИМ можно отнести различные подходы по оптимизации времени моделирования (алгоритмы свертки) и обработки параллельных процессов (методы описания и разрешения конфликтов).

*Методы свертки* можно условно разделить на динамические (real-time) и статические. В первом случае свертка выполняется в процессе имитации, а во втором — перед моделированием, на основании спроектированной модели. Например, несколько последовательных процессов можно представить как один. Временная задержка в общем процессе будет равняться сумме задержек всех подпроцессов. Эту свертку можно провести еще на стадии проектирования имитационной модели. Однако если два процесса протекают параллельно, а потом сцепляются в один (рис. 1.5), то свертку одного из них можно осуществить только после окончания второго. Суммарное время работы будет определяться как максимальная задержка. Такую свертку лучше делать в режиме реаль-

ного времени. Описание некоторых методов можно найти в работе, посвященной описанию сцепленных процессов [Черненький, 2000].

К методам свертки можно отнести укрупнение и абстракцию модели. Например, при моделировании сети ЭВМ можно пренебречь их конкретными характеристиками (небольшими различиями в производительности) и осуществлять только учет их загруженности. Использование для этих целей методов экспертного и ситуационного моделирования описывается в следующих главах.

## 1.2. Экспертное моделирование

Выделим класс систем экспертного моделирования (СЭМ), которые имитируют процессы рассуждения человека. Исходными данными для них являются декларативные и процедурные знания, поэтому их также называют *системами основанными на знаниях (knowledge-based system)* или *экспертными системами (ЭС)*. В книге, в основном, будет использоваться последнее название. В общем случае ЭС нельзя рассматривать как СИМ, так как они используют критерии, стратегии выбора правил, формализованные цели и т.д. Тем не менее, при моделировании знаний эксперта, которые представляют собой вербальное или графическое отображение системы, ее связей и закономерностей, экспертное представление аналогично имитационному. Тенденция сближения классов ЭС и СИМ отмечена в работах [Павловский, 2000; Эрлих, 1994].

**Структура и классификация ЭС.** Существует множество различных определений экспертной системы, при этом в большинстве случаев ее структура остается типовой и может включать следующие компоненты: *База знаний, База данных, Машина вывода, Интерфейс с пользователем, Модуль извлечения знаний и обучения, Компонент приобретения и объяснения знаний* [Филиппович Ю., 2003б; Герман, 1995], первые три из которых являются обязательными.

*База данных (БД)* хранит исходные и промежуточные данные решаемой в текущий момент задачи.

*База знаний (БЗ)* предназначена для хранения долгосрочных данных, описывающих рассматриваемую область, и правил, описывающих целесообразные преобразования данных в этой области.

Отличие БЗ от БД определяют исходя из типа хранимых знаний: в БЗ записывают правила (процедурные знания), а в БД — данные (декларативные знания). Все знания стремятся хранить единообразно, используя один язык представления знаний (ЯПЗ). В некоторых публика-

циях системы управления базами знаний рассматривают как особую СУБД, называемую дедуктивной или логической [см., например: Дейт, 2000].

*Машина вывода*, используя исходные данные и знания, формирует такую последовательность правил, которые, будучи примененными к исходным данным, приводят к решению задачи.

*Интерфейс с пользователем* ориентирован на организацию общения со всеми категориями пользователей как в ходе решения задач, так и в ходе приобретения знаний, объяснения результатов работы.

*Модуль извлечения знаний и обучения* автоматизирует процесс наполнения ЭС знаниями, осуществляемый пользователем-экспертом, а также формирует знания на основе анализа прикладных ситуаций.

*Компонент приобретения и объяснения знаний* объясняет, как система получила решение задачи (или почему она не получила решения) и какие знания она при этом использовала, что облегчает эксперти тестирование системы и повышает доверие пользователя к полученному результату. Важной составляющей компонента приобретения знаний является интеллектуальный редактор базы знаний.

Первые классификации ЭС были связаны с областью их применения и решаемой задачи [Хейес-Рот, 1987; Уотерман, 1989]. После появления специализированных языков и компьютеров для символического программирования их стали классифицировать по набору используемого программного и технического обеспечения [Джексон, 2001; Форсайт, 1987]. В настоящее время наиболее актуальными является классификации по времени [Попов, 1995; Гаврилова, 1992] и гибридности (интегрированности с другими системами) [Джексон, 2001; Гаврилова, 2001].

Рассмотрим эти классификации:

1. По решаемой задаче:

— *ЭС интерпретации данных* предназначены для определения смысла данных. Результаты должны быть согласованными и корректными. В рамках таких систем предусматривается многовариантный анализ данных.

— *ЭС диагностики* относят объекты к некоторому классу и обнаруживают неисправности. Неисправностью в данном случае считается любое отклонение от нормы. Такая трактовка позволяет с единых теоретических позиций рассматривать и неисправности оборудования в технических системах, и заболевания живых организмов, и природные аномалии.

— *ЭС мониторинга* ориентированы на непрерывную интерпретацию данных в реальном масштабе времени и сигнализацию о выходе параметров за допустимые пределы.

— *ЭС проектирования* готовят спецификации на создание “объектов” с заранее заданными свойствами. Под спецификацией понимается весь набор необходимых технических графических и текстовых документов.

— *ЭС планирования* находят планы действий, относящиеся к объектам, способным выполнять некоторые функции. В таких ЭС используются модели поведения реальных объектов с тем, чтобы логически вывести последствия планируемой деятельности.

— *ЭС обучения* диагностируют ошибки при изучении какой-либо дисциплины с помощью ЭВМ и подсказывают правильные решения. Они аккумулируют знания о гипотетическом “ученике” и его характерных ошибках, на основании которых они способны диагностировать недостаточные или ошибочные познания обучающихся, находить соответствующие средства и осуществлять действия для их ликвидации.

Классификация экспертных систем по решаемой задаче приведена на рис. 1.8.

Все рассмотренные типы ЭС могут быть объединены в три группы: *анализа, синтеза и комбинированные*. Их отличие состоит в том, что для систем анализа пространство решений детерминировано и ограничено заранее определенным множеством. Для систем синтеза множество решений потенциально велико, а конкретное решение строится (конструируется) в процессе рассуждений.

К системам *анализа* относятся системы *интерпретации и диагностики, синтеза* — *проектирования и планирования, комбинированным* — *обучения, мониторинга и прогнозирования*.

## 2. По связи с реальным временем:

— *Статические* — работают в предметных областях, где представления и знания носят достаточно выраженный статический характер (слабо или почти не изменяются со временем). Примером может служить диагностика неисправностей автомобилей.

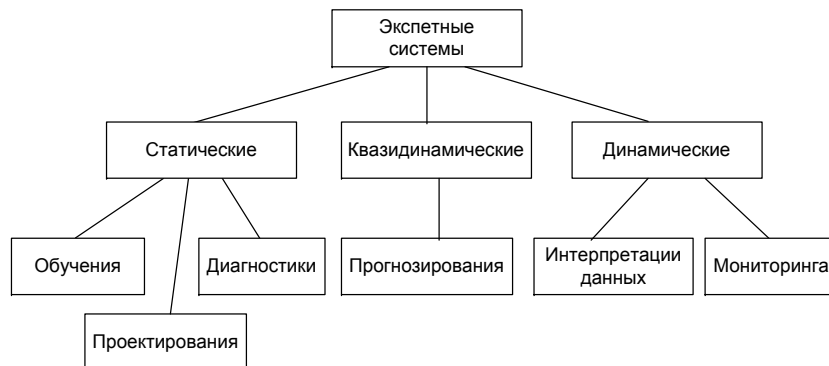


Рис. 1.8. Классификация ЭС по времени и назначению.

— *Квазидинамические* системы интерпретируют ситуацию по совокупности отсчетов (измерений), поступающих дискретно, через заданные промежутки времени, и анализируют динамику изменения показателей исследуемого процесса. Это системы управления и оценки состояния химических и биологических производств.

— *Динамические* системы (экспертные системы реального времени) проводят непрерывную по времени оценку быстро меняющейся ситуации, данные о которой поступают разными путями (в том числе через непосредственно присоединенные датчики), и интерпретируют получаемые данные для выработки управляющих воздействий. Это системы контроля ГПС, системы мониторинга в реанимационных палатах. Встречается и расширенное толкование динамических ЭС: это системы, которые отслеживают процессы, проходящие на фоне изменения текущего состояния предметной области. При этом исходные данные, описывающие предметную область, изменяются за время решения задачи.

### 3. По степени интеграции:

— *Автономные* ЭС поддерживают только режим консультации по поводу каких-либо ситуаций на основе имеющихся знаний в данной ПО.

— *Интегрированные (или гибридные)* экспертные системы содержат в себе прикладные подсистемы целевого назначения (обработки прикладной информации) или являются частью больших интегрированных многофункциональных пакетов, выполняя экспертизу ситуации, данные о которой могут быть получены, обработаны и использованы другими подсистемами.

### 4. По набору технических средств:

— *Персональные ЭВМ (IBM PC),*

— *Интеллектуальные рабочие станции* (типа Sun, Apollo и др., снабженные эффективными интеллектуальными системами для создания ЭС);

— *Последовательные символьные ЭВМ типа Лисп-машин* (Alpha, Symbolic-3670, Explorer, Xerox 1100);

— *Пролог-машины;*

— *Параллельные символьные ЭВМ* (Connection, Dado, Faim, Hyper Cube).

### 5. По набору программных средств:

— *Символьные языки программирования*, ориентированные на создание ЭС и систем искусственного интеллекта (ИИ) (например: LISP, INTERLISP, SMALLTALK);

— *Языки инженерии знаний*, т.е. языки высокого уровня, ориентированные на построение ЭС (например: OPS-5, LOOPS, Пролог, KES);

— *Системы, автоматизирующие разработку (проектирование) ЭС* (например: KEE, ART, TEIRESIAS, AGE, TIMM), их часто называют окружением (environment) для разработки систем ИИ, ориентированных на знания;

— *Оболочки ЭС*, не содержащие знаний ни о какой проблемной области (например: Image Expert, EMYCIN, G2, EZ-EXPERT, ЭКО, ЭКСПЕРТ, ЭКСПЕРТИЗА).

В литературе можно также найти классификацию по назначению, проблемной области, глубине анализа проблемной области, по типу используемых методов и знаний, по классу систем, по стадиям существования, по инструментальным средствам.

Со времени появления первых экспертных систем понимание их конструкторами-разработчиками, а также пользователями сильно изменилось. Сегодня элементы ЭС используются практически в каждом программном продукте:

— Во-первых, в виде мастеров для создания типовых проектов (форм, документов) в офисных системах (например, MS Office), в языках программирования, СУБД, программах верстки, компьютерного дизайна Web-страниц, презентационной графики и др.

— Во-вторых, в гипертекстовых (гипермедийных) технологиях. Для интерактивного выбора или поиска нужной информации создаются гипертекстовые ссылки, анализируется выбор, выполняются java-скрипты. Переход к нужной информации представляет собой цепочку логического вывода.

— В-третьих, в современных продуктах появились элементы самообучения, т.е. программы анализируют информацию, поступающую от пользователя, изменяют внешний вид интерфейса, дают советы, автоматически выполняют однотипные операции и т.п.

### **Методы экспертного моделирования**

Моделирование в ЭС (СЭМ) представляет собой *вывод на знаниях*. Механизм вывода во многом зависит от используемого языка представления знаний и может быть логическим [Хант, 1978; Смирнов, 1989], нечетким [Корнеев, 2000; Заде, 1976], вероятностным [Нейлор, 1991], продукционным [Нильсон, 1985; Лорьер, 1991] и т.д. Подробное рассмотрение основных ЯПЗ приведено в книге [Филиппович Ю., 2003б].

Количество методов, используемых в экспертном подходе, значительно превосходит число методов в ИМ и отличается большим многообразием. К экспертному моделированию относятся методы:

— формирования, изменения, дополнения и оптимизации БЗ;

- обучения, извлечения и объяснения ЭС;
- ведения диалога и разработки интерфейса взаимодействия;
- описания предметной области на ЯПЗ;
- разработки алгоритмов и стратегий вывода;
- прогнозирования, экстраполяции и эвристического анализа;
- интеграции ЭС с другими системами.

Если при моделировании (выводе) ЭС опирается на исходные данные и на основании правил, хранимых в БЗ, получает результат, то такой вывод называется *прямым*. Если ЭС осуществляет поиск всех возможных комбинаций исходных данных, приводящих к одному (заданному) результату, то такой вывод называется *обратным*.

Обычно вывод осуществляется последовательно. В случаях параллельной работы выводы синхронизируются<sup>2</sup>. В связи с этим моделирование осуществляется поэтапно, изменяя текущее состояние ЭС. В общем случае под состоянием ЭС можно понимать вероятности гипотез и количественные показатели использованных (предполагаемых к использованию) правил или других фрагментов БЗ. На каждом этапе работы ЭС необходимо выбрать для использования следующее правило. Принципы выбора правил называются *стратегиями вывода* или *метаправилами*.

Простейшей стратегией вывода является перебор всех возможных правил.

В ЭС с вероятностными продукциями наиболее часто выбираются правила, которые максимально изменяют существующие гипотезы. В нечетких ЭС чаще всего используются стратегии вывода Mamdani, TVFI и Сугэно. Для разрешения конфликтов используются стратегии глубины и ширины, простоты и сложности, LEX и MEA [Джексон, 2001]. В логических системах выделяются методы индуктивного и дедуктивного выводов.

Самые сложные стратегии построены на метаправилах, к которым в свою очередь также могут применяться аналогичные стратегии. Необходимость в их использовании определяется количеством правил. Если объем БЗ метаправил достаточно велик, то к нему можно разрабатывать очередные метаправила.

Методы вывода с использованием правил сильно отличаются от методов, не использующих их. Если моделируемая предметная область имеет большую размерность, нечеткость или высокую динамику развития, то создание полного списка правил весьма трудоемко. В связи с

---

<sup>2</sup> Параллельная работа наиболее часто используется в ЭС реального времени.

этим создаются модели предметной области с помощью семантических сетей, фреймов, сценариев, лем, семиотических языков и т.д. В результате вывода ЭС осуществляет анализ модели или ее имитацию.

Большинство ЯПЗ можно представить в виде сетевой структуры (семантические сети, фреймы, сценарии, продукции), поэтому в них активно используются графовые методы поиска (в ширину, в глубину и др.)

При анализе модели могут автоматически формироваться правила. Например, с помощью семантической сети можно описывать последовательную обработку изображения (сканирование, ретушь, вставку в верстку и вывод на фотоформу). Если сформулировать множество правил, то это будет выглядеть примерно так: *если изображение не отсканировано, то оно не выведено; если изображение не ретушировано, то оно не выведено; если изображение не сверстано, то оно не выведено* и т.д. При вопросе “будет ли выведено изображение, если оно не сверстано?” система вместо перебора всех правил найдет соответствующую вершину сети, связанную с фотовыводом, и определит, что верстка должна предшествовать этому этапу.

Методы имитации символической модели ЭС практически полностью совпадают с методами, используемыми в СИМ. Такое сближение имитационного и экспертного подхода приводит к идеям интеграции ЭС и СИМ, более подробно обсуждаемой во второй главе и рассматриваемой в работах [Тарасов, 1994; Косов, 1996].

Особо следует выделить методы комбинированного вывода, которые учитывают возможности различных ЯПЗ. Кроме того, в ЭС часто используются методы с вызовом внешних процедур (программ) и получения из них данных. Эти методы носят название *процедур извлечения знаний*.

### 1.3. Ситуационное моделирование

В этом параграфе будет рассмотрен третий подход к моделированию систем. Как и прежде будем разделять процесс моделирования на две составные части: проектирование модели системы (modeling) и симулирование модели (simulating). Сознательно не используется термин имитации, так как обычно он связан с имитационным моделированием.

Результатом проектирования является модель, представленная на соответствующем языке описания (представления) знаний, основным элементом которого является понятие *ситуации*.



“СИТУАЦИЯ (от лат. *situatio* — положение), сочетание условий и обстоятельств, создающих определенную обстановку, положение” [СЭС, 1980].

Большинство специалистов такое определение ключевого понятия не устраивает, поэтому они стремились его уточнить и переопределить. Рассмотрим некоторые из них.

М.Ш. Цаленко, ссылаясь на работу [Падучева, 1958], определяет ситуацию как синоним слова *взаимосвязь* [Цаленко, 1989]. Рассматривая разновидности ситуаций, он приводит классификацию, представленную на рис. 1.9. Классификация является спорной и противоречивой, но, тем не менее, указывает основные элементы, через которые может быть определена ситуация. Можно считать, что ситуация системы есть совокупность состояний подсистем, действующих процессов и произошедших событий.

Рассмотрим определения ситуаций, даваемые основоположниками ситуационного управления: “Назовем далее, *дискретной совокупностью (ситуацией) множество оперативных элементов, расположенных в определенных точках статической системы*” [Поспелов, 1972]. Под оперативным элементом понимается такой, который может перемещаться по неподвижным элементам. В более поздней работе автор вводит понятие *текущей ситуации* как совокупности всех сведений о структуре объекта и его функционировании в данный момент времени [Поспелов, 1986].

В работе [Клыкков, 1974а] понятие ситуации явно отождествляется с понятием *состояния*. В имитационном моделировании под состоянием понимается значение всех характеристик объекта в заданный момент времени. В ситуационном управлении понятие состояния расширено: в него также включается набор связей между элементами объекта и их значения. Фактически ситуационный подход оперирует не объектами, а системами и подсистемами.

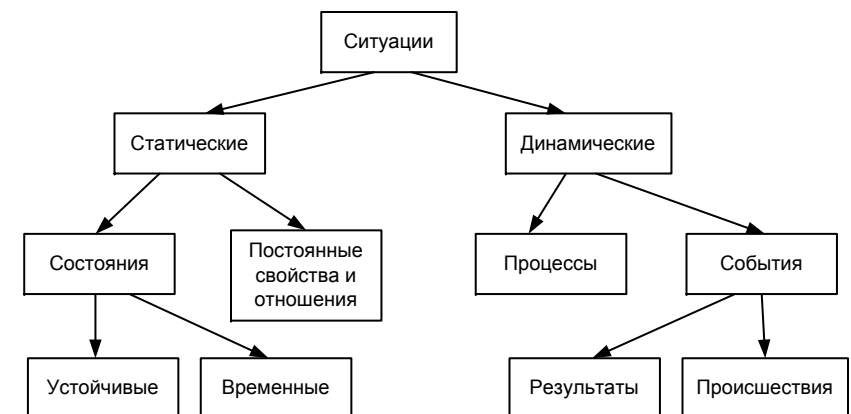


Рис. 1.9. Классификация ситуаций.

Следует также заметить, что в современном объектно-ориентированном программировании активно используются понятия вложенных объектов. Вложенность объектов может достигать большого числа уровней, что приводит к неудобству использования таких понятий, как подсистема, метасистема, миниобъект, максобъект и т.д.

Суммируя все приведенные определения, ситуацию можно определить следующим образом: *Ситуация системы есть совокупность характеристик объектов и связей между ними, которые состоят из постоянных и причинно-следственных отношений (событий и процессов).*

Необходимость использования ситуационного подхода для моделирования и управления определяется следующими свойствами сложных систем [Поспелов, 1986; Клыкков, 1980]:

1. *Уникальность.* Каждый объект обладает такой структурой и функционирует так, что система управления им должна строиться с учетом всех его качеств и к нему нельзя применить какую-либо стандартную типовую процедуру управления.

2. *Отсутствие формализуемой цели существования.* Не для всех объектов можно четко сформулировать цель их существования.

3. *Отсутствие оптимальности.* Следствием первых пунктов является неправомерность постановки классической задачи оптимизации. Из-за отсутствия цели существования (в рамках теории управления) для рассматриваемых объектов нельзя построить объективный критерий управления. Критерий управления становится субъективным, целиком зависящим от лица, принимающего решение (ЛПР).

4. *Динамичность.* С течением времени структура и функционирование объектов изменяется.

5. *Неполнота описания.* Как правило, коллектив экспертов, знающих объект управления, не в состоянии сразу сформировать такую информацию, которой бы заведомо хватило для создания системы управления объектом.

6. *Значительное количество субъектов.* Во многих объектах управления люди являются элементами их структуры. Их индивидуальное поведение практически невозможно учесть при создании системы управления, и требуются специальные приемы для нейтрализации их воздействия на функционирование объекта управления.

7. *Большая размерность.* Сложная система, характеризуется большой размерностью, что не позволяет осуществлять ее имитационное моделирование за короткие сроки.

8. *Неформализованная информация.* Часто для принятия решения необходимо учитывать плохоформализуемые понятия.

Определим принципы *ситуационного управления*. Для этого согласно [Поспелов, 1986] введем понятие *полной ситуации* как совокупности, состоящей из состояния (текущей ситуации), знаний о состоянии системы управления в данный момент и знаний о технологии управления. Элементарный акт управления можно представить в следующем

$$S_i : Q_j \xrightarrow{U_k} Q_i$$

виде:

где  $S_i$  — *полная ситуация*;

$Q_j$  — *текущая ситуация*;

$U_k$  — *способы воздействия на объект управления (одношаговое решение)*.

Смысл этого соотношения заключается в следующем. Если на объекте управления сложилась ситуация  $Q_j$ , и состояние системы управления и технологическая схема управления, определяемые  $S_i$ , допускают использование воздействия  $U_k$ , то оно применяется, и текущая ситуация  $Q_j$  превращается в новую ситуацию  $Q_i$ . Подобные правила преобразования называются *логико-трансформационными правилами* (ЛТП) или *корреляционными правилами*, полный список которых задает возможности системы управления воздействовать на процессы, протекающие в объекте.

Очевидно, что в силу конечности числа различных воздействий все множество возможных полных ситуаций распадается на  $n$  классов, каждому из которых будет соответствовать одно из возможных воздействий на объект управления. Другими словами, должны существовать такие процедуры, которые позволили бы классифицировать полные ситуации так, чтобы из них можно было образовать столько классов, сколько различных одношаговых решений есть в распоряжении системы управления. Эти процедуры можно назвать *процедурами классификации*. Если для некоторых полных ситуаций невозможно указать единственное одношаговое решение, то можно включить эту ситуацию в несколько классов. Но из-за такого пересечения классов возникает задача выбора того или иного решения, подходящих для данной полной ситуации. Для осуществления подобного выбора нужны специальные *процедуры экстраполяции* последствий принятия решения. С их помощью можно на основании знаний об объекте управления и его функционировании заранее оценить результаты применения выбранного воздействия и сравнить полученные прогнозы всех возможных для дан-

ной полной ситуации воздействий. Процедура экстраполяции ситуаций является основной *ситуационного моделирования*.

Описание текущей ситуации, сложившейся на объекте управления, должно подаваться на вход *Анализатора*. Его задача состоит в оценке сообщения и в определении необходимости вмешательства системы управления в процесс, протекающий в объекте управления. Если текущая ситуация не требует такого вмешательства, то Анализатор не передает ее на дальнейшую обработку. В противном случае описание текущей ситуации поступает в *Классификатор*.

Классификатор, используя информацию, хранящуюся в нем, относит текущую ситуацию к одному или нескольким классам, которым соответствуют одношаговые решения. Эта информация передается в *Коррелятор*, в котором хранятся все ЛТП. Коррелятор определяет то ЛТП, которое, должно быть использовано. Если такое правило единственное, то оно выдается для исполнения. Если же таких правил несколько, то выбор лучшего из них производится после обработки предварительных решений в *Экстраполяторе*, после чего Коррелятор выдает решение о воздействии на объект.

Если Коррелятор или Классификатор не могут принять решения по поступившему описанию текущей ситуации, то срабатывает *Блок случайного выбора* и выбирается одно из воздействий, оказывающих не слишком большое влияние на объект, или же система отказывается от какого-либо воздействия на объект. Это говорит о том, что система управления не располагает необходимой информацией о своем поведении в данной ситуации.

### **Классификация ситуационных систем**

Ситуационное управление как научный подход сформировалось раньше чем область искусственного интеллекта, однако, впоследствии оно трансформировалось в одно из направлений ИИ. Многие аспекты, первоначально затрагиваемые в ситуационном управлении (эвристический поиск, семантические сети, логика предикатов и др.), стали рассматриваться отдельно.

В 80–90-е годы в связи с увеличением производительности вычислительной техники сократился класс систем, в которых необходимо использование ситуационного управления.

Несмотря на спад интереса, широкое применение нашли системы ситуационного отображения информации (ССОИ), которые решают задачи: наблюдения за надводной, подводной, наземной, воздушной, космической обстановкой на достаточно большом ареале земной по-

верхности; управления (навигации) динамическими объектами в указанных средах; экологического мониторинга; управления сложными транспортными узлами.

Области применения ситуационных систем отображения информации весьма разнородны, их примерами являются: система отображения информации в центре управления космическими полетами [Милицин, 1982]; система наблюдения за космической обстановкой [Филиппович Ю., 1991б]; передовая радарная цифровая система анализа изображений ADRIES, предназначенная для автоматизации задач тактической разведки, оценки военной обстановки, опознавания целей и способная интерпретировать возможные военные ситуации по совокупности радиолокационных изображений, параметров обнаруженных состояний боевой техники, априорной топографической информации типа карт или баз данных о характеристиках местности и т.п. [Филиппович Ю., 1992б]; система для опознавания военных кораблей по силуэту [Филиппович Ю., 1992а]; системы специального назначения [Stuart, 1990; Vollmuth, 1991]; системы контроля за аппаратурой сотовой связи [Motorola, 2000] и др.

Основная задача ССОИ — строить изображения ситуаций, возникающих в предметной области, на основе которых оперативный состав принимает управляющие решения в рамках определенных задач. ССОИ характеризуются:

- необходимостью создавать информационные модели и изображения весьма сложных, комплексных, динамических ситуаций реального мира, представлять эти изображения оперативному составу;
- наличием оперативного состава (коллектива потребителей графической информации), решающего на основе представленной модели визуализации ситуации некоторую совокупность задач;
- расположением в ситуационных залах управления (наблюдения, навигации), которые строятся на основе мощной вычислительной среды и имеют стационарный характер.

ССОИ использовались, в основном, в государственных структурах и крупных корпорациях. Это было связано с тем, что на их создание требовались значительные ресурсы. В связи с этим описание ситуационных систем носят конфиденциальный характер. Заместитель председателя комитета по безопасности относит ССОИ к одному из трех видов информационно-поисковых систем (ИПС), которые принято считать “*сверхоружием XXI века*” [Волковский, 2000].

В последнее время, интерес к ситуационному управлению и ССОИ значительно возрос. Классы систем, которые совмещают в себе функции ситуационного отображения, управления и моделирования, получили название *ситуационных центров (СЦ)*.

СЦ является системой оперативной аналитической обработки большого количества взаимосвязанной информации. На современном рынке представлен целый класс аналитических систем, но в отличие от ситуационных центров они позволяют анализировать небольшое количество связанных параметров [Зырянов, 1999а, б]. Для предоставления результатов в них используется табличное отображение текстовой информации, а зависимости могут быть представлены в виде графиков или диаграмм.

Различные аналитические системы (например, реинжиниринговые системы) можно рассматривать как элементы СЦ, как прототипы или реализации его отдельных функций. Поскольку характерной чертой любого СЦ является привязка ситуационной модели к местности, еще одним классом систем, реализующим элементы отображения информации, являются геоинформационные системы (ГИС). Например, в докладе [Фридман, 1999] рассматривается система поддержки принятия решения (СППР) с использованием ситуационного моделирования на базе ГИС.

Одна из задач СЦ — обобщать и анализировать данные при наличии большого количества информации. К ситуационным можно также отнести автореферлирующие системы, которые могут структурировать данные и представлять их в виде ситуаций. Среди них выделяются статические, динамические и потоковые системы.

Возможность и необходимость прогнозирования в СЦ сближает ситуационный подход с классом ЭС прогнозирования. Событийно-ориентированные СИМ оперируют событиями и состояниями моделируемого объекта (микроситуациями), что позволяет их частично отнести к ССМ.

Некоторые СЦ используются для контроля состояния множества различных устройств, объединенных в одну сеть (например, ситуационные центры компаний сотовой связи). Особенностью таких систем является использование аппаратуры различных производителей и модификаций.

Основная задача функционирования такой системы является контроль всех составляющих элементов на высшем уровне и принятие решений в случае возникновения экстренных ситуаций. На экране коллективного пользования отображается работоспособность и загрузка оборудования.

Ситуационный центр представляет собой совокупность интеллектуально организованных рабочих мест с автоматизированными операциями пополнения информации, процедурами построения моделей, анализа ситуации, прогона моделей, графического представления проигранных сценариев.

В настоящее время по степени сложности, масштабу и решаемым задачам выделяют три основных класса ситуационных центров [Шишов, 1998; Погодин, 1998]:

— *Стратегический ситуационный центр* решает сложные, масштабные, ответственные задачи, направленные на структурную и функциональную перестройку. Стратегические ситуационные центры ориентированы на объекты класса: отрасль, регион, крупное предприятие (холдинг), ведомство, сложный распределенный в пространстве процесс.

— *Оперативный ситуационный центр*, решающий задачи автоматической свертки оперативной информации в ситуационную модель, дающий “первому лицу” возможность оперировать “модулями” своего бизнеса в реальном масштабе времени. Оперативные ситуационные центры настроены на объекты класса: предприятие, задача, процесс, компания, проект, крупная акция, однородная функция значительных масштабов (например, обеспечение работоспособности ретрансляционного оборудования магистральной связи).

— *Персональный ситуационный центр*, решающий задачу экспресс-оценки ситуации, оперативного доступа к управляемому объекту и поддерживающий возможность руководителя всегда “быть в курсе” независимо от времени, места (и даже в известном смысле состояния) управляющего субъекта. Персональные ситуационные центры в определенном смысле индифферентны по отношению к масштабам управляемого объекта, их задачи, функции и состав определяются скорее субъектом, решающим, какая информация ему понадобится.



Рис. 1.10. Классификация систем ситуационного моделирования.

*Стратегический центр* позволяет разрабатывать комплексные оперативные и долгосрочные инвестиционные проекты и программы развития компании, вести расчет среднесрочных планов развития бизнеса компании, разрабатывать программы стратегического маркетинга и т.д. Руководители, располагающие стратегическим ситуационным центром, получают преимущество перед конкурентами при планировании продвижения на новые сектора рынка, при планировании долгосрочной ценовой и товарной политики и т.д. [Яковенко, 1998; Горшенин, 2000]. В результате руководство компании переходит от принятия отдельных решений к выработке системных решений (т.е. сценариев), когда каждое отдельное решение подчинено целям обеспечения долгосрочной стабильности компании.

Для обеспечения работы стратегического ситуационного центра создается соответствующая служба, в состав которой должны включены: системный аналитик (консультант), руководитель систем внешних и внутренних информационных сетей и коммуникаций, разработчик программного обеспечения или дежурный оператор.

*Оперативный центр* обслуживает руководителя компании и руководителей основных ее подразделений, осуществляет оперативный контроль и анализ состояния компании в режиме реального времени.

Центральное место в обеспечении оперативного центра занимает информационная (имитационная) модель компании или отрасли, которая строится по экспертным оценкам (указаниям) руководства компании в соответствии с заданными целями и приоритетами.

Внедрение оперативного ситуационного центра подразумевает создание специализированного коллективного рабочего места, в который поступают сведения об основных подразделениях, процессах, функциях и параметрах компании. Руководители подразделений работают со своими информационными срезами.

Оперативный ситуационный центр существенно изменяет процесс управления компанией. Изменяется принцип организации информационных потоков.

Важнейшим дополнительным элементом, существенно повышающим качество управления компанией, является возможность оперативно обрабатывать внешнюю информацию. Основным источником информации при этом — общедоступные базы данных сети Интернет, специализированная и региональная статистическая информация.



Внешняя информация автоматически оперативно вводится в систему внутреннего информационного оборота компании через специальные программы-конверторы, в результате руководитель получает возможность учитывать внешние измерители: место компании в отраслевом разрезе и регионе, анализ конкурентной среды, оценка перспектив рынка. Эти и многие другие внешние измерители вводятся в обиход текущего управления компанией при внедрении оперативного ситуационного центра.

Руководитель компании (отрасли) непрерывно получает объективную картину состояния не только компании (отрасли) в целом, но и подразделений, возможность планировать и проводить текущие производственные совещания на расширенном информационно-аналитическом базисе. Ситуационный центр позволяет в темпе проведения совещания рассчитать и предъявить на мониторах развитие ситуаций, появляется возможность за короткое время рассмотреть несколько вариантов решения и найти оптимальное.

Внедрение ситуационного центра позволяет существенно поднять культуру управления: руководители подразделений работают как единая команда, подчиняющая свои интересы интересам развития компании в целом [Монахова, 1999].

### **Структура ситуационного центра**

Персональный ситуационный центр представляет собой компьютеризированное рабочее место руководителя с необходимым аппаратным, программным и информационным обеспечением.

Информационное обеспечение центра предполагает, что в основных подразделениях будут установлены специальные программы, обеспечивающие автоматическую конвертацию данных для ситуационного центра.

Рассмотрим структуру типичного ситуационного центра. Он состоит из следующих основных частей:

- измерительная (сенсорная) среда;
- информационная (имитационная) модель среды;
- среда информационной поддержки;
- среда аппаратной поддержки;
- среда визуализации;
- оперативный состав.

Под измерительной (или сенсорной) средой понимается совокупность аппаратно-программных средств, служащих для получения информации о состоянии проблемной среды. Это могут быть антенные системы, каналы получения информации от СЦ и т.п. Для других сис-

тем измерительная среда включает в себя датчики, системы сбора и первичной обработки данных и др. Главная задача измерительной среды — обеспечить адекватность информационной модели СЦ некоторому выбранному фрагменту реального мира.

*Информационная (имитационная) модель среды* представляет собой совокупность как минимум следующих компонентов [Гасов, 1990]:

- тематической составляющей, определяющей совокупность моделируемых понятий проблемной среды;
- пространственной составляющей, задающей пространственные отношения между объектами модели;
- графической составляющей, задающей отображение объектов модели в множество графических условных знаков (графических примитивов).

*Среда информационной поддержки* — это совокупность программ и информационных потоков, обеспечивающих функционирование информационной модели и среды визуализации.

*Среда аппаратной поддержки* — это совокупность технических вычислительных средств, обеспечивающих функционирование среды информационной поддержки СЦ.

*Среда визуализации* — это совокупность экранов коллективного и индивидуального пользования, обеспечивающих информационный и командный интерфейс между человеком-оператором и аппаратно-программной средой ситуационного центра.

*Оперативный состав* — это коллектив специалистов, имеющий собственную внутреннюю организационную структуру. Цель оперативного состава — обеспечить решение совокупности штатных задач центра на основе анализа информационной модели ситуации реального мира, формируемой аппаратно-программной средой системы.

### **Методы ситуационного моделирования**

Для описания ситуаций используются *семиотические (ситуационные) языки и модели*, среди которых можно выделить следующие основные подходы:

- *дискретные ситуационные сети (ДСС)*;
- *RX-коды*;
- *логика предикатов*;
- *универсальный семантический код*.

Ситуационная сеть представляет собой сложную семантическую сеть [Клыкков, 1980]. Каждая ситуация описывается ориентированным графом (сетью), а для представления вложенности (“ситуации ситуаций”) используются гиперграфы, т.е. некоторый фрагмент семантической сети, определяющий ситуацию, может рассматриваться как одна вершина сети. На заре ситуационного управления понятие гиперграфа не использовалось, вместо этого каждый автор вводил заменяющие обозначения. Например, в работе [Кузнецов, 1986] используются “с-вершины”.

RX-коды представляют собой язык бинарных отношений и имеют в качестве ядерной конструкции запись следующего вида [Кузнецов, 1976]:

$$x_1 = x_2 r_2 x_3$$

где  $x_i$  — объект или ситуация;

$r_i$  — отношение.

Универсальный семантический код использует в качестве ядерной конструкции тройку  $SAO$ , которая соответствует субъекту  $S$ , совершающему действие  $A$  над объектом  $O$ .

Для реализации в ЭВМ семиотических языков используют языки представления знаний. Наиболее близким подходом к описанию семиотических конструкций является семантическая сеть. Однако сети очень медлительны при использовании операций поиска, поэтому конструкции часто представляют с помощью логики предикатов [Девятков, 2001], фреймов [Поспелов, 1990] и продукций [Гаврилова, 2001].

Нельзя не отметить, что методы представления знаний в ситуационных системах и экспертных системах аналогичны. Еще больше они сблизились после активного внедрения нечеткой логики в технологии ЭС.

При ситуационном моделировании активно используются имитационные модели, следовательно, ситуационный “язык должен включать некоторые средства, присущие языкам моделирования: системное время, очереди событий, организацию квазипараллельных процессов и т.д.” [Клыкков, 1980].

Для ситуационного моделирования (имитации) можно использовать два метода: первый — задание исходных данных и расчет возникающих ситуаций; второй — моделирование взаимосвязей ситуаций. Второй метод аналогичен структурному подходу в СИМ. В роли вершин сети выступают ситуации. Если применить сети Петри, то вершинами (позициями) будут ситуации, а переходами — события.

Особо можно выделить методы визуализации ситуаций. Они направлены на решение задач оптимального отображения информации на мониторах (*сценарные методы* [Богатырев, 2002], *метод абстрактной карты*) и декомпозиции изображений по срезам ситуационной модели. В работе [Исаев, 1994] представлен адаптивный язык визуализации.

## Выводы

В главе приведен обзор методов ситуационного, имитационного и экспертного моделирования. На основании рассмотренной литературы составлены классификации и даны определения систем моделирования. Под системами экспертного моделирования (СЭМ) понимаются экспертные системы (ЭС). Новый термин введен исключительно для удобства и единообразия используемых вербальных представлений.

Класс систем ситуационного моделирования (ССМ) и связанных с ним методов выделяется на основе теоретических и практических разработок в области ситуационного управления, систем ситуационного отображения информации (ССОИ) и ситуационных центров (СЦ).

Ситуационный, имитационный и экспертный подходы к моделированию тесно связаны между собой, но, несмотря на это, в настоящее время не существует гибридных моделей и специальных методов, которые объединяют все три направления.

В литературе под СЦ часто понимают программный комплекс, который может включать в качестве компонент другие системы, в том числе ЭС и СИМ.

Разработка ситуационных комплексов является задачей трудоемкой и дорогостоящей, поэтому для интеграции выгодно использовать существующие разработки.

В главе отмечено, что интеграция систем моделирования является одной из ключевых тенденций развития. Важнейшей причиной объединения систем является необходимость преодоления недостатков СИМ (длительное время имитации, типизированность исходных данных, слабый механизм сопряжения) и ЭС (неточность решений и слабый механизм извлечения знаний). Интеграция СИМ, ЭС и ССМ позволит избавиться от большинства недостатков и расширить круг решаемых задач.