

Глава 3

МОДЕЛИ

Модели могут служить основой для проведения экспериментов с меньшей затратой средств и в более короткие сроки, чем при исследовании изменений на реальных системах. Социологические модели должны отражать всю информационную систему с обратной связью, а не отдельные изолированные ее элементы. Наши эмпирические знания дают богатый материал, позволяющий создавать динамические модели.

Модели получили широкое признание как средство изучения сложных явлений. Они заменяют реальное оборудование или целую систему. Ценность моделей заключается в том, что они гораздо эффективнее способствуют более глубокому пониманию неясных характеристик поведения системы, чем если бы это делалось путем наблюдения за реальной системой. Модель может давать необходимую информацию при меньшей затрате средств, чем представляемая ею реальная система. Создается возможность более быстрого приобретения знаний в условиях, не наблюдаемых в реальной действительности.

3. 1. Классификация моделей

Модели можно классифицировать по-разному. Вариант группировки моделей, представляющий интерес для нашего исследования, приведен на рис. 3-1.

Материальные или абстрактные. Прежде всего можно выделить модели материальные и абстрактные.

Материальные модели наиболее доступны для понимания. Обычно это копии исследуемых предметов, часто — уменьшенные.

Статические материальные модели, например архитектурные, помогают наглядно представить размещение элементов на плоскости и пространственные соотношения. Примером динамических материальных моделей служит аэродинамическая труба, применяемая для изучения аэродинамических характеристик проектируемых летательных аппаратов.

Абстрактные модели состоят не из материальных элементов, а из символов, и применяются они гораздо чаще, чем материальные, но они не всегда считаются моделями. Использо-

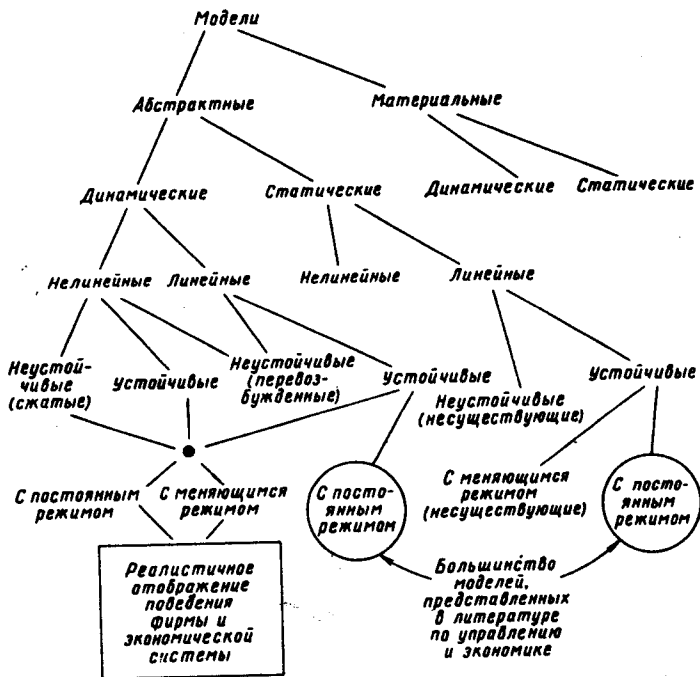


Рис. 3-1. Классификация моделей.

зуемая символика может иметь форму письменной речи или мыслительного процесса. С помощью мысленного представления или словесного описания может быть построена модель фирмы и ее деятельности.

Хозяйственные руководители постоянно имеют дело с такими мысленными и словесными моделями фирмы. (Это мысленное представление о фирме, и оно не обязательно точное.)

Модели призваны заменить в нашем представлении реальную систему.

Математическая модель является особой разновидностью абстрактных моделей. Она выражается языком математических символов и, как другие абстрактные модели, является *описанием* представляемой системы. Математические модели широко применяются, но воспринимаются они труднее, чем материальные, и не столь часто встречаются в повседневной практике, как словесные модели.

Уравнения, описывающие напряжения в конструкции, представляют собой статическую математическую модель балок и опор. Уравнения движения планет вокруг солнца являются динамической математической моделью солнечной системы.

Математическая модель представляет собой более четкое описание, чем большинство словесных моделей. При построении математических моделей мы начинаем со словесных и уточняем их до тех пор, пока нам не удастся перевести их на язык математики. Сам по себе перевод не труден. При переходе от словесных утверждений к математическим трудности возникают в том случае, когда исходная словесная модель является неточным описанием и ее недостатки обнаруживаются при попытке преобразования в математическую форму.

Преимущество математической модели в сравнении со словесной или материальной заключается в том, что с ней легче оперировать, ее логическая структура более определена, на ее основе легче проследить путь от предположений до вытекающих из них следствий.

Статические или динамические. Модели могут отражать ситуации, меняющиеся или не меняющиеся во времени. Статическая модель описывает взаимосвязи, не подверженные изменениям. В динамической модели рассматриваются отношения, изменяющиеся во времени.

Линейные или нелинейные. Системы, отображаемые в моделях, могут быть линейными и нелинейными; соответственно классифицируются и модели.

В линейной системе внешние воздействия просто суммируются¹. При линейной трак-

товке предприятия удвоение числа поступающих заказов вызвало бы в любой последующий момент времени в десять раз большие изменения, чем увеличение объема заказов на 10%. В такой модели предприятия не учитываются ограничения производственной мощности; производительность труда не должна снижаться даже в том случае, если возникнет избыток рабочей силы по сравнению с наличным оборудованием, а осуществление крупных изменений мощности предприятия требует не больше времени, чем незначительные изменения такого рода. Рабочая сила, оборудование и материалы — каждый из этих элементов оказывал бы свое влияние на производство совершенно независимо от состояния двух других; в частности, наличия двух элементов — рабочей силы и оборудования — было бы достаточно для выпуска продукции даже при полном отсутствии материалов. Линейные модели приемлемы во многих работах в области физики, но они не в состоянии отразить существенные характеристики промышленных и социальных процессов.

При помощи линейных моделей гораздо проще достигнуть конкретного математического решения, чем при помощи нелинейных. За незначительным исключением математический анализ не дает общих решений для нелинейных систем. Поэтому когда для приближенного отражения нелинейных по существу явлений используются линейные модели, то нелинейные характеристики этих явлений утрачиваются.

Как только мы отказываемся от попытки найти общее решение, которое описывало бы в едином комплексе все возможные характеристики поведения системы, сразу же исчезает различие в сложности исследования линейных и нелинейных систем. Методы моделирования, дающие частное решение для каждой отдельной совокупности условий, одинаково применимы для анализа как линейных, так и нелинейных систем.

¹ В линейных системах используется понятие «наложение». В такой системе реакция на любое возмущающее воздействие происходит независимо от предшествующих и последующих воздействий; общий результат в точности равен сумме отдельных реакций системы. Реакция на ввод в систему не зависит от того, когда он произошел, если речь идет о линейной системе с постоянными коэффициентами (но не в линейной системе с изменя-

ющимися во времени коэффициентами). В реальной линейной системе могут иметь место только колебания затухающие или постоянные по своей амплитуде; усиливающиеся же колебания в ней недопустимы, потому что они ничем не ограничены и будут возрастать до катастрофических размеров. Все это не относится к реальным промышленно-бытовым и экономическим системам. Поведение многих систем, которые нас интересуют, обусловлено нелинейными явлениями.

Устойчивые и неустойчивые. Динамические модели, в которых условия меняются во времени, могут быть разделены на устойчивые и неустойчивые, точно так же, как и реальные системы, которые они отражают, можно охарактеризовать как устойчивые или неустойчивые.

Устойчивой является такая система, которая, будучи выведена из своего исходного состояния, стремится вернуться к нему. Она может колебаться некоторое время около исходной точки, подобно обычному маятнику, приведенному в движение, но возмущения в ней со временем затухают и исчезают.

В неустойчивой системе, находящейся первоначально в состоянии покоя, возникшее возмущение усиливается, вызывая увеличение значений соответствующих переменных или их колебания с возрастающей амплитудой. В нелинейной системе, которая при обычных условиях неустойчива, могут возникнуть колебания, возрастающие до тех пор, пока их не ограничит появление нелинейных по форме воздействий (недостаток рабочей силы, производственных мощностей или же материальных ресурсов). Продолжающиеся колебания в этих условиях можно рассматривать как достигшие устойчивой амплитуды изменений от максимума до некоторого минимума. Очевидно, что в экономических системах максимальные уровни деловой активности ограничены ресурсами, а минимальные — нулевым ее значением.

Есть основания полагать, что производственно-бытовые и экономические системы, представляющие для нас наибольший интерес, часто относятся к тому типу, в котором, как в неустойчивых системах, малые возмущения усиливаются до тех пор, пока не натолкнутся на нелинейные (по форме) ограничивающие факторы.

С устойчивым или меняющимся режимом. Модели (и системы) могут далее различаться в зависимости от того, является ли их поведение по своему характеру установившимся или изменчивым.

Модель с изменчивым режимом является циклической, так что ее поведение в некоторый период времени носит тот же характер, что и в любой другой. С известной точки зрения модель неувеличивающейся национальной экономики, которая обнаруживает циклический характер деловой активности, можно считать колеблющейся в устойчивом режиме, несмотря на то что ни одна отдельно взятая последовательность событий никогда не повторяется совершенно одинаково. Точно так же при выяснении некоторых вопросов можно считать (как

это делается в настоящее время с автомашинами), что длительный период эффективной эксплуатации определенного вида изделий можно представить в форме динамической модели с устойчивым режимом. В системах, относящихся к управлению хозяйственными организациями, устойчивый режим поведения представляет собой особый частный случай. (Система, рассматриваемая в главе 2, является динамической моделью с устойчивым режимом.)

Модели с меняющимся режимом отражают такие системы, которые с течением времени изменяют свой характер. Системе, обнаруживающей признаки роста, свойственны черты неустойчивости поведения. Изменчивые реакции представляют собой однократные, неповторяющиеся явления. Многие важные проблемы управления (например, рост фирмы, строительство нового предприятия, расширение рынка) изменчивы по своему характеру.

Открытые или замкнутые. В дополнение к классификации, показанной на рис. 3-1, модели могут быть «открытыми» и «замкнутыми». Но различие между ними не столь четкое, как можно было бы судить по названиям. Модели могут быть «открытыми» в разной степени.

Замкнутой динамической моделью является модель, которая функционирует вне связи с внешними (экзогенными) переменными. В замкнутой модели изменения значений переменных во времени определяются внутренним взаимодействием самих переменных. Замкнутая модель может выявить интересное и поучительное поведение системы без ввода переменной извне¹.

Информационные системы с обратной связью по существу являются замкнутыми системами. Это самонастраивающиеся системы, и наиболее интересные их характеристики вытекают из внутренней структуры и взаимодействий, а не в порядке реакций, которые лишь отражают ввод информации извне.

Интересующие нас модели могут приводиться в действие как замкнутые системы. При этом первостепенный интерес представляют внутренние динамические взаимодействия. Мы не всегда будем отдавать предпочтение изучению строго замкнутых моделей. Часто бывает целесообразно в порядке эксперимента ввести данные извне, чтобы возбудить внутренние реакции системы. Импульсы, скачки, гармо-

¹ См. в главе 12 о вводе внешней информации в модели.

нические колебания и помехи (случайные возмущения) обычно вводятся при такого рода экспериментах. Эти внешние (экзогенные) вводы имеют смысл только при условии, если мы готовы допустить, что внешние вводы совершенно независимы от результирующей реакции внутри системы.

Модели промышленных систем. Большинство математических моделей, которые встречаются в литературе по управлению и экономике, принадлежит к одной из двух групп, отмеченных кружками на рис. 3-1. Почти все они устойчивые, линейные, с постоянным режимом. Одни — статические, другие — динамические. Такие модели при анализе экономических систем не были особо эффективными. Модели ситуаций, складывающихся в промышленном производстве и изучаемых методами исследования операций, нередко возмещали с избытком затраты на анализ, но и они не решали важнейших проблем хозяйственного руководства. Чтобы модель можно было использовать для исследования практических вопросов хозяйственного руководства и экономических проблем первостепенной важности, нужно, чтобы она включала все разновидности, перечисленные в схеме на рис. 3-1. Управление крупными фирмами имеет дело с изменчивостью условий роста и с устойчивостью нормальных колебаний хозяйственной активности и неопределенностью ее результатов.

Устойчивые промышленные системы могут иметь место в отраслях, производящих предметы широкого потребления. Неустойчивые системы, ограниченные только входящими в них нелинейными функциями, имеют, очевидно, место в производстве оборудования и предметов длительного пользования, и, пожалуй, также в отношении американской экономической системы в целом. Чтобы создать действительно эффективную модель промышленного предприятия, в нее следует включить нелинейные функции в виде ограничений производственной мощности, дефицита рабочей силы и ограниченности кредита, а также учесть зависимость решений от комплексного взаимодействия между переменными.

Поскольку время и связанные с ним изменения составляют главную заботу хозяйственного руководителя, эффективная модель должна быть динамической и способной создавать собственную эволюцию во времени.

Таким образом, речь идет о таких математических моделях, которые могут применяться для отражения последовательного во времени

действия динамических систем линейных и нелинейных, устойчивых и неустойчивых, с постоянным или меняющимся режимом. Модель должна быть пригодна для воспроизведения того, что мы называем *организационными формами, методами управления*, а также тех *явных и скрытых* факторов, которые определяют характер развития системы во времени. Эти модели слишком сложны (десятки, сотни и тысячи переменных) для аналитического решения. Ведь современная математика может аналитическими методами решать лишь самые простые задачи из области нелинейных систем. Между тем модели, рассматриваемые в данной работе, применяются для имитации определенного порядка действий, являющегося результатом определенного комплекса исходных условий в сочетании с известной комбинацией помех и иных вводов в систему. Это экспериментальный, эмпирический подход в поиске правильного понимания проблемы и, следовательно, лучших результатов, однако без гарантии нахождения «оптимальных» решений того или иного вопроса.

В науке об управлении и в экономической литературе термином «математическая модель» обычно обозначаются любые математические взаимосвязи между вводом и выводом применительно к какой-либо части системы. В терминологии, принятой для технических целей, эту реакцию на выводе части системы в ответ на один или несколько вводов называют обычно «передаточной» функцией.

Данная функция определяет, каким образом условия на вводе передаются на вывод. В данном контексте простое математическое выражение, описывающее воздействие какого-либо звена системы на другие, непосредственно к нему примыкающие, мы не будем называть «моделью», а будем передавать его одним из синонимов: «передаточная функция», «функциональная связь», «уравнение решения» или «уравнение темпа». В противоположность этому «модель» будет означать систему, состоящую из комплекса взаимодействующих «уравнений решения».

3. 2. Модели в естественных науках, технике и общественных науках

Математические модели, применяемые в естественных науках, часто сравнивают с несложными моделями из области физических наук и биологии. Это может дать повод к заблуждению.

Созданные модели солнечной системы, атома, ньютоновских законов движения, а также наследственности намного проще, чем модели, которые могут оказаться эффективными при анализе промышленных предприятий и экономических систем.

Для естественнонаучных систем чаще всего применяется анализ, основанный на допущении об их линейности. Большинство естественнонаучных систем, для которых удалось создать удачные модели, содержали в себе значительно меньше помех (неопределенности) по сравнению с нашими социальными системами. В естественных науках модели строятся на основе объяснения явлений, которые поддаются наблюдению, но обычно не подвержены изменениям. Методы установления статистических закономерностей, успешно применяемые в биологии при определении влияния косвенных причин на изменение наследственности, не обязательно окажутся эффективными при изучении социальных систем, где имеет место обратное воздействие следствия на причину.

Подход к источникам и задачам естественнонаучного и социологического моделирования был одинаков, и это нанесло ущерб развитию моделирования общественных систем.

Модели в технической и военной областях настолько отличаются от моделей естественнонаучных систем, что вполне можно говорить об их принципиальном отличии. Они создаются разными путями и служат различным целям.

Модели, применяемые в технике и военном деле, гораздо ближе к моделям в области общественных наук, чем модели систем биологических и естественнонаучных. Управление и экономика, подобно технике, имеют дело с комплексными системами гораздо более высокого порядка, чем отдельные элементарные явления, которые зачастую являются объектом моделирования в естественных науках. В отличие от обычных естественнонаучных систем технические системы по своей сложности приближаются к общественным. Как технические, так и социальные системы имеют непрерывную градацию факторов (от несомненно важных к неопределенным и далее — к совершенно незначительным) по степени их влияния на каждое отдельное действие и решение. В отличие от этого естественнонаучные системы характеризуются резким разрывом между немногими важнейшими факторами, которые включаются в состав модели, и теми почти совершенно несущественными факторами, которыми пре-

небрегают. Для социальных систем особенно характерна замкнутость контура (обратные информационные связи), которая имеет место и во многих технических системах, но не свойственна большинству моделей в основных естественных науках. В моделях социальных систем, как и в технических (в отличие от простых естественнонаучных моделей), нас должны интересовать неустановившиеся, нециклические, неповторяющиеся явления.

Динамические модели оказались необходимыми при проектировании физических систем. Они применяются в авиационной технике, в проектировании управляющих систем для военных целей и при изучении сетей связи. Они включают людей и технику, поэтому они приобретают аспект социальных систем. Современную передовую технику невозможно было бы создать без знаний, полученных на основе математического моделирования.

О влиянии математических моделей на решения в области экономики и управления предприятиями этого сказать нельзя. Хотя моделирование в экономических исследованиях применяется уже давно, оно не пользуется общим признанием в качестве инструмента, помогающего хозяйственному руководству предприятия или целой страны.

Многие из неудач в построении экономических моделей могут быть объяснены ошибочными методами и попытками решить невыполнимые задачи. Нам необходим новый подход к построению и применению моделей социальных систем.

Цели. Вышеназванный контраст в отношении эффективности динамических моделей в технике и в экономике может быть частично объяснен характером использования средств построения моделей. Особенности применения моделей в этих областях вытекают, по-видимому, из различий в подходе к их конечным целям. В технике модели используются для *проектирования* новых систем, в экономике же они обычно применяются для *объяснения* систем уже существующих. Но оказывается, что в моделях, созданных исключительно для объяснения, ставились столь ограниченные задачи, что эти модели оказывались непригодными не только для проектирования, но даже для объяснения моделируемых явлений.

Основа модели. Модели технических систем строятся на основе данных об отдельных составных частях этих систем. Проектирование модели системы в восходящем порядке, отправляясь от строго определенных и наблюдаемых

ее элементов, — эффективный метод, многократно и успешно применявшийся в прошлом.

В экономике модели нередко создавались в обратном порядке, исходя из суммарных результатов действия всей системы. Даже если ставить чисто теоретические задачи, нет никаких оснований полагать, будто такой обратный процесс построения модели (отправляясь от поведения системы в целом и переходя к характеристике отдельных ее частей) может дать положительные результаты в применении к усложненным системам с большим количеством помех, которые встречаются в экономике и управлении предприятиями.

Попытка воспроизвести существующую экономическую систему приводит к созданию моделей, представляющих собой результат статистической обработки данных о прошлом поведении системы в течение изученных периодов времени. Весьма маловероятно, что внутренние причинные механизмы сложной нелинейной информационной системы с обратной связью могут быть объяснены на основе ряда внешних наблюдений за обычными действиями данной системы. В противоположность этому использование моделей для проектирования физических систем переносит центр тяжести на модели систем, еще не существующих, но могущих быть созданными на основе уже наблюдаемых результатов. Модель самолета, испытываемая в динамической трубе, не строится для того только, чтобы воспроизвести наблюдавшееся ранее поведение уже известного типа летательного аппарата; она не создается также, чтобы воспроизвести некоторое подобие среднего арифметического всех сконструированных ранее самолетов. Она строится для каждой части отдельно с тем, чтобы так отразить испытываемый новый самолет, чтобы можно было с помощью модели изучить взаимодействие всех частей и летные качества самолета как единого целого.

Создавая модель системы, мы должны меньше полагаться на статистические и формальные данные, а полней использовать обширный запас описательной информации.

Оценка модели. Проверка адекватности модели также различна в зависимости от того, применяется ли она в технике или в экономике. В технической и военной областях модель оценивается ее способностью отражать такие динамические характеристики систем, как усиление, ширина поля допуска и чувствительность к меняющимся условиям. В экономике модели часто оценивались в зависимости от того, насколько с их помощью можно было

предсказать *специфическое состояние* системы в некоторый будущий момент времени, и модели обычно не выдерживали испытаний на точность прогноза.

При создании моделей нам следовало бы меньше уделять внимания предсказанию *определенных действий* в будущем и больше — углублению понимания *характеристик*, внутренне присущих системе. Существуют, как нам кажется, серьезные причины, не позволяющие использовать модели для прогноза специфического состояния системы на достаточно длительное время, чтобы это могло иметь практическое значение. Но если это так, то точность прогноза специфической последовательности действий не является целесообразным моментом в испытании моделей.

Вместо этого модель следовало бы оценивать по ее способности воспроизводить или предсказывать *характеристики поведения* системы — устойчивость, колебания, рост, средний период колебаний, общие взаимосвязи переменных, изменяющихся во времени, и тенденцию к усилению или ослаблению возмущений, вызванных внешними причинами.

Подобие моделей и систем. В технике математические модели в большей мере соответствуют отражаемым реальным системам в отношении деталей структуры и действий, чем в классических экономических моделях. Барьер непонимания, отделяющий математические модели общественных наук от руководящего персонала промышленных предприятий и государственных учреждений, был почти непреодолимым. Это обстоятельство усугубляется тем, что модели социальных систем в отличие от моделей физических систем описываются в терминах, не принятых в данной области. Расхождения в терминологии могут возникнуть из различия исходных точек зрения. Администратор имеет дело с отдельными частями своей организации, совершенно аналогично тому, как инженер — с деталями своего самолета; при этом администратор не пользуется абстрактными коэффициентами, которые нельзя приурочить к конкретным источникам в реальной системе. Проектировщик же модели, выявляющий взаимосвязи путем статистического анализа, может оперировать своими коэффициентами как абстрактными эмпирическими результатами, которые не совпадают с определенными признаками реальной системы.

В последующих главах мы попытаемся придать каждой переменной и каждой константе конкретный смысл, соответствующий повсе-

дневной практике управления. Поскольку каждая константа по своему существу будет иметь физический или логический смысл, можно будет судить о ее соответствии реальности.

3. 3. Модели для контрольных опытов

Математические модели позволяют ставить контрольные опыты. Таким путем можно проверять результаты различных допущений и влияния внешних факторов. В отличие от реальной системы модель позволяет наблюдать результаты изменения одного фактора при неизменности всех прочих.

Такое экспериментирование создает возможность более глубокого рассмотрения характеристик моделируемой системы. Используя модель сложной системы, можно больше узнать о внутренних взаимодействиях, чем при манипулировании реальной системой. Ведь по своему содержанию модель дает возможность более полно выявить организационную структуру системы, ее образ действий, ее чувствительность к различным событиям. А в формальном отношении это позволяет наблюдать влияние гораздо более широкого круга обстоятельств, чем это возможно в реальной жизни.

На модели можно производить наблюдения таких переменных, которые не поддаются учету в реальной системе. Адекватная модель должна включать любые «неуловимые» факторы, которые, по нашему убеждению, существенно влияют на поведение системы. Неуловимые в реальной действительности факторы и наши допущения о них в модели становятся осязаемыми и поддаются наблюдению. Таким путем мы получаем возможность проследить последствия наших допущений.

3. 4. Механизация модели

Динамическая математическая модель дает описание возникновения действий, которые должны сменять друг друга в известной последовательности. Чтобы модель была эффективной, ее следует механизировать, а для этого нужно установить определенный способ выполнения необходимых действий.

Действия, предусмотренные в модели, могли бы выполняться группой людей, олицетворяющих отдельные части имитируемой реальной системы. Их решения и действия приводили бы к определенным результатам, которые в свою очередь являлись бы отправными данными для

последующих решений и действий. Такая имитация с привлечением группы людей использовалась при изучении реальных систем. Это хороший способ показа основных принципов действия системы учащимся в аудитории. Но при исследовании больших систем он обременителен и является дорогостоящим.

Для выполнения тех же операций вместо группы людей можно использовать цифровую вычислительную машину. Затраты составят меньше тысячной доли стоимости тех же вычислительных операций, выполняемых группой людей. Такого рода задача наиболее подходит к уникальным характеристикам цифровой электронной машины.

3. 5. Область применения моделей

В недавние годы стало возможным создавать динамические модели поведения предприятий, достаточно полно отражающие взаимодействие между производством, сбытом, рекламой, исследовательскими работами, капиталовложениями и потребительским спросом. При такой постановке вопроса в модель могут быть включены как материальные, так и психологические факторы.

В наши дни техника построения моделей и стоимость вычислений уже не ограничивают круг систем, доступных для изучения. Теперь прогресс будет определяться темпами расширения и уточнения наших знаний о промышленных предприятиях.

Непосредственная задача сейчас состоит в том, чтобы обратиться к нашей литературе и науке об «описательном управлении» и «описательной экономике» и формализовать наши представления об отдельных составных частях той и другой. Это даст возможность улучшить наше понимание взаимодействия частей. При исследовании построения динамических моделей в данной работе не делается никакого различия между фирмами, предприятиями и экономикой в целом, ибо различия в подходе или производственные разграничения между микроэкономикой и макроэкономикой, на наш взгляд, неправильны. Такими принципами мы руководствуемся во всех случаях. Одинаковые теоретические соображения будут определять в нашем анализе и способы агрегирования показателей. Возможности совершенствования наших знаний в обоих случаях имеют те же ограничения в отношении выполнимости задач. Поэтому соображения, излагаемые в данной книге, в одинаковой степени применимы для всех

хозяйственных единиц — от динамического поведения отдельной фирмы до мировой экономики.

3. 6. Задачи применения математических моделей

Математическая модель промышленного предприятия должна способствовать пониманию последнего. Она должна также быть полезным руководящим началом для правильных суждений и интуитивных решений. Она должна помогать в установлении желательного образа действий. Использование модели предполагает, что

- мы располагаем известным знанием частных характеристик системы;

- эти известные и предполагаемые факты в их взаимодействии влияют на характер развития системы;

- наша способность интуитивно представлять взаимодействие частей менее надежна, чем наши знания о каждой из них;

- построив модель и наблюдая на ней взаимодействие различных факторов, мы сможем лучше понять анализируемую систему.

Эти допущения составляют ту же основу, на которой мы строим модели планировок и оборудования. Модель фирмы будет оправдана постольку, поскольку она позволит улучшить управление фирмой. Это не значит, что результаты должны быть совершенными, чтобы модель оказалась эффективной. Модель может принести пользу при определении степени чувствительности производственной системы к изменениям ее образа действий или структуры. Она может помочь в определении относительной ценности информации, отличающейся по своему характеру, точности и своевременности. Она может показать, насколько система усиливает или ослабляет возмущения, вызванные воздействием окружающей среды. Это инструмент выявления уязвимости системы под воздействием колебаний, чрезмерного расширения или спада. Модель может указать способ действия, который позволит улучшить ее характеристики. Одним словом, математические модели должны служить орудием «организации предприятия», то есть проектирования таких промышленных организаций, которые наилучшим образом отвечают своему назначению.

Из вышеприведенных соображений следует, что эффективная модель реальной системы должна выражать *сущность* системы; она должна показывать, каким образом изменения образа

действий или структуры системы приводят к улучшению или ухудшению ее поведения. На модель возлагается задача выявления различных видов внешних возмущений, к которым система чувствительна. Она должна служить руководством в деле повышения эффективности управления.

Однако необходимо особо подчеркнуть, что предсказание *определенных событий в определенном будущий момент времени* не входит в задачу модели. Часто ошибочно полагают, что эффективная динамическая модель должна предсказывать конкретное состояние системы в какой-то будущий момент времени¹. Это может быть желательным, но при оценке эффективности моделей не следует исходить из их способности предсказывать будущие конкретные действия. Такая позиция будет более благоразумной, поскольку имеются достаточные основания считать, что такие предсказания не будут достигнуты в пределах обозримого будущего.

3. 7. Источники информации для построения модели

Многие не признают потенциальной пользы моделей деятельности предприятий, основываясь на том, что у нас нет достаточных данных для моделирования. Они уверены, что первым шагом должен быть широкий сбор статистических сведений. Верно же как раз обратное.

Мы обычно приступаем к делу, уже будучи вооружены достаточной описательной информацией, чтобы начать строить весьма эффективную модель. Нужно начинать именно с моделирования. И одним из первых применений модели должно быть установление того, какие фактические данные следует собирать. Бесспорно, что сбор сведений — операция весьма трудоемкая и, вместе с тем, ценность этих данных гораздо ниже затрат на их получение. В то же время наиболее существенная и легкодоступная информация обычно не выявляется и не используется.

Канторская работа по собиранию цифрового материала едва ли пригодна для выявления новых понятий и неизвестных ранее, но важных переменных. Широкий сбор данных сам по себе не может дать представление об *общем*

¹ Периодическое определение различия между переменными в модели и в реальной системе методом наименьших квадратов предполагает, что модель сможет предсказывать конкретную форму системы в будущем.

характере изучаемых переменных. Более того, некоторые наиболее важные источники информации, необходимые для построения динамической модели, вообще не существуют в обычном смысле слова, то есть в виде статистических таблиц.

Каково относительное значение различных переменных? Насколько точной должна быть необходимая информация? Какими будут последствия использования ошибочных данных? На эти вопросы следует ответить прежде, чем затрачивать большие средства и много времени на сбор данных.

Фактически мы постоянно пользуемся моделями фирм и экономических систем на базе данных, имеющих под рукой. Словесное отображение или описание есть модель; наше мысленное представление о том, как функционирует организация, — тоже модель. Словесная модель и математическая модель очень близки друг к другу. Обе являются абстрактными описаниями реальных систем. Математическая модель более упорядоченна, ибо для нее характерно стремление к устранению неясностей и противоречий, которые могут быть в словесном описании. Математическая модель более «точна». Под точностью подразумевается «конкретность», «четкость», «отсутствие расплывчатости». Математическая модель не обязательно более «правильна», чем словесная, если под правильностью понимать степень соответствия реальному положению вещей. Математическая модель могла бы «точно» представлять наше словесное описание и все же быть совершенно «неправильной».

Ценность математической модели во многом связана с ее «точностью», а не с ее «правильностью». Само построение математической модели заставляет нас быть точными. Оно требует конкретного определения того, что именно мы имеем в виду. Построение модели не связано тем или иным образом с правильностью того, что точно установлено.

Распространенное мнение, будто математическая модель не может быть построена до тех пор, пока не будут полностью известны каждая константа и функциональная зависимость, представляется недоразумением. Оно часто ведет к пренебрежению весьма важными факторами (большинством «неуловимых» влияний, определяющих выбор решения) на том основании, что они не учтены или не поддаются учету. Пренебрежение такими переменными равносильно сведению их влияния на выбор решения к нулю, что является заведомо ошибочным.

При отборе данных и оценке их достоверности надо исходить из особенностей уже обсуждавшихся объектов и целей моделирования.

Если единственно полезной и приемлемой моделью является та, которая полностью объясняет реальную систему и предсказывает ее конкретное состояние в будущем, тогда недостаточно обеспечить точность модели, а нужно, чтобы она была правильной. При отсутствии такой правильности моделирование становится малоэффективным.

Если же задача состоит в том, чтобы углубить понимание изучаемой системы, модель может быть эффективной и в том случае, если она отражает только то, что мы считаем сущностью изучаемой системы. Такая модель придает точность нашему мышлению; неопределенность подлежит устранению в процессе построения математической модели; мы получаем возможность решить вопрос об относительной важности различных факторов и обнаружить несоответствия в наших исходных положениях. Нередко оказывается, что наши допущения, касающиеся отдельных компонентов системы, не могут привести к ожидаемым последствиям. Наша словесная модель, будучи преобразована в точную математическую форму, может оказаться не соответствующей *качественной* природе реального мира. Мы можем убедиться, что никакой правдоподобной комбинацией допущений нельзя оправдать наших излюбленных предрассудков. На каждой такой ошибке мы учимся.

Таким образом, мы пользуемся моделью так же, как инженер или военный стратег. Каково было бы положение, если бы реальная система соответствовала нашим отправным допущениям? Какой была бы *предполагаемая* система, если бы мы создавали ее согласно модели? Какие изменения в модели могли бы приблизить ее к характеристикам той существующей системы, которую она призвана отразить? Такие вопросы можно задать по отношению к замкнутой модели (или стремящейся к замкнутой), они особенно важны в том случае, когда речь идет о системе столь сложной, что правильные ответы не могут быть получены путем ее простого рассмотрения.

Модель прежде всего должна иметь структуру, то есть определенный порядок внутренних взаимосвязей. Допущения относительно структуры должны быть сделаны раньше, чем мы начнем собирать данные о реальной системе. Имея структуру, соответствующую нашим описательным знаниям о системе, мы можем

сделать следующий шаг и придать коэффициентам реальные числовые значения, поскольку коэффициенты должны отражать строго определенные характеристики реальной системы. Затем можно приступить к изменениям модели и реальной системы, чтобы ликвидировать их несоответствия и приблизить к желательному уровню эффективности.

Такова позиция руководителя по отношению к словесному описанию, которое он использует в качестве модели управляемой им фирмы. Он стремится уяснить, какое значение имеют для него наблюдаемые факторы, пытается связать отдельные формы поведения и характеристики системы с вытекающими из них следствиями, пробует дать оценку результатам изменения тех частей системы, которые находятся под его управлением.

На определенной ступени детализации модели для ее приближения к реальной или предполагаемой системе можно использовать саму модель для изучения значения различных допущений, на которых она построена. Для каждого числового значения, по необходимости принятого нами произвольно, существуют известные пределы, между которыми лежит истинное значение величины. Часто приходится наблюдать случаи, когда модель сравнительно нечувствительна к изменениям значений в этих пределах; при этом, по-видимому, нецелесообразно уточнять принятую приблизительную оценку¹.

С другой стороны, общее качественное поведение системы может в значительной мере зависеть от принятых нами численных значений. В этих случаях надо помнить, что принятые допущения представляют некоторый риск. При выявлении чувствительности модели к ошибкам в численных значениях коэффициентов нужно выбирать между:

- измерением соответствующих величин с достаточной точностью;
- регулированием установленной величины в требуемых пределах;
- перестройкой системы и модели, чтобы сделать влияние величины менее существенным.

Математическая модель должна основываться на самой достоверной информации, какая только может быть получена в данный момент, но построение модели не следует откладывать до тех пор, пока будут точно измерены

все связанные с ней параметры. Так можно ждать бесконечно. Величины следует устанавливать там, где это необходимо, с тем чтобы можно было продвигаться вперед в изучении многих вопросов, а тем временем будет осуществляться сбор данных. Заметим, что достаточная информация имеется в описательных сведениях, накопленных практиками в области управления и экономики, которые могут помочь создателю модели в его первоначальных усилиях. По мере исследования он убедится, что гораздо большую опасность представляет недооценка важных переменных и невнимание к ним, чем недостаток информации, когда он уже выявлен и определен. Специалист, хорошо знающий решающие моменты в динамике системы, может выявить гораздо более полезную информацию, чем получаемая обычно в отчетных данных.

Эти замечания не преследуют цели свести на нет целесообразность использования доступных сведений или проведения измерений, которые представляются оправданными; они лишь подвергают сомнению общепринятое мнение, будто учет фактических данных является первым и самым главным шагом в построении модели. Известное изречение, что «мы понимаем познающему только в той мере, в которой можем измерить», остается полностью в силе. Но, прежде чем измерять, мы должны четко обозначить свой объект, определить его размерность, а чтобы действовать эффективно, нужно иметь известную цель познания. Даже при проведении фундаментальных исследований, в которых поиск информации считается самоцелью, мы все же располагаем ограниченными ресурсами, а потому исследователь должен быть убежден, что его поиск обещает с высокой степенью вероятности дать важные результаты.

Такое отношение к данным, составляющим основу построения модели, некоторыми будет сочтено поверхностным и неприемлемым. Но другим это покажется трезвым и правильным подходом к решению трудной проблемы.

Одно из важных применений модели состоит в исследовании поведения системы вне нормальных исторических границ ее функционирования. Эти границы лежат вне области любых данных, которые могли бы быть накоплены за предыдущий период. При определении реакции отдельных частей системы на новые явления многое зависит от нашего понимания внутреннего характера этих частей. К счастью, это обычно возможно. В самом деле, мы можем с большей уверенностью судить о крайних ограни-

¹ См. рис. 2-6.

чивающих обстоятельствах, определяющих поведение человека, его вероятные решения, а также технологический характер продукции или уровень запасов, чем о том, каковы «нормальные» границы поведения системы в целом. Эти частные ограничительные условия входят в состав наших описательных знаний. Включение же возможных границ всех функциональных взаимоотношений в состав модели позволяет изучить действие системы в более широких пределах. Оно улучшает также отражение моделью нормальных границ, поскольку включение установленных экстремальных значений

помогает ограничить и определить многие характеристики системы в нормальных границах ее действия.

Модели, построенные указанным выше способом — исходя из характеристик отдельных составных элементов с включением и оценкой значений всех факторов, которые являются достаточно важными по данным нашего описательного знакомства с системой, — могут дать полезные результаты. Они легко доступны для руководителя-практика, так как основаны на источниках и терминологии, которые знакомы ему из его личного опыта.

ПРИНЦИПЫ ФОРМУЛИРОВКИ МОДЕЛЕЙ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Построению модели предшествует выявление вопросов, на которые надо получить ответы. Модель должна отражать замкнутый контур, свойственный структуре системы. Должны быть правильно представлены запаздывания, усиления и искажения информации. Все константы и переменные в модели могут и должны быть отражениями соответствующих величин и категорий реальной системы. Размерность величин в модели должна быть тщательно согласованной. Предпочтительно начинать с построения модели с детерминированной (нестохастической) структурой решений, а затем включать в нее элементы случайности и периодические колебания. При построении модели не следует предполагать, что система заведомо линейна и устойчива.

Прежде чем углубляться в специфические особенности уравнений и соответствующие математические построения динамической модели, рассмотрим некоторые общие принципы, которыми следует руководствоваться при создании модели промышленно-сбытовой системы.

4. 1. Что включать в модель?

Практически не может быть *единой* модели социальной системы, подобно тому как не существует *единой* модели самолета.

Для испытаний самолета в аэродинамической трубе создаются *несколько* аэродинамических моделей для разных целей плюс макет устройства кабины, модели для имитации максимальных нагрузок и т. д. При разработке динамической модели для имитации фирмы или экономической системы выбор факторов, подлежащих включению в модель, обусловлен непосредственно теми вопросами, на которые должен быть дан ответ.

При отсутствии всеобъемлющей модели должны применяться различные модели для разных категорий вопросов относительно одной и той же системы. И при исследовании каждого нового вопроса соответствующая конкретная модель подлежит изменению и расширению.

Квалификация исследователя, приступающего к использованию модели, тотчас же проверяется тем, насколько существенны вопросы, которые он ставит, имея в виду получить важные ответы. Тривиальные же вопросы могут привести лишь к тривиальным ответам. Вопросы слиш-

ком общего характера — например, о том, как добиться наилучших результатов, — непригодны для уточнения направления исследования. Слишком узкие вопросы могут направить исследование в столь ограниченную область, в которой нельзя добиться существенного результата. Наконец, вопросы, вообще не поддающиеся решению, способны породить лишь разочарование.

Вопросы, на которые нужно ответить, определяют содержание модели. Но каким образом? Здесь снова нужна проницательность и трезвость суждений исследователя. Он должен отобрать, основываясь на своем знании существа дела, те факторы, которые ему представляются существенными. Важны навыки и опыт в изучении динамического поведения систем. То, что новичку представляется крайне важным, может на самом деле оказаться совершенно несущественным. Некоторые факторы, которым при статическом анализе уделяется особое внимание, могут вообще не фигурировать в качестве существенных элементов в динамической модели. Факторы, сплошь и рядом опускаемые при статическом анализе и в обычном описательном обсуждении проблемы, могут оказаться решающими. Здесь снова на сцену выступает «искусство» как руководящее начало в правильном использовании инструментария научного исследования. В данный момент мы вынуждены довольствоваться обсуждением общих принципов, но в дальнейшем мы приведем некоторые характерные примеры, которые помогут начинающему исследователю постепенно выработать навыки моделирования.

Поскольку задача состоит в том, чтобы включить в модель факторы, влияющие на искомый ответ, нельзя ограничить базу построения модели какой-либо узкой научной дисциплиной. Мы должны располагать возможностью включать в модель технические, правовые, организационные, экономические, психологические, трудовые, денежные и исторические факторы. Все они должны найти надлежащее место при определении взаимодействий составных частей системы.

При построении количественной модели в нее следует смело включать все те стороны системы, которые имеют, по нашему мнению, существенное значение при словесном описании изучаемых явлений. В прошлом, когда математические модели были ограничены поиском аналитических решений, они не могли охватить весь тот объем представлений, который содержится в нашем описательном знании. Имитирующие модели и вычислительные машины изменили это положение.

Как правило, наиболее важные модели, отвечающие запросам общего хозяйственного руководства, включают от 30 до 3000 переменных. Нижний предел близок к тому минимуму, который отражает основные типы поведения системы, интересующие руководителя; верхний же предел будет в течение некоторого времени ограничивать наши возможности исследования системы и ее существенных взаимосвязей. Уже проведено несколько поисковых исследований на моделях, отражающих процесс развития как в установившихся, так и в неустойчивых условиях и охватывающих до нескольких сотен переменных.

4. 2. Информация в моделях с обратной связью

Экономическая и промышленно-сбытовая деятельность представляет собой замкнутую информационную систему с обратной связью. Модели таких систем должны сохранять замкнутый контур, в условиях которого создается так много интересных моментов в поведении системы.

В информационной системе с обратной связью те или иные явления порождают информацию, которая служит основой для решений, управляющих действиями, направленными на изменение этих явлений. Цикл непрерывен. Мы не можем определенно говорить о каком-то начале или конце цепи. Это замкнутый контур.

Данное общее определение охватывает большинство действий отдельных индивидов, а также

проявлений общественной и технической деятельности. Экономический цикл есть одно из проявлений изменяющихся во времени взаимодействий, которые происходят в контурах систем с обратной связью. На уровне отдельной фирмы увеличение продаж, превышающее производственную мощность предприятия, порождает планы расширения производства, что восстанавливает равновесие между спросом и объемом выпуска продукции. Сокращение же сбыта и рост запасов могут вызвать активизацию мероприятий по расширению рынка, чтобы увеличить продажи до уровня производства.

Необходимость совершенствования продукции вызывает затраты на исследования, технический прогресс, развитие конкуренции, порождая потребность в дальнейшем обновлении изделий и в еще более широких исследованиях. Все эти, как и другие решения в области управления, принимаются в рамках информационной системы с обратной связью, когда решение в конечном счете воздействует на среду, которая его вызывает.

Общее представление об информационной системе с обратной связью важно потому, что оно характеризует поведение системы в целом, которое не может быть выяснено рассмотрением отдельных ее частей. Схема взаимосвязей в системе, усиления, вызванные решениями и правилами поведения, запаздывания действий, а также искажения информации — все это, вместе взятое, определяет устойчивость системы и ее развитие¹. Как мы видели в главе 2, сочетание самых обычных действий фирмы может вызвать колебания в производстве, занятости рабочих и в использовании мощностей. Поскольку одно действие порождает другое и так далее и может вновь вернуться к первому, это порождает неустойчивость, которая характерна для обтекающих устройств в регулирующих механизмах. Надо очень тщательно подхо-

¹ Мы здесь не имеем дела с простой категорией сервомеханизма, о котором в технической литературе часто говорится как об обладающем единственной «функцией ошибки» (разность фактических и требуемых результатов) и лишь одним механизмом регулирования. В отличие от этого наши экономические системы характеризуются «функциями распределения ошибки», представленными индивидуальными целями многих участвующих лиц. Функция регулирования также раздроблена и представлена частично в каждом из пунктов решений в структуре системы. Общая теория сервомеханизмов едва ли может быть прямо использована в экономических моделях, но представляет собой вполне надежную основу для ориентации при выборе факторов, подлежащих включению в такие модели.

доть к правильному отражению запаздываний, искажений информации и факторов, определяющих решения.

Временные зависимости. Поведение информационных систем с обратной связью тесно связано с временной последовательностью во взаимоотношениях между разными действиями в системе. Запаздывания возникают на каждой стадии деятельности системы — при принятии решений, в процессах транспортировки, при усреднении данных, а также в форме всякого рода запасов и остатков материальных ценностей.

Переменные величины такого рода накопления должны быть тщательно зафиксированы и представлены в модели, если соответствующие интервалы времени являются существенными. В пунктах этих накоплений могут возникать или преднамеренно создаваться запаздывания между темпами потоков на входе и выходе. Основное назначение материальных запасов состоит в некотором разобщении темпов этих потоков во избежание необходимости обеспечить точное соответствие в каждый данный момент между поступлением товаров и темпами их отпуска. Уровень запасов колеблется в зависимости от разности темпов потоков.

Мы должны предусмотреть резервуары в каналах движения информации и заказов совершенно так же, как и в потоках материальных ценностей. Такие резервуары будут включать задолженность по невыполненным заказам, заказы в пути, отправленные почтой, принятые и еще не выполненные решения, собранные и обработанные, но еще не использованные сведения. Резервуары материальных ценностей содержат незавершенное производство, запасы готовой продукции и товары в пути. Резервуары в денежном потоке отражают банковскую наличность и полученные ссуды¹. Резервуары в потоках людей охватывают всех работающих, различные категории не имеющих работы, а также потребителей и акционеров. Резервуары основных средств включают производственные сооружения и оборудование, разделенные, если нужно, по сроку службы, типу, производительности и долговечности.

Хотя запаздывания очень важны и наши системы не могли бы отразить без запаздываний свойственные им тенденции неустойчивости, тем не менее совершенно неправильно считать, что *все* запаздывания в системе вредны. Также неверно, будто практический путь совершенствования системы всегда состоит в сокращении запаздываний¹.

Метод построения модели и типы используемых уравнений дают возможность отразить запаздывания либо по их средней продолжительности, либо по их текущим значениям, в полном соответствии с тем, как мы представляем себе возникновение запаздываний на практике². Ни интервал решений в уравнениях, образующих модель, ни интервалы, в течение которых может быть выполнен сбор данных в реальной системе, не должны играть определяющей роли при установлении запаздываний в модели.

Усиление. Усиление — самое важное свойство, определяющее поведение информационных систем с обратной связью. Термин «усиление» используется здесь не в качестве технического, а подразумевает большую реакцию той или иной части системы, чем это оправдывается на первый взгляд вызвавшими ее причинами. Например, мы часто наблюдаем, что колебания темпов производства на заводе значительно превосходят величину изменений в темпах розничных продаж.

Усиление встречается во многих областях рассматриваемой социальной системы. Оно возникает, как это будет показано ниже, как результат определенных правил принятия решений, регулирующих темпы потоков. Образ действий и результирующие решения должны быть тщательно изучены, поскольку они являются источником усиления в социальных системах.

Усиление возникает во многих местах. Заказы на товары не только воспроизводят темп продаж: в дополнение к этому выдаются заказы для увеличения товарных запасов, для заполнения каналов товародвижения и для спекуляции. Усиление возникает при использовании многих методов прогнозирования и предвидения, например когда экстраполяция прежнего роста темпов ведет к чрезмерным капиталовложениям для увеличения производственных мощностей. Усиление вызывается также тенден-

¹ Во многих случаях они будут рассматриваться скорее как информация, чем как деньги. Счета к получению и к оплате, а также счета, расчеты по приобретению и амортизации основных средств обычно не представляют собой денег в смысле потока денежных знаков и обыкновенно фигурируют в каналах информационных потоков.

¹ См. рис. 2-6, где увеличение запаздывания при регулировании запасов уменьшает колебания в объеме производства.

² См. главу 8.

цией заказывать заблаговременно в случаях замедления поставок¹. Выдача заказов на будущее время в периоды повышения цен и поддержка заказов при их снижении тоже порождают явления усиления. Все это имеет важнейшее значение в отражении факторов, регулирующих развитие и устойчивость промышленно-бытовой системы.

Искажение информации. Информация является вводом для принятия решений, и потому решения подвержены влиянию всех факторов, которые воздействуют на потоки информации. Она может быть искажена не только запаздываниями и усилением. Информация изменяется при усреднении и суммировании сведений об отдельных операциях для получения сводных данных, используемых руководством при принятии решения. Информация по-разному интерпретируется различными людьми и организациями. Предубеждения, прежний опыт, добросовестность, надежды и внутренняя обстановка организации — все это ведет к нарушениям потоков информации. Информация содержит в себе ошибки и случайные шумы, а также невыявленные возмущения, источники которых лежат вне системы.

Так как информация является своего рода сырьем при выработке решений, ее искажение должно учитываться в модели, чтобы правильно представить принятие решений. Особое внимание следует уделить тому, какая информация практически доступна и применяется в каждом пункте системы, потому что значительная часть информации недоступна, а немалая ее доля, практически доступная, не используется, причем часто применяется не наиболее полезная информация.

4. 3. Соответствие между переменными в модели и реальной системе

При правильном построении динамической имитирующей модели ее переменные должны соответствовать переменным отражаемой системы. Переменные в модели должны измеряться в тех же единицах, что и реальные переменные. На первый взгляд это может показаться очевидным и элементарным, но данный принцип чаще всего нарушается при построении моделей.

Достаточно полное соответствие между переменными модели и реальной системы достигается только при строгой и многократной проверке,

насколько адекватно представлены функциями решений действительно существующие в системе правила принятия решений.

Потоки товаров должны измеряться натуральными, а не денежными единицами. Потоки денежных средств следует выделять особо. Цены связывают те и другие показатели. Товары не могут быть представлены в виде соответствующей суммы денег, иначе мы не уловим значения цен и того факта, что движение денег не синхронно движению товаров (как правило, первое происходит с некоторым запаздыванием по отношению ко второму). Заказы на товары не суть товары, товары отгруженные не равнозначны счетам к получению, а последние вовсе не то же самое, что деньги. Мы иногда встречаем системы уравнений, основанные на стоимостных показателях, как будто холодильники изготавливаются из банкнот, а не создаются трудом из материалов *при* помощи уже имеющихся орудий производства. Сосредоточение внимания на денежном потоке с применением денежных эквивалентов труда и материалов (при полном упущении информации как самостоятельной величины) во многих попытках анализа промышленно-бытовых систем искажало их характер.

Между фактическими переменными реальной системы существуют определенные взаимосвязи временной последовательности. Они должны быть представлены в нашем анализе, поскольку в нем надо отобразить истинное динамическое поведение информационной системы с обратной связью. Например, спрос (информация) ведет к сокращению запасов, что вызывает строительство (поток материалов и труда), которое увеличивает производственную мощность (средства производства), а это в свою очередь требует увеличения амортизационных отчислений (денежный поток).

Мы должны различать «фактические» и «требуемые» количества, а также «истинные» значения переменной в отличие от тех, которые доступна информация дает нам как «зафиксированные» ее значения.

В модели экономической системы следует использовать фактические цены, выраженные в деньгах, а не приведенные, то есть умноженные на некоторый индекс. Фактические цены и их колебания вызывают важные психологические последствия, например при установлении величины заработной платы. Изменения цен не вызывали бы иллюзий, если бы цены определялись в долларах постоянной покупательной способности.

¹ Как это видно на рис. 2-4.

Во многих моделях придется иметь дело в отдельности с продолжительностью рабочей недели, численностью работающих, часовой производительностью труда и часовой ставкой заработной платы; причем все эти величины могут быть взаимодействующими переменными в системе. Каждой из них присущи свои нелинейности и ограничения, которые должны учитываться при принятии решений об изменениях объема производства.

Усилия, направленные на достижение соответствия между переменными модели и реальной системы, будут вознаграждены во многих отношениях. Особенно важные запаздывания создаются в системе в пунктах встречи потоков, как-то: потоков заказов и товаров, рабочей силы и результатов исследований, планов и производства. Чем в большей степени переменные модели соответствуют реальным условиям, тем шире возможности непосредственного использования обширного багажа наших описательных знаний. Четкость отражения переменных реальной системы сделает нас более чувствительными к тем взаимосвязям между ними, которые должны быть учтены в модели.

4. 4. Единицы измерения в уравнениях

При составлении уравнений особое внимание следует уделять правильной размерности для каждого из членов уравнения. Размерный анализ играет важную роль в правильном составлении уравнений в технических и естественных науках. Несовместимость (противоречивость) единиц измерения часто свидетельствует о неверном составлении уравнения. Размерность всех переменных и констант следует точно установить и проверять на совместимость в каждом применяемом уравнении. Невнимательность к этой стороне дела нередко может привести к недопустимой путанице.

Особо следует предостеречь против произвольного введения в уравнения коэффициентов, предназначенных *только* для того, чтобы соблюсти размерность. Каждый коэффициент должен появляться в уравнении лишь тогда, когда он имеет самостоятельный смысл, только после этого надо проверять размерность членов уравнения на их совместимость. Построение модели должно быть объектом проверки, пока не будет доказано, что каждый коэффициент и применяемые единицы измерения могут быть обоснованы по их индивидуальному смыслу и что они выражены в такой форме, при которой соответствующие конкретные величины могут рассматривать-

ся в органической связи со всей практикой промышленно-сбытовой деятельности, которую отображает данное уравнение. Все сказанное может показаться весьма простым и очевидным, но для начинающего здесь скрыта одна из самых коварных ловушек.

4. 5. Непрерывные потоки

При построении модели промышленно-сбытовой системы мы предполагаем, что ее основой — по крайней мере вначале — являются непрерывные потоки и взаимодействия переменных¹. Дискретность событий может быть учтена при анализе информационных систем с обратной связью, но необходимо быть начеку в отношении возможности ненужного загромождения нашей модели деталями отдельных событий, что только затемняет динамичность и непрерывность, проявляемые промышленно-сбытовыми системами.

На первых стадиях решения следует формулировать модели так, как если бы в них имела место непрерывная (но не обязательно мгновенная) реакция на те факторы, которые лежат в ее основе. Это означает, что решения не предусматривают последующих пересмотров или корректировок каждую неделю, месяц или год. Например, производственная мощность предприятия изменяется непрерывно, а не путем дискретных расширений. Выдача заказов происходит непрерывно, а не однажды в месяц — после инвентаризации наличных запасов.

Есть основания начинать анализ с построения непрерывной модели по следующим мотивам:

— Реальные системы гораздо ближе к непрерывным, чем обычно полагают. Можно составить годовой бюджет расходов предприятия, но под влиянием новых условий в него придется вносить коррективы. Даже заключение отдельного договора, которое может показаться дискретным шагом, обычно предшествует период переговоров с непрерывно возрастающим ожиданием заключения соглашения и принятием мер по подготовке к выполнению вытекающих из него обязательств. Подписание договора сопровождается дальнейшими действиями по его отражению в текущих планах. Что касается производственных мощностей, то

¹ Здесь понятия «непрерывные» и «прерывные» относятся не к обычному различию между дифференциальными и разностными уравнениями, а к существу словесного описания отображаемых явлений.

функционирующее предприятие будет добиваться их постепенного наращивания еще в период ожидания нового оборудования; с помощью мер временного характера можно восполнить недостаток пропускной способности, а с вводом нового оборудования постепенно начнет увеличиваться объем выпускаемой продукции, которая полностью может вначале и не потребоваться. Даже решения хозяйственного руководства являются до некоторой степени непрерывным процессом; они принимаются после предварительного обсуждения; при этом могут осуществляться соответствующие меры в предвидении вероятного исхода этого обсуждения; реализация же принятых решений не происходит немедленно вслед за их утверждением; кроме того, принятые решения подлежат истолкованию и разъяснению; они осуществляются поэтапно в меру преодоления сопротивления и инерции других работников предприятия.

— В наших моделях часто будет применяться значительное агрегирование (то есть группировка отдельных событий по классам или видам). Заказы поступают в виде отдельных документов, но мы представляем их в виде непрерывного потока требований, и наша заинтересованность в модели, как и руководителя соответствующей фирмы, выходит за пределы отдельных частных сделок.

— Система с непрерывными потоками обычно может служить эффективным первым приближением даже в тех случаях, когда речь идет о повторных, но дискретных решениях и действиях. Она дает удобную отправную точку для последующих уточнений реального хода действий, если их отражение представляется необходимым.

— Существует естественная склонность исследователей моделей и руководящего персонала преувеличивать дискретность реальных ситуаций. Это частично компенсируется подчеркиванием непрерывности изменений, свойственной всем потокам в системе.

— Модель с непрерывными потоками способствует концентрации внимания на центральных моментах системы. Структура этих потоков более упорядочена и неизменна, чем обычно полагают. Отвлечение внимания на отдельные изолированные события затемняет центральный костяк системы, который мы пытаемся выявить.

— Динамика модели с непрерывными потоками обычно более легка для понимания в качестве исходного пункта и должна быть изучена прежде, чем будут введены усложнения, связан-

ные с дискретностью и шумами. По этой причине представляется предпочтительным начать с непрерывного представления системы, а не со стохастической модели (где каждое решение опирается на случайный выбор из ряда значений, заданных вероятностными распределениями). Шумы (случайные возмущения) могут впоследствии быть добавлены к функции решений в уравнениях. Очень часто эти шумы воздействуют на систему аналогично дискретной выработке решений в отдельные моменты времени.

— Дискретная модель, построенная на больших интервалах, подобно экономической модели, в которой новые значения определяются раз в год, вообще не поддавалась бы проверке при столь больших промежутках времени между сборами сведений в реальной системе. Модель должна отображать непрерывно взаимодействующие силы изучаемой системы¹. Частота измерений в реальной системе не имеет отношения к частоте, с которой необходимо исчислять внутренние динамические связи².

Эти комментарии не следует понимать в том смысле, что проектировщик модели может игнорировать отдельные «микроскопические» события, происходящие в каналах непрерывных потоков. Движение непрерывного потока — это движение отдельных событий, изучая которые мы получаем представление о том, как принимаются решения и создаются запаздывания в потоках. Изучение отдельных событий представляет собой один из богатейших источников информации о том, как следует строить каналы потоков в модели. Когда решения практически принимаются регулярно с некоторой периодичностью, например один раз в месяц, канал эквивалентного непрерывного потока должен включать запаздывание, равное половине этого интервала; таким образом выражается среднее запаздывание, которому подвергается информация в канале.

Вышеприведенные замечания не означают также, что дискретность трудно отразить или

¹ Мы не можем также быть уверенными в том, что длительные и кратковременные явления поддаются разграничению в моделях разного характера, что позволило бы определять длительно действующие факторы роста для сравнительно больших интервалов времени. В нелинейной системе отдельные явления могут и не накладываться одно на другое, а долговременные характеристики могут зависеть от природы накладываемых одно на другое кратковременных колебаний.

² Теория сервомеханизмов, построенных на принципе проб и ошибок, имеет дело с допустимыми интервалами времени между решениями в связи с характеристикой поля допуска в системе.

что она должна быть навсегда исключена из модели. Иногда дискретность становится весьма существенной. Она может, например, вызвать возмущение, которое отразится на колебаниях системы, а последние могут быть ошибочно истолкованы как цикличность, обусловленная внешними причинами (подобно ежегодному пересмотру конструкций, летним отпускам работников или составлению годовых бюджетных планов, которые вызывают последствия, аналогичные сезонным изменениям в покупательском спросе). Когда моделирование продвинулось настолько, что становятся оправданными такие тонкости, как основания предполагать, что дискретность оказывает значительное влияние на поведение системы, прерывные переменные подлежат исследованию для выявления их воздействия на модель.

4. 6. Устойчивость и линейность

При построении модели не следует основывать свои действия на допущении, будто отображаемая система обязательно будет устойчивой¹. Многие модели, описанные в литературе по управлению и экономике, исходят из линейности отображаемой системы. Но в таких случаях, если быть последовательным, необходимо допустить также и ее устойчивый характер. Это исключает изучение класса систем, которые являются весьма важными в народном хозяйстве — в частности, в промышленности и торговле, — систем, ограниченных нелинейными воздействиями и устойчивых только при больших амплитудах возмущений.

¹ Под устойчивостью понимается стремление к состоянию равновесия либо в условиях полного отсутствия колебаний, либо в условиях затухающих колебаний.

Имеются достаточные основания считать, что среди существующих реальных систем некоторые неустойчивы в обычном математическом понимании. Они не стремятся к состоянию статического равновесия (даже при отсутствии случайностей и внешнего возмущения). Они неустойчивы и обнаруживают стремление к увеличению амплитуды колебаний, которые поддерживаются непрерывными изменениями соотношения сил между нелинейными формами в системе. Наши социальные системы в высшей степени нелинейны и большую часть времени противодействуют ограничениям, связанным с недостатком рабочей силы и неприемлемой в политическом отношении безработицей, сокращением денежных ресурсов и преодолением инфляции, спадом деловой активности и недостатком средств производства. По-видимому, такие нелинейности в сочетании с тенденциями неустойчивости, порожденной усилениями и запаздываниями, создают характерный образ действий, который мы наблюдаем в экономических системах свободного предпринимательства.

Линейный анализ «малых сигналов» не пригоден для нелинейных неустойчивых систем. Такой анализ небольших нарушений равновесия по необходимости предполагает статическое равновесие и систему, которая стремится возвратиться к этому состоянию. Между тем результаты работы с динамическими моделями, а равно и наблюдаемое поведение реальных систем, приводят к заключению, что важные их проявления часто имеют нелинейный характер и относятся к типу «больших сигналов».

При построении модели, предполагающем устойчивость системы, из рассмотрения могут выпасть некоторые наиболее интересные и важные характеристики системы.

АГРЕГИРОВАНИЕ ПЕРЕМЕННЫХ

Ценность модели во многом обусловлена разграничением в системе важных и несущественных факторов. Частично такое обособление основного содержания системы достигается путем агрегирования однородных факторов, которое желательно и важно, хотя в то же время и рискованно. Допустимость агрегирования в значительной степени определяется той ролью, которую отдельные агрегируемые факторы играют в правилах принятия решений. Факторы, управляемые достаточно сходными правилами, которые зависят в свою очередь от достаточно равноценных источников информации, могут сочетаться в одном канале. В зависимости от назначения модели допускается агрегирование факторов и по другим признакам, которые ее характеризуют.

Очевидно, что модель какого-либо предприятия или хозяйства не может отразить каждое отдельное решение и каждую сделку, совершаемую в этой хозяйственной организации. В этом нет и практической необходимости, как нет нужды выводить уравнения для каждой молекулы воды при расчете напора и расхода воды в водопроводной сети. Если сгруппировать отдельные действия по их подобию, то можно добиться большей точности при описании среднего действия, чем при попытке описать каждый отдельный элемент.

Способ такой группировки, или «агрегирование», имеет огромное значение. При недостаточном агрегировании модель будет загромождена излишними, вносящими путаницу деталями. С другой стороны, при слишком широком агрегировании или объединении разнородных факторов мы потеряем те элементы динамического поведения модели, которые хотим наблюдать. Некоторые общие указания могут помочь в установлении основ для агрегирования.

10. 1. Использование отдельных событий для формирования агрегированного потока

Хотя речь идет об агрегировании больших групп индивидуальных физических единиц и решений, агрегированные потоки все же должны перемещаться по тем же каналам, по которым

движутся отдельные элементы потока. Аналогично этому при проектировании модели городского водопровода в нее надо было бы включить отдельные водохранилища, насосные станции, магистральные водопроводные линии и группы потребителей воды, различающиеся по своему характеру и территориальному размещению. Нет смысла тратить усилия на изучение поведения каждой капли воды, но тем не менее необходимо составить такую диаграмму, которая отображала бы условия, с которыми сталкивается каждая капля по пути следования от источника до водохранилища и оттуда через трубы и насосы до потребителя.

Модель хозяйственной организации нужно строить точно так же путем изучения отдельных конкретных решений и результатов, достигаемых при их осуществлении.

Сначала составляется диаграмма потока, отражающая результаты отдельных действий. Например, мы можем наметить путь следования заказа: принятие решения о заказе, сроки оформления заказа, пересылка формуляров заказа, пребывание документов в портфеле невыполненных заказов, отгрузка товаров согласно данному заказу, доставка этих товаров. Каждый элемент потока проходит через такие же этапы. В общем потоке можно легко отыскать и проследить по этапам путь следования каждого отдельного элемента. Определив русло для одного элемента, мы стремимся объединить в этом русле как можно большее количество однотипных элементов.

10. 2. Агрегирование на основе подобию функций решений

Функции решений, управляющих темпами потока, наилучшим образом раскрывают допустимость агрегирования.

Можно агрегировать в одном канале любые два элемента или группы элементов при наличии следующих условий:

- если предположить, что этими элементами должна управлять одна и та же функция решения;

- если исходить из того, что контролируемые выходные данные должны использоваться где-либо в модели для идентичных целей.

Например, можно агрегировать товары, закупаемые оптовым звеном, если даже они занимают различные места в каталоге выпускаемой продукции. Первое условие выполняется, если управление запасами этих товаров осуществляется на одинаковой основе и если заказы формируются одинаковым способом и в совпадающие сроки. Второе условие соблюдается, если вопросы, представляющие интерес для предприятия и для оптовика, разрешаются только в зависимости от совокупного агрегированного потока заказов. Такое положение соответствовало бы действительности при наличии достаточной взаимозаменяемости продукции с тем, чтобы в объединенном потоке нашли исчерпывающее отражение вопросы площадей, рабочей силы и другие проблемы предприятия, а также при соблюдении должного постоянства пропорций «смешивания» товаров, чтобы в общих данных о совокупных товарных запасах содержался ответ о средней возможности выполнить заказы.

Агрегирование на основе однородности функций хозяйственных решений в различных случаях приведет к разным результатам, в зависимости от характера конкретных вопросов, на которые должна отвечать модель. Расчеты общей потребности в капитальных затратах могут основываться только на общих данных об объеме всего производства, а приобретение определенного оборудования зависит от характера отдельных производственных процессов на предприятии или от объема продаж определенных товаров, числящихся в номенклатуре его изделий.

При агрегировании только на основе однородности функций решений мы должны группировать лишь те элементы, которым присущи одни

и те же временные зависимости в отношении определенных факторов. Например, в модели хозяйственной системы агрегируются в отдельные группы только те покупки товаров потребителями, которые имеют одинаковую временную зависимость в отношении доходов и сбережений. По этому принципу можно агрегировать в одну группу все виды продовольственных товаров; в другую группу — текстильные товары, одежду; в следующую — изделия из металла, включая приборы и автомобили; в отдельную группу — здания. Эти основные группы должны рассматриваться раздельно из-за их существенных динамических различий, которые учитываются при обосновании объема закупок, определении их периодичности и продолжительности хранения потребителем данного товара в запасе. Таким же образом можно агрегировать станки и здания промышленных предприятий на том основании, что замена их производится почти с одинаковой периодичностью и согласно однотипным решениям.

Агрегирование только подобных функций решений сохранит важные нелинейные зависимости системы, которые проявляются в этих функциях. Для иллюстрации можно использовать предшествующий пример. Здесь одна технологическая линия может работать почти с предельной, тогда как другая — с небольшой нагрузкой. Оборудование этих линий не приспособлено для переключения с одной продукции на другую. Следовательно, увеличение совокупных продаж и их сопоставление с общим показателем совокупной производственной мощности не говорит еще о том, что потребуются увеличение мощности одной линии при наличии неиспользованной мощности на другой. В отношении этих двух линий может потребоваться индивидуальный подход. Эта проблема частично может быть решена с помощью специальной модели, которую при желании можно построить (см. раздел 4.1).

10. 3. Влияние агрегирования на время запаздывания

Следует указать, что объединение различных элементов в общее русло потока приведет к большим колебаниям времени, в течение которого отдельные элементы транспортируются по каналам системы. Для доставки письма по почте затрачивается определенное количество часов; оно не обязательно одинаково для

каждого письма. Доставка одних писем займет больше времени, а других — меньше. В результате можно будет установить среднюю продолжительность времени доставки и колебания фактической длительности около ее среднего значения. Запаздывания агрегированных потоков должны отражать это фактическое распределение во времени на выходе из каналов.

Чем больше разнообразных элементов в канале, тем больше будут колебания длительности индивидуальных запаздываний и тем менее четко будет выражена реакция запаздывания¹.

¹ В разделе 8.4 было установлено, что реакция на выходе из показательного запаздывания третьего порядка в отношении входной функции выражена менее четко, чем при запаздываниях высшего порядка.

Глава II

ЭКЗОГЕННЫЕ ПЕРЕМЕННЫЕ

Переменные, независимые от системы, представленной в модели (экзогенные переменные), можно использовать как своего рода проверочные сигналы. В этом качестве они дают возможность узнать, как реагирует модель на определенный образ действий во внешней среде, окружающей модель. Независимая переменная используется так, будто изучаемая система не имеет обратной связи по отношению к этой переменной. Значит, она позволяет исследовать только такие вопросы, в отношении которых предположение о независимости переменной достаточно обосновано. Применение более одной экзогенной переменной оправдывается редко: исключения составляют переменные, представляющие собой случайные помехи, которые с точки зрения правил принятия решений могут рассматриваться как внутренние переменные модели. Применение свыше одной экзогенной переменной предполагает весьма маловероятную ситуацию, при которой экзогенные переменные оказываются связанными между собой посредством механизма управления, но в то же время не имеют связи с переменными рассматриваемой системы. Экзогенная переменная предназначена не для того, чтобы сделать действие модели более реалистичным, а для того, чтобы произвольно воспроизвести те или иные внешние условия и наблюдать за поведением модели в этих условиях.

В разделе 3.1 упоминались открытые и замкнутые модели. Замкнутая модель представляет собой независимую систему, не имеющую связи с внешними (то есть экзогенными, независимыми) вводами. Экзогенные переменные — это такие переменные, значения которых не зависят от внутренних параметров модели.

При исследовании динамических свойств модели какой-либо системы мы часто используем экзогенный ввод в целях проверки модели¹. Поступая таким образом, мы исходим из предположения, что этот ввод сам по себе независим и не подвержен влиянию изменений переменных, представленных в самой модели. С помощью модели мы можем тогда обоснованно исследовать только те вопросы, для которых правильно предположение о независимости проверочного ввода. Там, где существует предположительная, а не фактическая независимость, модель не сможет воспроизвести те виды действий, которые определяются замкнутой связью от переменных модели к экзогенным переменным и от последних к системе уравнений модели². Как отмечалось в параграфе 9.6, иногда даже слабая связь может весьма сильно отразиться на работе системы,

если существуют определенные условия, усиливающие взаимное влияние переменной и решения.

Иногда при построении эконометрических моделей применяется такая практика: в модель включается несколько величин, взятых из реальной хозяйственной практики. Эти величины называют «экзогенными вводами» и рассматривают их как переменные, которые используются в уравнениях модели, но не являются величинами, полученными с помощью этих уравнений. Такой метод может отрицательно сказаться на выявлении динамики системы. Действительно, если система, для которой строится модель, чувствительна к переменным, принимаемым за экзогенные, и в свою очередь оказывает на них влияние, тогда в результате неудачного построения механизма экзогенных переменных нарушаются обратные связи, которые в действительности могут существовать между предположительными экзогенными переменными и переменными самой модели. (В та-

висимы от явлений, которые могут иметь место в рамках производственно-сбытовой системы. Несомненно, такое предположение имело ограниченное обоснование: при таком предположении мы были вынуждены ограничиться в исследованиях выявлением определенных внутренних свойств самой сбытовой цепочки. Если бы мы стали считать, что на розничные продажи оказывают влияние внутренние условия сбытовой цепочки, то тогда возникли бы новые виды поведения системы и появилась бы возможность исследовать их.

¹ Например, в иллюстрациях к главе 2 в качестве испытательных вводов были использованы ступенчатые функции, сезонные колебания и помехи.

² Например, в главе 2 (рис. 2-2 и 2-6) мы исходили вначале из предположения, что розничные продажи неза-

ком случае предположительные экзогенные переменные на самом деле не являются экзогенными и действуют так же, как и зависимые переменные, определяемые с помощью соответствующих уравнений модели.) Эта ситуация эквивалентна предположению о том, что динамика модели не зависит от вводов, которые рассматриваются как экзогенные, и что они берутся только для проверки модели. Более того, экзогенные вводы берутся в «совокупности» как единый проверочный ввод. Подразумевается, что временные взаимозависимости экзогенных переменных имеют важное значение и взаимно связаны, даже если исходить из предположения, что все экзогенные переменные, как единая группа, независимы от переменных внутри модели. Этот метод может привести к наибольшему заблуждению. Вводы, которые неправильно принимаются за экзогенные, могут быть настолько тесно связаны с уравнениями модели, что будут оказывать воздействие на поведение всей модели. Модель может утратить внутреннюю свободу действий, от которой зависит порядок действий реальной системы. Если так произойдет, то в модели будут отражаться лишь результаты воздействия многочисленных и поддающихся полному контролю вводов; при этом в модели не отразится характер динамики фактической системы.

По-видимому, было бы крайне неправильно в модели хозяйственной системы страны использовать в качестве экзогенных переменных налоги, денежную массу или государственные расходы. Эти факторы несомненно оказывают воздействие на другие переменные, вроде прибыли, уровня цен, социальных и политических затруднений, вызываемых безработицей, однако они имеют и обратную связь с этими переменными.

В данных условиях гораздо правильнее попытаться отразить в модели (хотя бы и очень несовершенно) ту политику и политические силы, которые, на наш взгляд, действуют в реальной системе, чем пытаться использовать в качестве вводов модели фактические ряды прошлых или текущих данных, взятых из реальной системы. Конечно, при построении модели государственного сектора намечаемые функции решений в модели можно сильно упростить, подобно тому как это делается в отношении других функций решений. Однако, включая в модель эти упрощенные правила, по крайней мере следовало бы сохранить в ней основные замкнутые контуры потока, который связывает правительственные расходы и регу-

лирование кредита в народном хозяйстве, чтобы можно было изучить динамические взаимодействия этих двух факторов.

Применение экзогенных вводов, по-видимому, противоречит нормальной практике за исключением тех случаев, когда внешние вводы совершенно независимы и на них не оказывает воздействия никакая из переменных внутри модели¹. Как показано в разделе 9.7, в функции решений могут вводиться помехи специфического характера, представляющие независимые факторы, которые не порождаются самой структурой модели.

Существенная некорректность сочетания реальных переменных с переменными модели в процессе ее проигрывания имеет близкое отношение к тем разделам следующей главы, где говорится об ограниченной способности моделей предсказывать значения реальных переменных. Модель следует считать качественной, если в ней рост и колебания переменных имеют приблизительно такие же константы времени, частоту и изменения амплитуды колебания, как и в реальной действительности. Однако если частоты и темпы роста не являются в точности одинаковыми или если их фазы в модели и в реальной системе подвержены изменениям в зависимости от различных помех, то отношение величины переменных реальной системы к мгновенным значениям переменных в модели не будет постоянным. Включение таких переменных в модель может оказаться совершенно лишним; «правильное» их значение в реальной системе совершенно не будет связано с состоянием переменных в модели.

Вопрос о том, какие переменные должны вводиться внутрь самой модели или рассматриваться как независимые (экзогенные) переменные, решается по усмотрению того, кто строит модель, и зависит от ее назначения. Возьмем, например, модель фирмы, поставляющей детали для военного оборудования. Здесь заказы на детали от предприятий, производящих оборудование, не могут рассматриваться как экзогенные переменные (за исключением представляющего ограниченный интерес анализа внутренних взаимосвязей в пределах предприятия, производящего детали, вроде, например, взаимосвязи между запасами, рабочей силой и темпом продаж). Темп заказов, посту-

¹ См. Koopmans, Tjalling C., Editor, *Statistical Inference in Dynamic Economic Models*, New York, 1950, p. 56, 393—394.

пающих от предприятия, выпускающего оборудование, смежникам, изготавливающим детали, очень чувствителен ко всему, что происходит на этих предприятиях. На него влияют производственные возможности предприятий, изготавливающих детали, обеспечивающие их поставку в необходимом количестве. Невозможность своевременно изготовить детали приводит к передаче заказов конкурентам; задержки в поставке служат причиной заблаговременного размещения заказов в предвидении будущей потребности. Взаимоотношения между смежником, поставляющим детали, и предприятием, выпускающим оборудование, определяют важные стороны динамики производства¹. С другой стороны, мы, по всей вероятности, можем исходить из предположения, что заказ Министерства обороны предприятиям, производящим оборудование, в отношении предприятия, изготавливающего детали, является экзогенным, поскольку обычно заказы на военное оборудование размещаются без учета состояния производства отдельных деталей. Имеется в виду, что если данное предприятие, поставляющее детали, не может удовлетворить спрос на них, то будут найдены другие источники. Мероприятия поставщика деталей, вероятно, окажут незначительное влияние при заключении правительственных контрактов на поставку оборудования.

Здесь следует отметить, что в реальной обстановке мы обычно ограничены одним экзогенным проверочным вводом, не относящимся к категории помех. Маловероятно, чтобы два или более экзогенных ввода были полностью независимы от переменных в модели и в то же время имели прочную причинную связь между

собой. Если две или более экзогенные переменные не связаны друг с другом причинной взаимозависимостью, то любое сочетание этих двух или большего числа переменных во времени составляет самостоятельный проверочный ввод, который необходимо исследовать. Если дается несколько экзогенных вводов в предположении, что их последовательность имеет определенный смысл и не определяется действием помех, то количество возможных сочетаний этих вводов при различных смещениях по фазе становится непомерно большим.

И наоборот, при наличии множества входных помех¹ мы сможем принять во внимание лишь бесконечно малую часть их возможных сочетаний во времени. Однако после проигрывания модели, цикл которого в несколько раз длилнее периода самых продолжительных возмущений, возникающих в динамической системе, общий качественный характер системы в комбинации с ее помехами становится достаточно ясным.

Подводя итоги изложенному, отметим, что экзогенные вводы в динамических моделях следует рассматривать как «проверочные входы». Сами по себе они не зависят от того, что происходит в модели. Их нельзя использовать для придания большей реальности поведению модели: обычно эффект бывает противоположным. Они являются вводами, взятыми из независимой внешней среды, и используются для того, чтобы установить реакцию изучаемой системы на *предположительные* изменения в этой среде.

¹ См. главы 14 и 15, где рассматривается модель такой промышленной системы.

¹ Вероятно, большинство людей рассматривают помехи как экзогенные вводы, но мы будем считать их эндогенными (внутренними) для любой функции решения, поскольку мы даем определение их количественных характеристик и методов их образования.

ОЦЕНКА ПРИГОДНОСТИ МОДЕЛИ

Значение модели зависит от того, сколь хорошо она служит решению поставленных задач. Целью динамического моделирования промышленного предприятия является улучшение системы управления. Окончательная проверка соответствия модели этой цели может быть выполнена лишь после того, как будет установлено, что понимать под лучшим управлением. До этого эффективность моделей можно оценить по важности задач, для решения которых она предназначена, и по способности модели предсказать результаты, связанные с вносимыми в систему изменениями. Эффективность модели будет зависеть, во-первых, от широты окружающих систему рамок, во-вторых, от обоснованности выбора переменных и, наконец, от численных значений параметров. Обоснованность модели определяется прежде всего обоснованностью элементов ее структуры и основных правил, которые можно считать установленными в том случае, когда получаемые с помощью модели характеристики соответствуют характеристикам реальной системы. Способность модели предсказывать состояние реальной системы в некоторый определенный момент в будущем не является достаточно убедительным свидетельством полезности модели.

Пригодность (или значимость) модели можно выявить на основании оценки ее соответствия поставленной цели. Модель является правильной и обоснованной только в том случае, когда она выполняет возложенные на нее функции. Это означает, что понятие пригодности модели как абстрактная категория, не связанная с поставленной задачей, лишено смысла. Совершенно очевидно, что модель, которая превосходит для решения одной задачи, может привести к ложным выводам и, следовательно, быть хуже, чем просто бесполезная модель, при решении другой. Возникает вопрос, что же является критерием оценки моделей, рассматриваемых в настоящей книге?

12. 1. Назначение моделей

Динамические модели промышленных предприятий предназначены для содействия проектированию и усовершенствованию промышленных и экономических систем. Как же мы можем оценить, соответствуют ли модели решению таких задач? Конечной проверкой может служить лишь качество системы, полученной в итоге исследований, основанных на анализе модели. Поэтому целесообразно проводить испытания, показывающие пригодность модели для совершенствования управления. Результат любых нововведений в системе управления будет сомнительным, пока эти испытания не будут закончены.

Оценка эффективности усовершенствований в сфере управления будет почти неизменно основываться на субъективных суждениях руководителей относительно полученной ими помощи. Наиболее сложно установить объективную, непредвзятую оценку эффективности проверяемой системы управления, разработанной с помощью модели. Едва ли кто-либо осмелится безапелляционно утверждать, что руководитель предприятия достиг больших успехов благодаря новой методологии, а не за счет здравого смысла и умения, которыми он обладает.

Хотя в конечном счете динамическая модель будет оцениваться по вносимым с ее помощью изменениям в управление системой, они не могут служить частным задачам оценки результатов, получаемых в ходе исследования. Конечные испытания, кроме того, слишком отдаленны, чтобы их использовать в текущей работе. Поэтому мы постараемся изыскать пути, которые могли бы обосновать целесообразность наших действий в ходе выполнения работы.

12. 2. Важность конкретных целей

Если модель предназначена для улучшения промышленной системы, то прежде всего следует проверить, решает ли модель главные задачи и проблемы. Значимость целей наиболее важна при рассмотрении вопроса о полезности модели. Тщательно выполненная и

точная модель окажется малополезной, если она направлена на решение вопросов, которые не являются наиболее существенными с точки зрения повышения эффективности работы предприятия. С другой стороны, простая и даже не очень точная модель может быть чрезвычайно полезной, если она открывает хотя бы незначительные возможности лучше понять главные причины успехов и неудач в организационной деятельности. Примером тому служат наши умозрительные, воображаемые модели. Простые и относительно не очень точные модели, формирующиеся в сознании опытных руководителей, оказались более эффективными в достижении современного уровня индустриализации, чем математические модели, которые используются сейчас в экономике и, в частности, в сфере управления. Рабочую модель руководителя, существующую в форме словесного описания и в его воображении, легче перестроить на решение наиболее важных задач будущего; она в большей степени восприимчива к изменениям реальной организации, чем абстрактная математическая модель, созданная для объяснения явлений, имевших место в прошлом.

Каким образом мы можем установить, что решаются именно главные, первоочередные задачи? Существует ли некоторый формальный критерий, который показал бы, насколько обещающи и выполнимы цели, к осуществлению которых мы стремимся? Ответ на этот вопрос — по крайней мере сегодня — будет отрицательным. Окончательное суждение об эффективности наших усилий, направленных на создание лучшей промышленной системы, опирается на оценку исследователем выбранных нами конкретных целей. Выбор наиболее важных целей зависит от точности понимания особенностей системы и способности учесть их в различных вероятных ситуациях. Мы должны еще раз отметить, что первая и наиболее важная оценка, оценка значимости целей для изучения конкретной динамической модели промышленного предприятия, все еще не имеет под собой объективной основы.

Можем ли мы достигнуть более конкретных решений? Существуют ли более четкие положения о том, что делает модель полезной?

12. 3. Прогнозирование результатов вносимых изменений

Использование рассматриваемых в настоящей книге моделей имеет своей целью определить последствия, которые будут наблюдаться

в системе вследствие *изменений* организационных форм или политики управления. Для нас в первую очередь представляют интерес *направления главных изменений в характеристиках*¹ системы, которые явятся результатом изменений в структурных взаимосвязях или в политике управления системой. Далее, мы хотим приблизительно оценить *количественную сторону* улучшений, которые произойдут в системе. Незначительные улучшения, меньшие по величине некоторого определенного уровня, могут не стоить затраченных на их достижение усилий.

Мы можем теперь рассмотреть некоторые требования, связанные с оценкой способности модели предсказать эффект от вносимых в реальную систему изменений.

Если модель предназначена для определения эффекта от вносимых в реальную систему изменений, то должно существовать соответствие между параметрами и структурой модели, которые подвергаются изменениям, и параметрами и структурой реальной системы. Механизм работы модели должен отображать механизм реальной системы. Кроме того, модель должна выявить сущность интересующих нас динамических характеристик системы; в противном случае она не могла бы показать, как эти характеристики можно изменить.

Как и раньше, нам недостает объективных способов проверить, действительно ли предскажет модель ожидаемые изменения в системе. Убедительным испытанием в этом случае будет проверка соответствия поведения реальной системы тому ее поведению, которое было предсказано моделью. Такое испытание в реальных условиях будет возможным лишь после того, как разработанные на модели изменения будут реализованы и мы будем располагать некоторыми измерениями или наблюдениями за реальной системой после внесения этих изменений. Но что мы должны положить в основу наших суждений сейчас, в ходе испытаний модели, для доказательства того, что работа системы действительно улучшается?

Предположение о значимости модели основывается на двух положениях. Во-первых, уверенность в значимости модели определяется тем, насколько она способна отобразить отдельные организационные особенности и детали

¹ Под «характеристиками» мы понимаем здесь такие показатели работы системы, как прибыльность, условия сбыта, себестоимость, рост предприятия, колебания цен, необходимые капиталовложения, изменения кассового баланса и т. п.

процесса принятия решений реальной системы. Во-вторых, она подтверждается соответствием общего поведения модели и реальной системы.

12. 4. Структура и элементы модели

На протяжении всего изложения методов динамического моделирования предприятия мы подчеркиваем, что обоснованность модели определяется главным образом обоснованностью каждого входящего в нее элемента. Такой способ определения обоснованности применим не только при рассмотрении формы любого из уравнений, но и при выборе границ системы, ее переменных и принимаемых взаимосвязей между этими переменными.

Важность доказательства обоснованности элементов модели опирается на рабочую гипотезу о том, что если все необходимые компоненты адекватны описанным и взаимодействуют соответствующим образом, то поведение модели не будет отличаться от ожидаемого. Обратное положение несправедливо; сочетание значительного числа неверных параметров и ложных структурных элементов может иногда привести к отображению моделью поведения реальной системы; однако эти неадекватные структурные элементы в большинстве случаев не приведут нас к выявлению лучших вариантов системы.

При создании и оценке модели мы должны обобщить все доступное нам многообразие знаний о системе. Большинство этих знаний связано с опытом и памятью людей, которые наблюдают за системой и работают в ней. Большое количество информации содержится также в описательной литературе. Числовые или статистические данные, непосредственно пригодные для решения главных задач построения моделей, известны нам лишь в редких случаях.

Динамическая модель промышленного предприятия строится на основе той же информации и данных, которые обычно используются руководителем для построения воображаемых моделей процесса управления. Дееспособность динамической модели не зависит от получения лучшей информации по сравнению с той, которая имеется у руководителя; она определяется способностью использовать большую часть той же самой информации, и притом использовать ее с большей пользой.

Можем ли мы установить объективные и неоспоримые количественные критерии того, насколько правильно составлена модель? Пригодность модели для описания конкретной системы должна быть проверена в отношении:

- границ системы;
- взаимосвязи переменных;
- значений параметров.

Границы системы. Первым и наиболее важным вопросом при детальном конструировании моделей является вопрос выбора границ модели системы. Как отмечалось ранее, в разделе 12.2, выбор границ определяется поставленными перед моделью целями. Если выбранная для изучения система не содержит ответов на поставленные вопросы, то моделирование будет бесполезным. Если границы взяты неоправданно большими, то полученные решения затеряются в массе мелких подробностей и могут привести к такой путанице, что от задуманного проекта придется отказаться.

Подобно выбору целей, выбор границ системы не может быть выполнен на основании объективно проверенной теории. Необходимо помнить, что применять общепринятые методы и положения следует с большой осторожностью, искусно и со здравым смыслом используя удачный опыт.

Это не означает, что при выборе границ мы находимся в затруднительном положении из-за недостатка фактических данных о реальной системе. Наоборот, нам часто приходится решать вопрос о том, какую часть из располагаемых знаний целесообразно использовать при создании модели. При построении различных моделей мы почти всегда располагаем значительным объемом информации. Однако в этой информации содержится большое число противоречий, которые обычно не могут быть разрешены достаточно объективно. Один человек может разрешить противоречия посредством, на его взгляд, объективного суждения, в то время как другой не примет какого-либо решения до тех пор, пока он не будет располагать результатами проверки в реальных условиях.

Взаимосвязь переменных. Второй наиболее важный вопрос построения модели связан с рациональным выбором переменных модели и с адекватностью их взаимосвязей. В конечном итоге этот выбор также основывается на наших рабочих знаниях о системе. Наиболее сложным является вопрос о выборе функций принятия решений. В значительной степени эти функции относятся к информационным сетям, где правила принятия решений не являются формальными. Для большинства функций принятия решений невозможно получить достоверные числовые данные. Следовательно, модель должна

быть составлена на основании описательной информации о политике управления.

Существует несколько исключений из этого общего положения, для которых оказывается возможным получение некоторых числовых данных. Однако даже эти случаи не могут удовлетворить нас в предпринимаемых попытках сформулировать объективный, определенный в количественном отношении критерий, который необходим нам при создании модели. Численные данные оградят нас от явно ложных гипотез о процессе принятия решений, но в то же время они едва ли помогут доказать корректность других гипотез. Два или три ввода в пункт принятия решений могут объяснить большинство выходов, но какого рода соответствие является удовлетворительным? Ключ к пониманию поведения системы может быть утерян, если влияющая на поток решений информация, передаваемая по каналу положительной обратной связи, заглушается шумами в этом канале. В этом случае информация обратной связи будет в большой степени коррелирована с другими переменными. При проведении статистического анализа сигнал обратной связи может легко пройти незамеченным либо среди случайного шума, либо будучи принятым как часть входного сигнала той или иной переменной.

Далее, сама по себе величина входного сигнала в пункт принятия решения еще не определяет характера динамического поведения системы. Продолжительность действия, фаза и форма сигнала могут в значительной степени превосходить влияние его величины на характер динамических характеристик системы.

Методы объективного анализа еще не дают гарантий того, что переменные выбраны правильно и что их взаимосвязь установлена достаточно точно. Однако мы должны провести негативное испытание — испытание, которое является необходимым, но может не дать само по себе положительного результата. Если полученный при испытании модели поток решений несовместим с гипотезами о процессе принятия решений, то испытание обмануло наши надежды. С другой стороны, выполнение единичного испытания не дает гарантий правильности принятых гипотез. Даже очень близкое совпадение опытных результатов с данными, полученными на основании выдвигаемых гипотез, не дает оснований считать эти гипотезы правильными. Гипотезы, основанные на неверном выборе переменных при соответствующей компенсирующей корректировке значений параметров, могут в результате статистических испы-

таний дать такие показатели, которые математически покажутся более удовлетворительными, чем в том случае, когда в основу решений заложены более адекватные причинные связи между переменными, но допущены ошибки в значениях параметров; эти ошибки снижают точность получаемых количественных характеристик, но не искажают динамического поведения модели.

Ошибка при включении переменных системы в модель может привести к полной бесполезности модели как орудия исследования. Можно надеяться, что в дальнейшем, когда динамическое поведение системы станет более понятным, возникнут полезные руководящие принципы по выбору содержания модели. А пока необходимо помнить, что наиболее эффективная модель будет создана теми, кто знает реальную систему и в то же время владеет методами анализа динамических систем.

Значения параметров. Третий, менее важный вопрос, который должен быть рассмотрен при оценке эффективности модели, связан с выбором значений параметров. Можно показать, что динамические характеристики системы сравнительно мало изменяются при изменении величин большинства параметров, то есть чувствительность системы к изменению этих параметров мала; поэтому значения таких параметров можно выбирать в известной мере произвольно. Параметры, к изменению которых модель весьма чувствительна, могут быть определены на основании испытаний модели. При этом не так важно знать значения этих параметров в прошлом, как правильно оценить и выбрать эти значения в соответствии с условиями работы системы в будущем.

Численные значения параметров для какой-либо функции принятия решений могут быть определены на основании ряда формальных статистических испытаний. Это выполняется после того, как:

- установлены задачи моделирования;
- определены границы системы;
- произведен выбор основных переменных;
- сформулированы гипотезы, определяющие взаимодействие переменных;
- приняты основанные на произвольных суждениях решения о значениях параметров, удовлетворяющих условиям статистических испытаний.

Затем исследователь должен определить, могут ли выбранные в результате статисти-

ческих испытаний параметры способствовать решению поставленной задачи улучшения действия системы.

12. 5. Динамические характеристики системы

Изолированная (замкнутая) модель динамической системы может воспроизводить временные характеристики, которые в рамках поставленных целей исследования не будут существенно отличаться от динамических характеристик реальной системы. Такое соответствие поведения модели реальным условиям будет результатом сочетания структуры и руководящих правил действия модели, каждый элемент которой построен безотносительно к правильности поведения системы.

Чем больше мелких подробностей в характеристике модели будет согласовываться с имеющимися данными о функционировании системы, тем больше будет наша уверенность в пригодности модели. Однако тождественность характеристик модели и реальной системы не является *сама по себе* доказательством возможности использовать модель для уверенного предсказания ожидаемых результатов от вносимых изменений.

Поскольку подобие модели действительному характеру системы является необходимым (но не достаточным) условием, мы должны рассмотреть, что здесь понимается под подобием. Недостатки поведения модели, особенно на первых этапах ее создания, часто будут сами указывать пути устранения допущенных неточностей и ошибок. На что должны быть направлены наши поиски? Каким образом можно проверить подобие двух систем?

Первая проверка модели состоит в том, чтобы ее поведение не было бесспорно ошибочным. Такая проверка на первый взгляд может показаться элементарной. Однако литература в области экономики и теории управления содержит очень незначительное число примеров моделей, которые удовлетворяли бы этой оценке и, будучи полностью изолированными системами, давали бы такое изменение характеристик во времени, которое соответствовало бы нашим знаниям о реальной системе.

На первой стадии разработки модели неправдоподобность ее действия проявляется с особой очевидностью. Так, например, значения физических величин, таких, как запасы, могут оказаться отрицательными. Потоки некоторых величин, которые по их физической сущности являются однонаправленными, могут изменить направление и двигаться в противополо-

жном направлении. Значения переменных могут выходить за пределы, допустимые в реальных условиях. Эти явления могут иметь место даже тогда, когда структура модели и ее отдельных элементов была тщательно продумана. Причины подобных явлений легко различимы. Детальный анализ изменений значений переменных системы обычно приводит к выводу, что отмеченные явления определяются несоответствием правил принятия решений в модели и в реальной системе. Очень часто оказывается, что в моделируемой системе существуют более жесткие условия, чем были приняты в модели, и правила принятия решений (обычно с нелинейными зависимостями) оказываются неприемлемыми в достаточно широких границах работы системы.

Второй эффективный способ проверки модели состоит в исследовании ее работы при наличии дополнительных заведомо ошибочных или несоответствующих реальной системе условий, например при чрезмерно широких пределах изменения параметров окружающей среды, но в рамках поставленных целей. Эти изменения могут существенно превосходить вероятные значения параметров, когда-либо возможные в системе. Большая часть наших знаний о системе проявляется в форме предвидения того, насколько при возникновении различных критических условий может оказаться неудачной формулировка руководящих правил. Это предвидение, подкрепленное испытаниями модели на «возможное критическое состояние», часто позволяет выявить причины ее ошибочных действий, которые малозаметны в обычных условиях.

Исключив очевидные «неправдоподобности» в модели, перейдем теперь к анализу более сложных явлений. Мы должны сконцентрировать наше внимание на всех динамических характеристиках модели, которые могут быть сопоставлены с характеристиками реальной системы.

Первый шаг обычно заключается в установлении подобия наиболее сомнительных симптомов для модели и реальной системы. Если модель охватывает причины возникающих в системе трудностей, то она выявит те же самые тревожные симптомы этих трудностей, которые характерны для реальной системы даже в тех случаях, когда эти симптомы достаточно удалены от того места, где действует причина трудностей.

Если в системе имеют место колебательные явления, необходимо сравнить период колеба-

ний переменных в модели и в реальной системе. Существенная разница в значениях параметров этих движений указывает на то, что либо неверно определены коэффициенты, либо не учтена при анализе какая-то важная часть системы. Так как большинство людей обычно недооценивает запаздывания при принятии решений и при их осуществлении, то естественные периоды изменения величин в модели будут меньше, чем в реальной системе. Причиной этого чаще бывает упрощение системы, связанное с пренебрежением второстепенными элементами в политике принятия решений и в каналах их реализации, чем вследствие агрегирования переменных (особенно запаздываний) в различных частях системы.

Взаимосвязь смещений фаз различных переменных¹ часто выявляет меру подобия данных, полученных на модели, и данных, характеризующих развитие реальной системы. Однако поскольку эти временные связи фаз зависят как от частоты возмущений, так и от темпов изменения определенных переменных, то они не могут быть бесспорными критериями при сопоставлении модели и реальной системы.

Для выявления соответствия полученного на модели потока решений реальной системе можно проанализировать числовые данные и графики, полученные в результате проигрываний на модели. Если в политике принятия решений, положенных в основу модели, имеются неверные положения, то при некоторых проигрываниях на модели возникнут условия, которые явно не соответствуют действительности. Анализ результатов этих проигрываний может привести к выявлению неучтенных факторов, которыми нельзя пренебречь. Таким образом, существенной проверкой пригодности модели является сопоставление качества принимаемых решений с теми решениями, которые имеют место в моделируемой системе. Это сопоставление должно выполняться для всех точек системы в различные моменты времени. Такую очевидную проверку применил бы всякий для оценки компетенции управляющего.

Со сдвигом по фазе и периодичностью явлений тесно связан характер изменения переменных системы. Реальные промышленные системы существенно отличаются одна от другой характером изменения цен, темпов произ-

водства, потоков заказов и других переменных. Модель системы должна давать такие же динамические характеристики, какие существуют в действительности, в реальной системе.

Многие характеристики системы, которые трудно установить в реальных условиях, могут быть выявлены и проанализированы на модели. Очевидно, что эти обнаруженные с помощью модели характеристики не должны противоречить тому, что нам известно о реальной системе. Системы различаются между собой тенденциями усиливать или подавлять внешние возмущения. Это легко можно наблюдать на модели¹, но в реальных условиях об этом можно судить лишь на основании выводов, полученных в результате рассмотрения влияния изолированных возмущений. Подобным образом могут быть проанализированы реакции модели на нелинейные условия², и некоторые из них могут служить доказательством пригодности модели, если они согласуются с реакциями реальной системы.

Многие характеристики поведения системы в прошлом могут быть измерены количественно. На этом основании можно сформулировать ряд количественных критериев как основы сравнения результатов работы моделей с данными, полученными в реальных системах. Однако, прежде чем приступить к этому, необходимо решить, по каким показателям следует производить сравнение и различие в значениях каких параметров следует признать существенным. В ряде случаев общая качественная картина развития явления на модели близка действительному протеканию этого явления (часто в пределах, не превышающих двухкратных отклонений). Тогда соответствующей корректировкой параметров отображаемой системы (не выходя за пределы их возможных величин, в соответствии с нашими знаниями о реальной системе) возможно изменить полученные на модели решения до любых желаемых значений. Кроме того, обычно имеется несколько параметров, каждый из которых может привести к ложным результатам. Попытка достичь наибольшего соответствия модели реальной системе не тождественна изысканию рекомендаций с целью создания наилучшей системы. Предполагаемые изменения не зависят от точности наших знаний о системе; в основном они

¹ Например, максимум запасов имеет место после максимумов продаж и производства товаров (см. раздел 14.1).

¹ См. главу 15.

² Такие, например, как ограничение производственной мощности (см. рис. 2-4).

определяются взаимосвязями в модели, которые могут дать хорошее приближение к интересующим нас характеристикам системы.

В тех случаях, когда корректировка параметров модели с целью достижения более точного соответствия с системой не приводит к заметному повышению эффективности модели и когда мы не в состоянии отдать предпочтение какой-либо одной из двух различных по структуре моделей вследствие небольшого различия в получаемых на этих моделях решениях, то нет особой необходимости уточнять формулировки определений и измерения. Таким нам представляется существующее сегодня положение вещей. Нет никаких сомнений в том, что в будущем эта точка зрения изменится. Существенные преимущества создания систем с помощью моделей сейчас настолько велики, что пока еще не возникает потребности в более точных инструментах. По мере того как системы управления будут улучшаться и станут нам более понятными, будет появляться потребность в более точных средствах и усовершенствованных инструментах.

Итак, крупные ошибки при создании модели обычно легко выявляются при сопоставлении явно ошибочного поведения модели с тем, что следует ожидать в реальной системе. Если поведение модели недостаточно близко ожидаемому в реальной системе (определение «достаточно близко» зависит от целей модели и существа наблюдаемых различий), то мы должны вновь начать с рассмотрения элементарной структуры системы, ее границ и элементов. Необходимо найти объяснение причин несходства, что позволит исправить поведение модели. Чтобы изменить конкретные характеристики любой модели, необходимо выполнить значительный объем работ; для этого требуется глубокое знание рабочих деталей действительной системы.

12. 6. Модель проектируемой системы

Главной задачей сравнения модели и реальной системы является выявление возможностей отображения поведения существующей системы, подтверждение адекватности основных элементов структуры модели. Уверенность в справедливости основных структурных компонентов системы далее распространяется на остальные компоненты изменяемой системы и затем, в заключение, формулируется основное положение о том, что общие характеристики, полученные на новой модели, являются

достоверными и полностью соответствуют характеристикам работы измененной реальной системы.

В большинстве случаев проверка соответствия поведения модели в настоящее время тому ее поведению, которое было предварительно намечено, не является необходимой. Многие параметры и правила системы, которые точно не определены и нет возможности даже ориентировочно их оценить, оказываются очень легко управляемыми¹. Далее мы, естественно, должны в большей мере проявлять интерес к вопросу о возможности создания новой системы, соответствующей модели, нежели тому, соответствует ли модель прежней системе. В этом случае проверка пригодности модели заключается в установлении возможности управлять реальной системой таким образом, чтобы добиться ее соответствия модели.

Существуют и другие модели, которые в еще большей степени удалены от реальных систем. Подобные модели целесообразно применять при исследовании вопроса о том, что произошло бы, *если бы* реальная система имела такие же характеристики, как и модель. Много можно понять, изучая системы, которые *могли бы* существовать. Действительно, ведь это блестящее начало экспериментирования на моделях, когда одним из первых шагов является создание такой модели, которая в наибольшей степени соответствует лучшим возможностям и знаниям исследователя. Основное внимание в этом случае уделяется вопросам правдоподобия, но не точности. Обоснование точности выдвинутых предположений является второстепенным и служит цели подчеркнуть, что модель может учить, поскольку она отображает такого рода события, которые *могли бы* существовать в действительности. Если модель является достоверной на уровне элементарных действий, осуществляемых в системе, то эта модель будет содействовать более глубокому пониманию динамики больших систем². В этом случае исследования на модели существен-

¹ Это справедливо в случае модели, описанной в главах 14 и 15, где величины времени запаздывания принятия ряда решений было невозможно обосновать, располагая лишь имеющимися данными о старой системе, но их можно легко регулировать при принятии решений в соответствии с формальными правилами.

² Это заложено в основу модели, рассмотренной в главах 2 и 13. Эта модель отображает явления в типичной промышленно-бытовой системе. Она показывает динамическое поведение, характерное для многих систем такого типа, но точно не отражает ни одной из них.

но расширяют нашу осведомленность о такого рода факторах, которые в наибольшей степени определяют динамическое поведение системы.

12. 7. Замечания об испытании модели

Приведенный обзор пригодности модели имеет своей основой теоретическое положение, которое, по-видимому, отличается от того, что ранее говорилось по этому вопросу в литературе об управлении и экономике. Приходится сказать «отличается, по-видимому», так как в большей части литературы очень слабо проявляется правильное понимание предпосылок, лежащих в основе утверждений о практической пригодности модели. Для внесения большей ясности в понимание предыдущих разделов этой главы ниже дается анализ некоторых точек зрения, которым противостоит позиция автора настоящей книги. Ни одна из этих точек зрения не имеет большого распространения, но все они так или иначе встречаются в печати или в отдельных высказываниях. Некоторые из них вообще выражены неясно, и их можно лишь подразумевать по тем или иным признакам.

Пригодность независимо от цели. Пригодность и значение модели часто рассматриваются независимо от ее назначения. Однако известно, что о полезности любого явления можно судить лишь при наличии ясного представления о цели. Цель определяет рамки того решения, которое модель должна дать.

Пригодность модели не следует отделять от значения и осуществимости поставленных задач. Очень часто подразумевается либо прямо утверждается, что назначением модели является прогнозирование будущего. Если разумность и полезность цели не доказана, то модель, направленная к этой цели, берется под сомнение.

Другим, часто лишь подразумеваемым назначением модели является «объяснение» поведения действующей системы. Соответственно цель многих таких моделей состоит в «воспроизведении» образа действия системы. Модель, построенная на базе исторических, статистически определяемых связей переменных, могла бы воспроизвести с известным приближением фактическую систему. Однако модель способна объяснить поведение системы лишь в том случае, если твердо установлено, что взаимосвязи переменных модели отражают истинные при-

чины действий реальной системы. Дело в том, что любые данные могут быть достаточно точно выражены графически при помощи кривых. Однако *конечный* результат не даст нам никаких сведений о самом механизме причинности. Это значит, что нельзя быть уверенным в сходстве поведения модели и реальной системы за пределами периода, охваченного фактическими данными, отражающими действие той и другой.

Обоснование процедуры испытаний. Любая «объективная» процедура определения пригодности модели основывается в конечном счете на допущении или вере в то, что сама процедура или поставленные перед ней задачи вполне приемлемы без каких-либо объективных доказательств.

В исследованиях статистического значения обычно считается само собой разумеющимся, что сама «мера значения» является значительной. И все же очень часто нет ответа на вопрос, что же в самом деле является достаточно правильным, так как результат «объективного» исследования не сопоставляется с целью¹.

Многие будут возражать против изложенных ранее способов определения пригодности модели в зависимости от субъективной оценки. Все же по ряду пунктов «объективные» методы основываются именно на этих положениях. Объективные методы полезны, если они основаны на здоровых началах и если критерии пригодности могут быть предварительно проверены с помощью какой-либо промежуточной количественной процедуры. Существует опасность, однако, что эта количественная процедура может дать лишь видимость достоверности. Тогда этот метод испытания превращается в псевдонаучный ритуал. Принятые предположения, основанные на суждениях или просто

¹ В качестве иллюстрации можно привести пример семинара, на котором рассматривалась гипотеза о функции решения. Выбранная функция относилась к низшим ступеням управленческой иерархии. Ее выбор был обусловлен наличием исторических данных. В 90% случаев эти данные подтверждали гипотезу. Поэтому гипотеза считалась справедливой. Однако докладчик не смог ответить на вопрос о действительной доброкачественности функции решения, а также на вопрос, не слишком ли много затрачено усилий для того, чтобы сделать ее доброкачественной (область исследования была весьма обширной). Ведь не существует критерия, при помощи которого можно было бы определить пригодность самого метода испытания пригодности. Поэтому в действительности было лишь отмечено, что процедура решения в реальных условиях не является случайным процессом. Вряд ли найдется кто-либо, утверждающий обратное.

на вере, могут быть забыты, а объективное испытание, вполне пригодное для первоначальной цели, может быть применено в совершенно другой области, где оно окажется бесполезным или ошибочным.

Г **Прогноз будущего состояния системы.** Модель выражает «закон поведения» системы. Поэтому она стремится объединить в себе все то, что другими способами не было связано и могло бы давать противоречивую информацию. Можно ожидать, что в пределах сферы действия этого закона модель прогнозирует будущее действительное поведение системы, если оно на самом деле управляется «законом». В данном случае следует проявить особую осторожность при определении и истолковании «закона», выражаемого моделью. Мы судим о пригодности модели, сравнивая ее прогнозы с наблюдениями над поведением системы, которую она представляет. В чем же выражается этот прогноз, каким образом можно сравнить модель с действительно существующей системой?

В качестве примера того, чем мы не располагаем в общественных системах, можно взять солнечную систему, которая представляет собой группу тел, поведение которых зависит от очень небольшого числа основных сил (инерционные силы и силы тяготения). Это «открытая» система; она не является информационной системой с обратной связью, в которой действуют силы, могущие заставить какую-либо планету вернуться к своей первоначальной орбите, если последняя нарушена прохождением какого-либо постороннего небесного тела. Это система, в которой силы, не объясняемые первичными законами (инерцией и тяготением), бесконечно малы по сравнению с главными силами. Это система, чье особое состояние в будущем представляет для нас интерес. Это система, чье *особое состояние* в будущем не изменится от того, что оно стало в значительной мере известным.

Признанная полезной модель солнечной системы предсказывает *время предстоящих явлений*, например восход солнца, смену времен года, лунные затмения. Полезность модели заключается в ее способности предсказывать это; точность прогнозов измеряется величиной расхождения во времени и пространстве между прогнозом и наблюдениями действительности.

Очень часто аналогичные способы испытания пригодности применяются к моделям общественных систем без достаточной критической проверки, являются ли цели и основания до-

статочно пригодными. Прежде чем применить к экономической или промышленной модели способ ее испытания на прогнозирующую способность, следует поставить ряд вопросов. Существует ли модели предсказывать особые события? Имеются ли основания полагать, что такая задача выполнима? Является ли это наиболее эффективным способом использования модели? Достаточно ли независима система в самом процессе прогнозирования?

Экономические системы существенно отличаются от солнечной системы. Поведение экономических систем определяется тем, что они относятся к числу информационных систем с обратной связью, в то время как солнечная система представляет собой открытую конечную систему. Нет никаких оснований предполагать, что и природа и цели моделей являются заведомо идентичными. Поведение информационных систем с обратной связью таково, что в них решения определенных задач постоянно соответствуют состоянию самой системы, поскольку внешние отклоняющие воздействия возбуждают внутри системы замкнутые реакции, восстанавливающие движение к цели.

В экономической системе имеются значительные «шумы» (помехи), которые нельзя объяснить действием каких-то гипотетических законов. Влияние этих неизвестных шумов часто бывает соизмеримо с влиянием закономерных сил. Это значит, что система в будущем может быть подвержена всякого рода отклонениям под влиянием этих неопределенных факторов.

Даже при наличии вполне устойчивой организационной структуры, правил и реакций людей, определяющих главные динамические характеристики системы, нельзя представить себе столь *совершенную* модель, чтобы в ней была бы *доподлинно* известна любая взаимосвязь. Поэтому приходится иметь дело с моделями, в которых *каждая* функция решения, по крайней мере в принципе, содержит шум или некоторый неопределенный компонент. Истинная природа этого шума неизвестна, первопричина его не обнаружена. (Мы можем иметь лишь данные о его величине и некоторые статистические характеристики.) Компоненты шумов используются в модели так же, как и другие ее составные части. Структура и характеристики модели определяют природу ее реакции на эти шумы.

Не располагая данными о мгновенном значении шумов, все же можно исследовать *характер* поведения системы, учитывая ее чувстви-

тельность к вводам шумов. В модели точное поведение переменных во времени зависит не только от ее структуры и первоначального значения переменных, но также от этого неизвестного шума. Поэтому отношение определенных факторов к неопределенным выражает способность модели предсказать состояние системы в некоторый будущий период времени.

В результате рассмотрения сущности компонентов социальных систем и их структуры может оказаться, что нам не следует рассчитывать на быстрое создание модели, которая была бы полезной для прогнозирования состояния системы в будущем. Такого рода прогнозирования будущего состояния возможно лишь в той мере, в какой точно известные законы поведения доминируют над неизвестными шумами. В модели солнечной системы неопределенные силы воздействия на планеты бесконечно малы по сравнению с уже известными силами. В отношении социальных систем этого сказать нельзя.

Взаимоотношения между структурой, шумами и прогнозами будущего состояния системы могут быть с исчерпывающей полнотой продемонстрированы путем экспериментирования с моделью. Пусть имеются две идентичные модели, которые содержат шумы в одном или нескольких пунктах принятия решений, и пусть эти модели представляют соответственно «действительную» систему и «модель» этой «действительной» системы. Предположим, что модель идентична по структуре и другим параметрам «действительной» системе и даже имеет те же статистические характеристики источников шумов. Что же касается мгновенных значений шумов, то они неизвестны и отличаются друг от друга. По мере отхода с течением времени от первоначальных условий обе модели начнут расходиться в числовом значении переменных, образуемых моделями. Вскоре не останется явного мгновенного подобия между значениями соответствующих переменных обеих систем¹. Однако в течение длительного времени обе системы обнаружат один и тот же общий тип поведения. Хотя в определенный момент будущего «модель» может не оказаться полезной для прогноза условий идентичной «действительной» системы, характер ее действия окажется таким же. У нее будет такой же характер и степень чувствительности к связан-

ным с шумами возмущениям. Более того, характер как «модели», так и «действительной» системы окажется зависящим от структуры и коэффициентов системы. «Модель» может быть использована для прогноза такого изменения «действительной» системы, которое сделало бы последнюю более желательной даже при наличии шумов, исключающих возможность прогноза особых состояний системы в будущем.

Мы будем полагать поэтому, что динамическая модель системы отображает и прогнозирует поведение таких характеристик действительной системы, как прибыльность, устойчивость занятости и цен, тенденция к дальнейшему росту, типичные смещения фаз в изменении переменных и т. п., и в то же время не может дать прогноз будущего состояния системы, кроме того случая, когда система имеет непрерывные и не склонные к быстрым изменениям характеристики, которые способствуют стабильности условий и тенденций в системе в течение некоторого времени, несмотря на возмущающие шумы.

Действительно, одной из характерных особенностей системы, о которой можно судить по ее модели, является свойственная ей ограниченная способность к прогнозированию. Используя модель, мы должны получить возможность исследовать то, что по аналогии с линейной системой в технике называется «полем допуска». В нелинейных системах это понятие неопределенное, но оно включает в себе характеристику степени устойчивости тренда¹ и цикличности, а также быстроту, с которой они могут быть изменены под влиянием случайных факторов. Чем уже поле допуска в поведении любого компонента системы, тем длительнее этот компонент может противостоять изменениям. Совершенно ясно, что в действительности в области управления и экономики мы имеем дело с системами с большим полем допуска, в которых компоненты шумов в большой степени определяют состояние системы в будущем даже в том случае, когда действие шумов кратковременно и составляет лишь часть цикла. У нелинейных систем в разное время, надо полагать, имеются различные поля допусков; таким образом, уязвимость систем изменяется вместе с изменением их состояния.

Определенность системы в смысле воспроизведения прошлого и настоящего в будущем

¹ Для системы, рассмотренной в главе 2, расхождения между «моделью» и «действительной» системой станут ощутимыми только через несколько недель после идентичного исходного состояния.

¹ Таким термином обозначается устойчивое направление изменений или тенденция развития статистически изучаемой динамики явлений.— *Прим. ред.*

будет зависеть от степени ее устойчивости. Система с сильными и неустойчивыми тенденциями к колебаниям легче поддается прогнозированию после ближайшего цикла возмущения, чем более устойчивая по природе система, в которой колебания в значительной мере зависят от шумов, причинно не связанных с поведением самой системы.

Взаимосвязь между шумами, руководящими правилами, данными наблюдений, поведением характеристик системы и прогнозами может быть проиллюстрирована путем чрезвычайно простой аналогии с игрой «орел или решка». Здесь обычно доминируют неизвестные и неуправляемые силы, определяющие сторону монеты, которая окажется сверху. Нельзя точно предсказать результат каждого подбрасывания монеты. Что же касается прогноза на основании статистических данных, то он будет зависеть от принятой модели поведения системы. Модель процесса в этом случае будет иметь дело с результатами весьма длительного действия, а не с отдельными событиями в каждый данный момент, которыми управляют случайные силы. Предположим, что поведение системы, в которой каждое событие не зависит от прошлого и является следствием неуправляемых сил, нам не нравится. Возможно ли внести в систему такие изменения, которые повлияли бы на характер результатов?

Обычный эксперимент с подбрасыванием монеты подразумевает наличие следующих правил и структуры системы:

- существует лицо или приспособление, подбрасывающее монету;
- монета подбрасывается;
- существует лицо или способ для наблюдения и регистрации положения монеты;
- монета осматривается, когда она на столе, а не в руке человека, подбрасывающего ее;
- монета осматривается вновь лишь в том случае, если после последнего осмотра сделан новый подбор.

Поведение системы существенным образом изменится, если какое-либо из руководящих правил будет нарушено. Размах колебаний системы зависит от частоты подбрасывания монеты. Если осмотр делается чаще, чем подбрасывается монета, или если эти два действия производятся со случайными интервалами, то появляется некоторая возможность предсказания определенного исхода, так как воз-

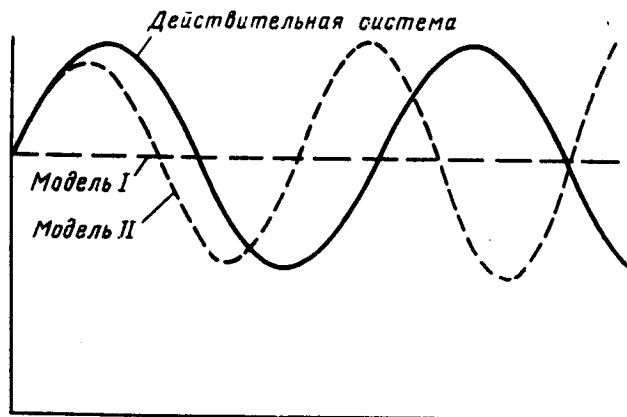
никает вероятность, что монета между двумя осмотрами не будет подброшена. Чувствительность системы к неуправляемым влияниям может быть уменьшена (в данном случае до полной нечувствительности) путем изменения второго условия в том смысле, что монета совсем не будет подбрасываться. Монета является тем пунктом, в котором проявляются все признаки поведения системы. Как и в системе управления, эти признаки возникают и зависят от руководящих правил и структуры системы, которая охватывает не только тот пункт, в котором эти признаки могут быть наблюдаемы, но и другие пункты.

Если наблюдения в системе управления следуют непосредственно одно за другим, то нельзя ожидать сколько-нибудь заметных изменений в интервале между ними, так же как при неоднократном осмотре монеты между смежными бросками нельзя обнаружить никаких изменений в ее положении. Если попытаться предсказывать будущее, заглядывая все дальше и дальше вперед, настоящее быстро теряет свое значение, а привходящие случайные явления приобретают все большее регулирующее влияние. Быстрота, с которой ослабевает способность по-настоящему воздействовать на будущее, зависит от структуры и руководящих правил системы, а также от того, что именно предсказывается. Например, можно не поверить предсказанию о дне, когда будет иметь место наиболее низкая точка очередного экономического спада в пределах одного месяца, и в то же время признать полностью вероятным предсказание о среднем темпе экономического роста на ближайшее десятилетие при двукратном отклонении в обе стороны от среднего темпа. Желаемая точность (чувствительность системы к шумам в условиях конкретного случая) и ожидаемая продолжительность сохранения прошлых условий (которую мы характеризуем как поле допуска) определяют эту уверенность.

Несложная иллюстрация (см. рис. 12-1) помогает понять различие между прогнозом поведения *характеристик* и прогнозом состояния системы в какое-то определенное будущее время. Пусть в реальной системе имеется переменная, которая ведет себя как синусоида, изображенная сплошной линией. Соответствующие переменные двух моделей, из которых каждая должна представлять действительную систему, изображаются: первая в виде горизонтальной прямой, вторая в виде синусоиды с медленно возрастающей амплитудой и периодом, несколько

более коротким, чем у переменной действительной системы. Которая из моделей лучшая? Ответ зависит от применяемого способа испытания и назначения модели.

Предположим, что модель призвана служить средством прогнозирования состояния действительной системы в течение какого-то определенного будущего периода. В качестве критерия точности прогноза берется среднее значение



Р и с. 12-1. Критерий пригодности модели.

суммы квадратов разностей величин для модели и действительной системы, взятым за ряд близко стоящих друг к другу периодов времени. (Такой критерий является общепринятым, обычно он выбирается произвольно, без подтверждения его полезности, главным образом потому, что он очень прост с точки зрения математических вычислений).

При таком способе испытания первая модель, переменная которой, представляющая действительную систему, изображается прямой линией, обладает лучшей прогнозирующей способностью, так как ошибка окажется меньше, чем в случае использования второй модели.

Однако несмотря на то, что первая модель с точки зрения приведенного выше произвольного критерия способна лучше предсказать будущее состояние системы, нельзя ожидать, что с ее помощью можно будет обнаружить способы реконструкции действительной системы с целью изменения ее действия. Первая модель не дает представления о характерных колебаниях системы. Она исключает возможность проведения необходимой проверки собственной динамичности, подобной динамичности действительной системы. Поэтому можно сделать заключение о ее непригодности, так как она не способна вос-

произвести похожую на синусоиду линию поведения, сходную с той, которая присуща действительной системе.

Рассмотрим вторую модель (рис. 12-1). Предположим, что ее структура и руководящие правила не встречают серьезных возражений. Дает ли она представление о динамическом характере, сходном с поведением действительной системы? Налицо преобладающий синусоидальный характер изменений. Период колебания у модели короче, чем у действительной системы, но всего лишь на 25%. Коэффициент отклонения (отмечающий тенденцию колебания к возрастанию или затуханию) представляет собой незначительную отрицательную величину, мало отличающуюся от нулевого значения фактической системы. Поскольку вторая модель и действительная система имеют похожие амплитуды, период и коэффициент отклонения, следует признать, что эта модель может быть использована для отображения действительной системы. Выполненный анализ имеет смысл только потому, что мы верим в *независимость* причинных взаимосвязей действительной системы, которые представлены в механизме модели. Множество различных деталей модели, не имеющих подобия в реальной системе, могут быть скомпонованы так, чтобы воспроизвести кривую второй модели на рис. 12-1. Убеждение в пригодности этой модели как экспериментального инструмента для изучения результатов изменения структуры и руководящих правил действия реальной системы может быть основано только на уверенности в отдельных компонентах модели и на том, что в совокупности они отражают интересующие нас стороны поведения моделируемой системы.

Что же касается модели, которая смогла бы прогнозировать состояние действительной системы в определенный момент будущего, то здесь отметим следующее. Экономические и промышленные системы даже в первом грубом приближении не смогут быть независимыми от процесса действительного прогнозирования состояния системы в далеком будущем. Прогнозы необходимы, как руководство к действиям, которые будут иметь место в моделируемой системе. Действия, предпринятые в результате прогноза, непосредственно повлияют на поток событий, которые и были объектом прогноза. Удачная модель для предсказания будущего состояния предприятия или экономической системы не сможет оставаться независимой от этой системы, за исключением такого случая, когда ее предсказание окажется ошибочным. Если бы появи-

лась модель, обладающая несомненной способностью предсказывать будущее какой-либо социальной системы, то, будучи приведена в действие, она упразднила бы саму себя.

«Процедура прогнозирования» может рассматриваться лишь как правило выработки решения и должна, подобно всем другим правилам, занимать свое место в системе. Она имеет прямое отношение к действиям, которые явятся результатом «предсказания». Эта процедура, следовательно, не существует отдельно. Она становится составной частью более развернутой модели всей системы и участвует в формировании динамического характера поведения системы как целого.

Примерно то же самое можно сказать о динамических моделях промышленных предприятий. По мере того как они становятся все более общепонятными и если при этом они достаточно эффективны как основа для усовершенствования системы, они включаются в арсенал конкурирующих методов, существование которых влияет на представляемые ими системы. Различие между разными методами может заключаться в скорости их воздействия. Надежный прогноз самостоятельного события, например увеличения продаж, воспринимается значительно легче, и реакция на него происходит быстрее, чем реакция на прогноз, согласно которому некоторое изменение образа действий фирмы усилит вероятность увеличения продаж.

Именно поэтому нельзя забывать о воздействии, которое оказывает изучение поведения системы на изучаемую систему. Опыт показывает, что гипотеза о правилах принятия какого-либо решения, если она рассматривается как часть модели системы, раскрывающей смысл гипотезы, начинает немедленно воздействовать на действительную систему. Вопросы, которые нужно поставить для того, чтобы получить информацию о какой-либо организации и ее руководителях, заставляют людей пересматривать свое отношение к делу. Исследователь, моделирующий систему (если ему необходимо сравнить в той или иной мере свою модель с действительностью), должен помнить, что он сам уже становится частью изучаемой системы. Чем больше работники изучаемой системы знают о целях и возможных результатах исследования, тем сильнее процесс исследования воздействует на них. Из этого не вытекает, что цели изучения системы следует утаить. Это лишь означает, что исследователь должен быть чутким к тем изменениям структуры системы и руководящих правил, которые могут произойти исключительно в силу того, что система подверглась изучению. При некоторых обстоятельствах это воздействие может оказаться достаточно сильным, чтобы существенным образом повлиять на динамические характеристики системы прежде, чем будут достигнуты даже чисто формальные результаты исследования.