

В.М. Добкин

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ В УПРАВЛЕНИИ

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД.

системный анализ, системные исследования — не просто модные слова, свидетельствующие о понимании исследователем сложности и комплексности поставленных перед ним задач, это — научная методология, ... она требует для своего успешного применения специальных знаний и навыков... Существенная отличительная особенность методологии системных исследований — ее непосредственная направленность на решение конкретных практических проблем.

академик Д. М. Гвишиани

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

позволяет расчленив сложную систему на элементы, сложную задачу — на совокупность простых, выразить их количественно, а значит, с большей степенью точности. Мало того, сложная задача может быть сведена не просто к менее сложным, но именно к тем, для решения которых есть отработанные методы.

академик В. Г. Афанасьев

В. М. Добкин

**СИСТЕМНЫЙ
АНАЛИЗ
В УПРАВЛЕНИИ**



Москва «Химия», 1984

6П7.33.05

Д56

УДК 658.012.122

519.715

Добкин В. М.

Системный анализ в управлении.— М.: Химия, 1984.— 224 с., ил.

В книге конкретизирована сущность системного подхода к подготовке и выбору решений проблем планирования и управления. Рассматриваются процедуры и приемы выполнения основных этапов системного анализа: выбор целевой функции (критерия оптимальности) с учетом изменений качества и дефицитности продукции и ресурсов, выявление и систематизация путей достижения целей, выбор вариантов решений. Методические положения и рекомендации иллюстрируются примерами анализа актуальных проблем повышения эффективности работы предприятий, институтов, объединений и отрасли в целом.

Книга рассчитана на широкий круг специалистов, связанных с решением указанных проблем в химической индустрии и в отраслях, близких к ней по организации производства и управления, а также на преподавателей и студентов вузов.

224 с., 24 рис., 3 табл., список литературы 109 ссылок.

Рецензент докт. техн. наук В. С. Торопцов.

Д $\frac{2801000000-173}{050(01)-84}$ 41-85

© Издательство «Химия», 1984 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	5
Введение	6
Глава 1. Системный анализ проблем управления, его основные этапы	9
1.1. Сложные системы	9
1.1.1. Основные признаки сложных систем	10
1.1.2. Функционирование систем	12
1.1.3. Управление системами	17
1.2. Сущность системного подхода	23
1.2.1. Системный подход к анализу объектов	23
1.2.2. Системный подход к решению проблем	26
1.3. Развитие методологии системных исследований	32
1.3.1. Становление системного подхода	32
1.3.2. Исследование операций, общая теория систем и кибернетика	36
1.3.3. Системный анализ	45
1.4. Основные этапы системного анализа проблемы	50
1.4.1. Факторы, влияющие на выбор этапов	50
1.4.2. Этапы системного анализа внутриотраслевых проблем	52
Глава 2. Цели и условия решения проблем, их формализация	56
2.1. Основные процедуры формирования ограничений и целевой функции	56
2.1.1. Цели и задания	56
2.1.2. Целевая функция и ограничения	61
2.1.3. Соизмерение подцелей	64
2.2. Выявление и систематизация подцелей	71
2.2.1. Построение «дерева целей»	72
2.2.2. «Дерево целей» промышленного предприятия	77
2.2.3. Анализ влияния внешних связей и отдаленных результатов принятых решений	81
2.3. Система ограничений	87
2.3.1. Виды ограничений	87
2.3.2. Выбор численных значений ограничений, проверка их непротиворечивости	90
2.4. Формирование целевой функции и критериев оптимальности	92
2.4.1. Выбор вида целевой функции	93
2.4.2. Формирование целевой функции на основе расчетной оценки эффективности производства	98
2.4.3. Формирование целевой функции на основе оценки народно-хозяйственной эффективности системы	102
2.4.4. Формирование целевой функции с использованием эвристических и комбинированных методов	113
Глава 3. Пути достижения целей, их выявление и систематизация	116
3.1. Структуризация проблемы, ее основные процедуры	116
3.1.1. Основные понятия структуризации проблем	116
3.1.2. Основные процедуры структуризации проблем	117
3.2. Уточнение структуры системы	121
3.2.1. Уточнение структуры объекта управления	121
3.2.2. Функционально-информационная структура системы управления	126
3.3. Критический анализ функционирования системы	138
3.3.1. Некоторые приемы анализа функционирования системы	139

3.3.2. Анализ причинно-следственных связей	145
3.4. Систематизация путей достижения целей, оценка их значимости	149
3.4.1. «Дерево путей достижения целей»	149
3.4.2. Оценка значимости подпроблем	151
Глава 4. Варианты решений, их выявление и выбор	153
4.1. Решения подпроблем и проблемы в целом	153
4.1.1. Основные виды решений подпроблем	154
4.1.2. Формирование решения проблемы в целом	159
4.2. Выявление и выбор альтернатив	161
4.2.1. Выявление альтернатив и их выбор в условиях определенности	161
4.2.2. Выбор альтернатив в условиях неопределенности	164
4.3. Выбор оптимальных решений	169
4.3.1. Постановка и решение задач оптимизации	169
4.3.2. Оптимальные взаимодействия подсистем	176
4.3.3. Три задачи исследования операций	185
Глава 5. Применение системного анализа для совершенствования технико-экономических норм и нормативов	191
5.1. Структура системы	192
5.1.1. Состав подсистем	192
5.1.2. Внутренние и внешние связи системы	196
5.2. Нормативы эффективности производства и использования производственных мощностей	200
5.2.1. Перспективы использования показателя полезности продукции и ресурсов	200
5.2.2. Нормативы использования производственных мощностей	204
5.3. Перспективы взаимосвязи планирования и нормирования в условиях использования АСУ	211
Заключение	212
Литература	216
Предметный указатель	220

ПРЕДИСЛОВИЕ

В последние годы партия и правительство приняли ряд важных решений, направленных на расширение прав предприятий и министерств, повышение их ответственности, на развитие инициативы трудящихся. Это существенно увеличивает состав специалистов, участвующих в выявлении ресурсов дальнейшего роста эффективности производства, в подготовке предложений по совершенствованию планирования и управления, повышению уровня организаторской работы во всех звеньях. Успешная проработка этих проблем возможна лишь на базе комплексного, системного подхода, тщательного анализа всех факторов, влияющих на выбор решения, строгого экономического обоснования.

В связи с этим автор считает своевременной задачей помочь широкому кругу специалистов ознакомиться с сущностью системного подхода к решению управленческих задач, с методами и приемами его практического применения.

В книге использован и обобщен материал цикла лекций (с анализом конкретных ситуаций), которые неоднократно были прочитаны в Институте повышения квалификации руководящих работников и специалистов химической промышленности. В ней нашли отражение также и некоторые практические работы по системному анализу отдельных проблем, выполненные с участием автора.

Автор признателен профессору В. С. Торопцову за полезные рекомендации, сделанные при рецензировании рукописи, а также пользуется случаем поблагодарить сотрудников лаборатории АСУ НИОПиК и многих других товарищей по работе, в контактах с которыми уточнялись некоторые точки зрения и методические приемы, изложенные в книге.

Автор

Трудно переоценить важность вдумчивого, обоснованного решения организационных и управленческих проблем, которые систематически ставит жизнь перед руководителями и специалистами разных уровней управления. Остроту этого вопроса образно подчеркивает писатель Юрий Скоп в романе «Техника безопасности» *.

Устами одного из героев — директора крупного горно-химического комбината он напоминает, что излюбленные лозунги «Давай, давай!» пора сменить на «Давай подумаем!».

Не только герой романа, но и директор любого другого предприятия той же, к примеру, химической промышленности ежегодно извлекает из папки с текущей почтой от 700 до 1000 приказов Министерства, 150—300 приказов Всесоюзного промышленного объединения, несколько сот директивных писем, решений коллегии Министерства, пленума и секции Научно-технического совета отрасли, решений Совета директоров подотрасли и т. д. Многие из этих документов выдвигают перед руководителем организационные управленческие проблемы. Проблемы ставит и сама деятельность предприятия или организации. Ошибки, допущенные при их решении, не только принесут ущерб, но в некоторых случаях приведут к возникновению еще более сложных проблем.

Каков бы ни был ранг руководителя, перед которым ставится проблема, в ее постановке и проработке, а также в подготовке решения участвует широкий круг специалистов предприятий, институтов, аппарата управления. К каждому из них относится в той или иной мере призыв «Давай подумаем!»

Как отозваться на этот призыв? Ведь речь идет о том, чтобы не только найти необходимое время в жесткой «текучке», но и наилучшим образом организовать проработку проблемы с целью подготовки обоснованного наилучшего решения. Здесь возникает множество методических вопросов. Как выявить возможные варианты решения? Как из нескольких возможных вариантов выбрать именно тот, который окажется лучшим? Что считать лучшим решением?

Методологию, которая дает ответы на эти вопросы, называют *системным анализом*. Особенно интенсивно эта методология формировалась в последние 30—35 лет одновременно с развитием вычислительной техники. Быть может поэтому среди работников, недостаточно знакомых с системным анализом, сложилось мнение, будто бы он находит применение только в

* Роман Ю. Скопа «Техника безопасности» (Роман-газеты № 21—22, 1982) положен в основу сценария кинофильма «Факты минувшего дня», поставленного кинорежиссером Владимиром Басовым.

задачах, которые решаются системами управления с использованием вычислительной техники.

Такая точка зрения не вполне правильно отражает суть системного анализа. Вопрос этот будет подробно рассмотрен в книге, а пока лишь отметим, что системный анализ определяет процедуры проработки любой проблемы с целью подготовки и обоснования ее решения, если в принципе оно не является единственным возможным. Сюда относится также выбор оптимального решения с использованием вычислительной техники и те случаи, когда для принятия решения не нужно ничего, кроме здравого смысла, интуиции и опыта.

Использование приемов системного анализа опытными руководителями и специалистами дисциплинирует ход их рассуждений, помогает повысить надежность выводов, избежать упущений, более обоснованно установить, где достаточно ограничиться здравым смыслом одного руководителя, а где важна экспертиза группы специалистов. При этом методология системного анализа позволяет наиболее правильно организовать выбор такого коллективного проекта решения, который был бы наиболее объективным и вместе с тем достаточно единодушно одобренным. Наконец, использование принципов системного анализа подскажет целесообразность применения количественных оценок (не всегда на основе использования вычислительной техники) там, где по традиции ограничивались только качественным подходом.

Не менее важную помощь управленцам системный анализ окажет и в тех случаях, когда для решения проблемы оправдано применение экономико-математических методов и вычислительной техники.

В настоящее время эффективность использования этих «инструментов», чаще всего оказывается ниже их возможностей. Одной из основных причин этого является недостаточное творческое сотрудничество работников аппарата управления и разработчиков автоматизированных систем управления.

Специалисты в области экономико-математических методов чаще всего не имеют опыта организационного управления, не знают всех «тонкостей» хозяйственного руководства, всех конкретных (нередко частных) трудностей, возникающих в процессе выбора и реализации решений. В то же время работники аппарата управления, имеющие большой опыт, пока еще редко непосредственно участвуют в разработке задач. Причина этого в отсутствии специальных знаний, необходимых для взаимопонимания и взаимодействия с разработчиками АСУ, а также в недооценке реальных возможностей этих систем.

Изучение системного анализа поможет управленцам правильно оценить возможности вычислительной техники не только для совершенствования учета и отчетности, но и для выбора наилучших решений, осознать необходимость выделить в своем напряженном расписании время для творческого участия в разработке подобных задач, даст знания, необходимые для руковод-

ства наиболее ответственными этапами такой разработки (постановка задач, выбор мер, обеспечивающих достаточно полную и достоверную исходную информацию).

Работая над этой книгой, автор стремился не только изложить сведения о процедурах и приемах системного анализа проблем, но и убедить читателя в преимуществах этих приемов, в их соответствии здравому смыслу, поставленному в строгие рамки логики. Любые приемы недостаточно просто знать, ими необходимо овладеть, приобрести навыки их использования. С этой целью по ходу изложения материалов читателю неоднократно будет предложено отложить на время книгу и попытаться решить тот или иной вопрос до ознакомления с описанием его решения. Самостоятельная работа над такими заданиями окажется полезной независимо от правильности их выполнения.

Для методологии системных исследований, как и для каждого сравнительно нового научного направления, характерна неоднозначность понятийного аппарата. В этих условиях очень важно избежать путаницы, возникающей вследствие разной трактовки одних и тех же терминов. Учитывая это, автор считал важным уточнять содержание многих используемых терминов, не претендуя на то, что такое толкование является единственно правильным.

Хотелось бы также подчеркнуть, что некоторые рассмотренные примеры выходят за рамки только иллюстрации применения приемов системного анализа. В них, как правило в дискуссионном порядке, обсуждаются такие актуальные проблемы, как выбор критериев оптимальности, учет фактора дефицитности материальных и трудовых ресурсов, напряженность плановых заданий, обеспечение соответствия локальных интересов народнохозяйственным и др. Эти примеры могут послужить информацией для размышления, помочь в проявлении творческой инициативы.

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ УПРАВЛЕНИЯ, ЕГО ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ

1.1. СЛОЖНЫЕ СИСТЕМЫ

В последние 20—25 лет методологию выбора научно обоснованных решений проблем зачастую связывают с такими понятиями, как системный подход, комплексный подход, системный анализ, системотехника, исследование операций, методы оптимизации и др. Близкими к ним по содержанию считают также общую теорию систем, теорию принятия решений, системологию.

В чем сущность этих научно-методических направлений, в чем их общность и различие?

Отложите на несколько минут книгу и попытайтесь записать ответ на поставленный вопрос. Старайтесь избегать слишком общих определений. Сущность методологии желательно конкретизировать, отметив, что требует она во-первых, во-вторых и т. д. Четкое перечисление существенных признаков методологии поможет не упустить некоторые важные требования при выборе научно обоснованных решений.

Опыт системных исследований подтверждает высокую эффективность подобного приема, сущность которого состоит в том, что до начала обсуждения какого-либо проблемного вопроса каждый участник формулирует свою предварительную точку зрения, на которую еще не повлияли позиции других специалистов.

Если Вы не взялись за выполнение задания только потому, что у Вас еще нет достаточно четких представлений о содержании перечисленных понятий — не огорчайтесь! Ведь основное назначение этой главы состоит именно в том, чтобы помочь читателю составить такие представления. Кроме того, как было отмечено во Введении, даже мнения признанных специалистов по указанным вопросам далеко не однозначны.

Начнем с того, что попытаемся уяснить сущность понятия «системный подход». Обратимся к определениям. Из коллективного труда под редакцией В. Г. Шорина [1, с. 10] читатель узнает, что «системный подход — это эксплицитное выражение процедур представления систем и способов исследования объектов».

В книге Оптнера [2] нет строгого определения, но встречается утверждение, что «системный подход к проблеме — это подход к проблеме, как к системе». Для специалистов по системным исследованиям в этом утверждении заложена важная мысль, к которой мы возвратимся позднее, но для неискушенного читателя оно похоже на каламбур, а не на определение.

Обе цитаты вряд ли позволяют уяснить сущность системного подхода, но убеждают в целесообразности рассмотреть в первую очередь понятие «система».

1.1.1. Основные признаки сложных систем

Термин «система» греческого происхождения и в буквальном переводе означает целое, составленное из частей. Если бы мы попытались определить сущность этого понятия по литературным источникам, нас ждало бы еще большее разочарование, чем при попытке уяснить сущность понятия «системный подход». Мы встретились бы с десятками определений, из которых вряд ли нашлось бы одно, которое полностью оправдало бы наши надежды. Приведем лишь некоторые, наиболее характерные.

Первое научное определение системы принадлежит Берта-ланфи, который понимает под этим термином комплекс элементов, находящихся во взаимодействии.

Акоф считает, что реальный объект рассматривается как система, если результат его поведения определяется как продукт взаимодействия его частей [3].

Джонсон, Каст и Розенцвейг подчеркивают целенаправленность систем. «Систему — пишут они — можно определить, как некоторое множество элементов, созданное для достижения наперед заданной цели» [4].

По Оптнеру, «система есть ищущий процесс. В более полном определении систему описывают как набор объектов, имеющих данные свойства, и связей между объектами и их свойствами» [2].

Наконец, в словаре-справочнике «Математика и кибернетика в экономике» [5] приводится еще более абстрактное определение системы, авторами которого являются А. И. Уемов и В. И. Богданович: «Система — множество, на котором реализуется заранее данное отношение R с фиксированными свойствами P ». А далее отмечается, что «при всей важности этого понятия для современной науки в настоящее время не существует единого общепринятого определения системы».

В чем же состоят основные трудности, препятствующие четкой и достаточно конкретной формулировке сущности понятия «система»? Чтобы ответ на эти вопросы был более ясен, приведем в качестве примера небольшой перечень различных систем: система уравнений, система взглядов, горная система, нервная система, тормозная система, комплексная система управления качеством продукции и т. д. Бросается в глаза чрезвычайное разнообразие видов систем, каждый из которых обладает рядом специфических особенностей. Чтобы в одном лаконичном определении охватить общие черты всех без исключения систем, необходимо абстрагироваться от их особенностей, но тогда формулировка окажется слишком общей.

Чтобы определить сущность интересующего нас понятия «система» не в общепрофильном, а в прикладном смысле, попытаемся преодолеть указанные трудности, используя два приема.

Во-первых, откажемся от попытки дать единое определение, охватывающее все системы без исключения. Для рассмотрения оставим лишь биологические, технические и социально-экономические системы, к которым относятся три последних примера из перечисленных выше. Как показал опыт кибернетики, сопоставление именно этих видов сложных систем оказывается особенно плодотворным.

Во-вторых, откажемся от попытки отразить основные общие особенности рассматриваемых систем в одном лаконичном определении. Вместо этого выявим несколько общих признаков, характерных для всех трех указанных выше видов систем. Выявить такие общие признаки удобно при сопоставлении конкретных систем.

Характерным примером сложной биологической системы может служить организм животного или человека. В качестве примера технической системы примем любое многостадийное производство химической технологии. Это же производство можно рассматривать и как пример социально-экономической системы, если под производством понимать не только совокупность технологических процессов и аппаратов, но и элемент общественного производства, объединяющий людей (как главную производительную силу) со средствами производства в процессе общественного труда.

Что общего у трех этих систем?

Первым важным признаком является то, что каждая система представляет собой структурно-организованную целостную *совокупность* более простых частей — так называемых *подсистем*. Такими подсистемами живого организма являются, например, нервная система, системы кровообращения, эндокринная система и т. д. В свою очередь, производство, как техническая система, состоит из отдельных стадий. Наконец, в составе промышленного предприятия как социально-экономической системы можно выделить цехи, службы, участки, бригады.

Второй важной особенностью, общей для всех трех рассматриваемых систем, является *взаимосвязь подсистем*, их взаимодействие в процессах целенаправленного функционирования системы и взаимное влияние как на собственные свойства и поведение, так и на свойства системы в целом.

Третьим важным признаком всех рассматриваемых систем является их *иерархичность*. Каждая подсистема может рассматриваться как более простая система (то есть младшего ранга), которую также можно представить в виде совокупности еще более простых взаимосвязанных компонентов. Такое расчленение систем (их декомпозицию) можно проводить вплоть до подсистем самого младшего ранга, именуемых *элементарными* (дальнейшее деление не представляется целесообразным для уяснения сущности функционирования данной системы). В свою очередь, каждая система входит в качестве подсистемы в другую, более крупную и сложную систему старшего ранга. Так, при

рассмотрении биологических систем в нервной системе могут быть выделены подсистемы: центральная и вегетативная. Эндокринная система представляет собой совокупность желез внутренней секреции, управляемых гипофизом, и т. д. С другой стороны, совокупности животных составляют уже зоологические системы: семью, стаю (стадо), популяцию.

Аналогичная иерархия имеет место и в технических системах. Каждая технологическая стадия представляет собой совокупность взаимосвязанных аппаратов. В аппарате гетерогенного катализа, например, в качестве подсистем могут быть выделены слой катализатора, система съема или подвода тепла и т. д.

Еще более четко иерархическая структура прослеживается в социально-экономических системах. Так, отдельные производства входят в состав предприятия. Совокупность предприятий, производственных объединений, исследовательских и проектных институтов, объединенных в производстве определенных групп продукции, составляет систему более старшего ранга, именуемую подотраслью. Далее, прослеживаются отрасль промышленности, отрасль народного хозяйства, общественное производство в рамках страны, в рамках социалистической интеграции.

Четвертым существенным признаком, общим для всех систем трех рассматриваемых видов, является то, что процессы их функционирования протекают во времени, т. е. эти системы являются *динамическими*. Кроме того, важно подчеркнуть, что все биологические, социально-экономические и некоторые технические системы являются также развивающимися.

Для уяснения понятий «система» и «системный подход», кроме приведенных выше четырех признаков, важно учесть также сущность процессов их функционирования. Вспомните приведенное выше определение системы по Опнеру, в котором подчеркивается, что «система — это ищущий процесс». Точнее было бы сказать, что в системах протекают целенаправленные процессы. Их совокупность представляет собой функционирование системы.

1.1.2. Функционирование систем

Система как совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих подсистем может быть упрощенно представлена схемой, показанной на рис. 1.

В общем случае подсистемы связаны между собой материальными, энергетическими и информационными потоками; их именуют *внутренними связями*. С другой стороны, каждая система связана с другими системами того же и старших рангов. Эти связи для данной системы правомерно именовать *внешними*. Легко убедиться, что в соответствии с принципом иерархичности внутренние связи системы будут внешними по отношению к подсистемам.

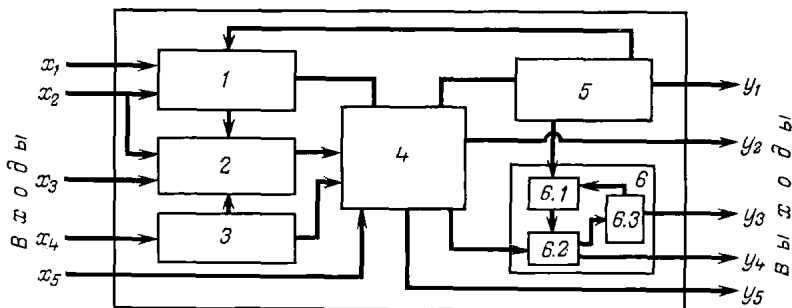


Рис. 1. Структурная схема системы:

1—6 — подсистемы старших рангов; 6.1—6.3 — подсистемы младших рангов.

В свою очередь, все внешние связи любой системы (подсистемы) можно подразделить на *входы* ($x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_m$), которыми принято называть внешние связи (потоки), направленные к системе и реализующие внешние воздействия на систему, и *выходы* ($y_1, y_2, \dots, y_j, \dots, y_n$), которыми будем называть внешние связи (потоки), исходящие от системы и представляющие собой результат ее функционирования, воздействия на другие системы, т. е. на внешнюю по отношению к данной системе среду.

Основная функция системы состоит в преобразовании (переработке) входов в выходы. Реализацию такого преобразования будем именовать *процессами основной текущей деятельности системы* или процессами ее функционирования в узком смысле этого понятия.

Применительно к промышленным предприятиям процессы основной текущей деятельности означают переработку ресурсов, поступающих на вход системы, в конечные результаты — продукцию и услуги. Результатами деятельности исследовательских и проектных институтов является информация, содержащаяся в выпускаемой (на выходе) научной и технической документации.

Кроме целевых (позитивных) конечных результатов, выходами системы могут быть и негативные результаты ее деятельности, например, сточные воды и выбросы в атмосферу, загрязняющие окружающую среду.

Соответственно и на входе системы наряду с ресурсами, необходимыми для ее функционирования, различают также негативные, нежелательные воздействия, нарушающие ее нормальную деятельность; их именуют *возмущающими воздействиями* или *внешними возмущениями*. Типичными примерами внешних возмущений для промышленных систем могут служить нарушения сроков поставок сырья и материалов, отклонения качества сырья от номинального, сбой в энергообеспечении и т. п.

Кроме внешних (на входе в систему), имеются и *внутренние возмущения*, нарушающие нормальное течение процессов функци-

онирования. Типичными примерами внутренних возмущений в производстве могут служить нарушения технологической дисциплины, аварийный выход из строя оборудования и т. п.

Важная особенность системы — *целенаправленность* основной деятельности проявляется в стремлении предотвратить, преодолеть или скомпенсировать возмущения, сохранить высокие целевые конечные результаты, уменьшить негативные последствия своей деятельности и экономно использовать ресурсы.

Таким образом, оценкой функционирования системы может служить ее *эффективность*, которая характеризуется отношением целевых конечных результатов к ресурсам, использованным как для получения этих результатов, так и для устранения (ограничения в допустимых пределах) негативных последствий функционирования. Подробнее вопросы оценки эффективности систем рассматриваются в разд. 2.4.

Чтобы оценивать эффективность системы, осуществлять меры по ее поддержанию и повышению, необходимо располагать сведениями о закономерностях процессов функционирования.

Математическое описание процессов функционирования. Значения выходов зависят от свойств системы, от входных воздействий на нее и, как правило, от совокупности параметров внутреннего состояния системы. Кроме того, учитывая, что системы являются динамическими, входы $\{x_i\}$, параметры состояния системы $\{z_i\}$ и ее выходы $\{y_i\}$ изменяются во времени (t).

Математические выражения зависимостей выходов от входов и параметров состояния принято называть *математическим описанием* системы. Если описание достаточно правильно (адекватно) отображает фактическое поведение системы, его особенности, важные для исследования или управления, то его можно использовать для моделирования (воспроизведения) протекающих в системе процессов; в таком случае его называют *математической моделью* системы.

Модель системы, описывающая процессы ее функционирования в установившемся режиме, отражает статические свойства системы и называется *статической моделью*. График зависимости выходного показателя от соответствующего входного параметра (чаще всего основного) называют *статической характеристикой*. Типичными примерами статических характеристик конкретного производства могут служить зависимости объема выпуска продукции (A), себестоимости (c) и других важнейших показателей от нагрузки, т. е. от расхода (G_1) основного сырья на входе в систему.

Если математическая модель описывает изменения выходов и параметров состояния системы в неустановившихся режимах (во времени), то она характеризует динамические свойства системы и называется *динамической моделью*. Соответственно графики изменения выходных параметров во времени при определенных воздействиях на входе принято именовать *динамическими характеристиками* звена (системы, подсистемы). Динами-

ческие свойства циклических процессов характеризуются также графиками, иллюстрирующими повторяемость циклов, их период, регулярность, характер колебания параметров и т. д.

Модели сравнительно простых технических систем стараются строить на основе изученных закономерностей физических и химических процессов, их функционирования; такие модели называются *детерминированными*.

Модели систем, которые также являются сравнительно простыми, но закономерности функционирования которых не изучены, могут быть построены в результате статистической обработки результатов экспериментов. Такую систему с неизвестной структурой и свойствами иногда условно именуют «черным ящиком», а модели, полученные указанным выше способом, в отличие от детерминированных называют *статистическими*. При стабильности процессов, протекающих в системе, такие модели могут давать описание системы, близкое к адекватному.

Иначе обстоит дело со сложными системами*. К ним относятся биологические, социально-экономические, некоторые технические системы. Для них характерно большое число подсистем многих уровней иерархии, сложность связей между ними, наличие случайных факторов, влияющих на поведение отдельных подсистем и системы в целом. В связи с этим процессы функционирования сложных систем относятся к категории так называемых *случайных* или *стохастических процессов*, а результаты функционирования не всегда предсказуемы с достаточной точностью.

Стохастические процессы характеризуются функцией распределения вероятностей рассматриваемых событий. Если эта функция стабильна, т. е. не изменяется во времени, то стохастический процесс называется строго стационарным. Для стационарных стохастических процессов функция распределения вероятностей может быть установлена экспериментально. Это позволяет, используя методы теории вероятностей, построить *стохастическую модель* системы; свойства таких систем характеризуются не однозначными (функциональными), а корреляционными зависимостями, позволяющими установить наиболее вероятные значения выходов и других показателей функционирования системы.

Если стохастические процессы, влияющие на поведение системы, нестационарны, то ее поведение не всегда может быть описано математически, т. е., как принято говорить, оказывается неформализуемым. Для количественной характеристики неформализуемых свойств и связей таких систем, для прогноза результатов их функционирования приходится использовать экспертные оценки специалистов и другие эвристические методы, сущность которых будет рассмотрена ниже.

Развитие и совершенствование систем. Среди признаков сложных систем мы отметили их способность к развитию;

* В литературе их иногда именуют «большими системами», «комплексными системами».

это качество означает, что функционирование в широком смысле этого понятия следует рассматривать как совокупность процессов основной текущей деятельности и процессов развития, совершенствования системы.

Как было отмечено выше, процессы развития и совершенствования характерны для биологических систем, социально-экономических и некоторых технических, именуемых самообучающимися или самосовершенствующимися автоматическими системами. Целенаправленность этих процессов означает стремление систематически повышать эффективность своей основной деятельности, обеспечивать приспособление (адаптацию) к изменяющимся внешним условиям.

Как правило, в каждой сложной системе мы встречаемся с комплексом процессов развития, различающихся пространственными и временными масштабами, а также степенью влияния на эффективность системы.

Маломасштабные процессы развития (так называемые *микропроцессы*) — это, как правило, локальные, сравнительно быстро протекающие процессы обновления и некоторого совершенствования.

В промышленных системах примерами локальных процессов совершенствования могут служить многочисленные организационно-технические мероприятия (ОТМ), ежегодно планируемые и проводимые силами предприятия почти в каждом производстве и имеющие различную направленность (экономия сырья и энергии, улучшение качества продукции, повышение производительности труда, улучшение условий и безопасности труда, охрана окружающей среды и т. д.).

К *макропроцессам* развития относятся процессы, охватывающие, как правило, системы более старших рангов, протекающие медленнее, чем микропроцессы, но оказывающие на свойства системы более существенное влияние. Типичными примерами макропроцессов развития промышленных систем является техническое перевооружение производств, развитие действующих и создание новых предприятий по перспективным планам капитального строительства, включая весь комплекс исследовательских, опытных, проектных, строительно-монтажных и пусконаладочных работ*.

Таким образом, под функционированием промышленной системы (в широком понимании этого термина) мы будем иметь в виду совокупность процессов основной деятельности и процессов развития и совершенствования в рамках как организационно-технических мероприятий, так и капитального строительства.

* Не следует забывать о существовании еще более медленных, крупномасштабных процессов развития, охватывающих системы наиболее старших рангов. В живой природе — это эволюционные изменения видов, а в общественных процессах — смена социально-экономических формаций. Анализ этих процессов не входит в задачу данной книги.