



С.Н. Боярский  
Л.А. Чернышев

# **СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ФИРМЫ**

Екатеринбург  
2013

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВПО «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

С.Н. Боярский  
Л.А. Чернышев

# **СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ФИРМЫ**

Учебное пособие

Екатеринбург  
2013

УДК 658.5.012.1(075)

ББК 65.9(2)301я7

Б 86

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор кафедры корпоративного управления АНО «Институт “Ирис”» Калужнин Л.И.;

кафедра мировой экономики и логистики Уральского государственного университета путей сообщения

**Боярский С.Н., Чернышев Л.А.** *Системный анализ бизнес-процессов*: Учеб. пособие. – Екатеринбург: Уральский государственный лесотехнический университет, 2013. 188 с.  
ISBN 978-5-94984-437-3

Представлен системный анализ как вид деятельности, позволяющий рассматривать бизнес с позиций системы и цепочки бизнес-процессов.

Для успешного существования любой компании необходимо, чтобы у каждого бизнес-объекта были четко описаны и регламентированы правила организационного, процессного, информационного взаимодействия, а также чтобы эти правила были максимально четкими и понятными для любого участника бизнес-процесса. Поэтому цель пособия – выделить основные аспекты системности, осмыслить тенденции ее развития, интегрировать различные аспекты системного знания, которые разбросаны в научных источниках, для раскрытия методологических и методических вопросов анализа бизнес-процессов.

Учебное пособие рассчитано на читателей с разным уровнем подготовки в области проблем экономики и бизнеса и предназначено для использования в процессе обучения студентами экономических специальностей.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Уральского государственного лесотехнического университета.

УДК 658.5.012.1(075)

ББК 65.9(2)301я7

ISBN 978-5-94984-437-3

© ФГБОУ «Уральский государственный лесотехнический университет»; 2013

© Боярский С.Н., Чернышев Л.А., 2013

## ВВЕДЕНИЕ

Предлагаемое учебное пособие способствует уменьшению методологического дефицита посредством подробного изложения методов системного анализа и процессного подхода в качестве главного достижения методологии бизнес-процессов.

Без системного подхода не обходится ныне ни одна сфера высокопрофессиональной деятельности. Можно с уверенностью констатировать, что многие ошибки в управлении государством вызваны тем, что государственные служащие и служащие местного самоуправления не владеют ни теорией систем, ни системным анализом.

Экономика и ее важнейшие составляющие – бизнес и финансы – отличаются незначительным инновационным тонусом, который сдерживается самим персоналом. Менеджеры, руководители фирм, директора предприятий, финансисты практически не знакомы с принципами управления сложными саморазвивающимися системами. Задачи, которые ставит перед ними жизнь, не решаются только потому, что они не могут понять их и сформулировать в системных категориях. Трагические последствия природных, экологических и техногенных процессов и катастроф в значительной мере обусловлены не просто непониманием системности, а неспособностью воплотить идеи в такие действия, которые не нарушали бы системные законы природы и общества.

Объектом осмысления в учебном пособии выступают системы и процессы, а предметом - основные идеи теории системного анализа и процессного подхода.

Знания теории систем и процессов, системного и процессного анализа должны помочь студентам и специалистам сформировать комплексное мировоззрение, позволяющее правильно понимать системную сущность возникающих разнообразных проблем и с помощью методов и моделей принимать рациональные или оптимальные пути их разрешения.

Системный подход относится к числу удивительно плодотворных интеллектуальных изобретений человечества, без применения которого немислима успешная профессиональная деятельность практически в любой сфере. Владение системным анализом бизнес-процессов, системным моделированием и конструированием, системной практической деятельностью - высшая характеристика мыслительной культуры выпускника ВУЗа. Немаловажно, что любому специалисту приходится «иметь дело» с систематизацией информа-

ции, системными исследованиями, которые можно осуществлять, только обладая специальными знаниями и навыками.

Поэтому цель пособия сводится не только к тому, чтобы методически представить уже готовое знание о системах и процессах. Она заключается в том, чтобы выделить все аспекты системности, осмыслить тенденции ее развития, интегрировать различные аспекты системного знания, которые разбросаны в научных источниках, а также описать те положения теории систем и процессов, которые еще не получили развитие.

В данном учебном пособии, которое написано по материалам учебных и научных изданий, приведены основные положения теории систем и процессов, системного и процессного анализа, в результате изучения которых студент должен:

1) знать основы теории систем и процессов, системного анализа и процессного подхода, характеристики, признаки и классификацию систем и процессов, их закономерности, методы и модели описания, а также условия применения на практике, в том числе для построения автоматизированных систем управления;

2) уметь рассматривать объекты, процессы и явления с системных позиций и описывать их с помощью методов и моделей системного анализа, на основе чего в дальнейшем осуществлять синтез систем;

3) иметь представление об истории развития теории систем и перспективах ее развития, о месте и роли этой теории среди других научных дисциплин.

## 1. ОСНОВЫ ТЕОРИИ СИСТЕМ

### 1.1. Введение в теорию систем

В результате научно-технической революции пришло понятие системности, которое проникло во все стороны производственной и общественной деятельности человека. Категория «система» стала определяющей в описании разнообразных по своей природе процессов и явлений, охватывающих множество как однотипных, так и разнотипных элементов в статике или динамике поведения этих процессов и явлений. Кроме уже известных и принятых в обиходе разнообразных типов систем – Солнечной, биологической, социальной и технической – появились новые виды систем, такие как транспортная, производственная, организационно-экономическая, информационная, коммуникационная, компьютерная, человеко-машинная, экологическая и многие другие.

Возникли новые отрасли науки (например, кибернетика, генетика, электроника, ядерная физика, информатика, экология и др.), которые в процессе разносторонних исследований разветвились на отдельные направления, что привело к появлению составляющих научных подотраслей, а затем на их базе – к формированию самостоятельных научных и прикладных дисциплин. К примеру, кибернетика как общая наука «об управлении и связи в животном и машине» (Н. Винер, 1948 г.) впоследствии распалась на ряд автономных научных дисциплин: теорию оптимального управления, теорию автоматов, теорию алгоритмов, теорию информации, исследование операций, теорию распознавания образов.

К появлению теории систем и необходимости формулирования общих междисциплинарных положений привело еще одно чрезвычайно важное обстоятельство. Помимо процесса дифференциации научных направлений происходило и противоположное явление: интеграция различных наук для анализа возникающих межотраслевых проблем и решения задач на стыке разных наук. Взаимное влияние отдельных научных отраслей друга на друга вызвало формирование новых научных комбинированных дисциплин (например, бионики, космической медицины, ядерной электроники, физической химии, экономической кибернетики, защиты информации и др.). Для успешной деятельности в таких смежных отраслях необходимо было привлекать исследователей, работающих в различных сферах науки и техники. При этом нужно было преодолевать барьеры в разном понимании стоящих задач и поиске их методологического решения.

Именно в данном случае теория систем, провозглашающая «надстроечные» положения междисциплинарного характера, помогла объединить взгляды разнопрофильных специалистов и их подходы в методологии решения многих проблем, имеющих в своем основании разные научно-теоретические и практические платформы.

Достоинством такой общенаучной теории является возможность описания и анализа систем разной степени сложности и формализованности: от систем «хорошо организованных» или полностью формализуемых, то есть поддающихся количественным методам с помощью традиционных математических методов учета и моделирования всех элементов системы, их взаимосвязей, правил объединения и функционирования до «плохо организованных» или полностью неформализуемых систем, имеющих большую неопределенность в описании их свойств и характеристик. В последнем случае основное внимание уделяется организации постановки задачи и формированию вариантов их решения на основе эвристических или экспертных методов анализа, использования опыта человека, его предпочтений, которые не всегда могут быть выражены в количественных оценках.

Таким образом, теория систем является научным направлением, связанным с разработкой совокупности философских, методологических, конкретно-научных и прикладных проблем анализа и синтеза сложных систем произвольной формы. Наиболее характерной чертой теории систем, которую ей стремятся придать, создавая единую научную платформу, является ее междисциплинарный характер.

Основой для возможного единства принимают аналогичность или изоморфизм процессов, протекающих в системах различного типа (технических, биологических, экономических, социальных). При этом строго доказанный изоморфизм для систем различной природы дает возможность переносить знания из одной области в другую.

Теория систем представляет собой область научных знаний, позволяющих изучать поведение, в том числе целенаправленное, систем любой сложности и любого назначения.

## **1.2. Определение понятия «система»**

Относительно понятия «система» с давних пор и до настоящего времени нет единого и устоявшегося определения со стороны специалистов разных научных, теоретических и прикладных направлений исследований. Однако, несмотря на существующие разногласия в трактовке этого понятия, характеризуя понятие «система» все подчеркивают то обстоятельство, что система представляет собой целостный комплекс взаимосвязанных элементов, имеет определенную структуру и взаимодействует с некоторой средой. Учитывая этот факт, отметим ряд известных формулировок, данных этому понятию.

Система – изложение науки в строгой последовательности; соединение нескольких предметов, действующих по одним и тем же законам (Словарь иностранных слов Михельсона, 1877).

Система – совокупность взаимодействующих разных функциональных единиц (биологических, человеческих, машинных, информационных,

естественных), связанная со средой и служащая достижению некоторой общей цели путем действия над материалами, энергией, биологическими явлениями и управления ими (В.И. Вернадский, 1926).

Система – это комплекс взаимодействующих элементов или совокупность элементов, находящихся в определенных отношениях друг с другом и со средой (Берталанфи, 1950).

Система – множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, образующих определенную целостность, единство (Советский энциклопедический словарь, 1990).

Как видно из всех приведенных выше определений, присутствуют элементы и связи или отношения между ними. Однако термины «отношение» или «связь» зачастую специалистами истолковываются по-разному. В некоторые определения системы встраиваются понятия цели и наблюдателя (впервые на необходимость учета взаимодействия между исследователем и изучаемой системой указал один из основоположников кибернетики У.Р. Эшби). Так, М. Масарович и Я. Такахага в книге «Общая теория систем» считают, что система – это формальная взаимосвязь между наблюдаемыми признаками и свойствами [1].

В зависимости от решаемых задач и поставленных целей исследований описание системы можно осуществлять на разном уровне абстракции и включать в него необходимое количество элементов, связей и действий, отображающих реальную систему.

Обобщая вышесказанное и учитывая необходимость принятия «рабочего» определения понятия системы, можно сформулировать его следующим образом: *система* – это множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, которое образует определенную целостность, единство при достижении цели.

### 1.3. Состав и составные части системы

Составом системы называется перечень ее элементов или компонентов с указанием отношений «часть – целое». Составные части системы подразделяются на элементы, подсистемы и компоненты.

Элемент – это простейшая неделимая часть системы или предел ее членения с позиции решения конкретной задачи и поставленной цели. Иначе, элемент – это объект, у которого его внутреннее содержание не раскрывается в силу ограничений, наложенных целью исследований, но, если появиться необходимость и возможность его вскрытия и внутреннего анализа, то он может быть представлен в виде системы сколь угодно сложности.

Таким образом, только в зависимости от взгляда специалиста на систему, от формулировки цели ее исследования и выделенного аспекта изучения можно однозначно решать вопросы расчленения системы на элементы.

При этом следует отметить, что даже при одних и тех же начальных условиях исследований (сформулирована одна цель и выбран один аспект рассмотрения системы), разные специалисты могут выделить отличающийся друг от друга набор элементов. В этом случае элементом системы называют совокупность различных технических, методических, организационных и других средств, а также людей (например, отдельное предприятие в составе отрасли макроэкономического хозяйствования), которые при данном исследовании рассматриваются как одно целое, а внутренняя структура выделенных элементов не является предметом исследования. Имеют значение только свойства, определяющие взаимодействие одного элемента системы с другими элементами системы и оказывающие влияние на характер системы в целом.

Следует отметить, что процедура членения системы и выделения из нее элементов в процессе исследования может повторяться и приводить к уточнению множества выделенных элементов. При этом, по необходимости, может изменяться принцип расчленения, что может привести к выделению новых элементов и получению с помощью нового расчленения более адекватного представления об анализируемом объекте или проблемной ситуации.

Например, расчленение предприятия на элементы приводит к структуре, включающей в качестве новых элементов отдельные цеха или подразделения, а в системе управления предприятием элементами можно считать подразделения аппарата управления или сотрудника или каждую операцию, которую он выполняет.

При анализе строения автомобиля в одном случае в качестве элементов можно выделить корпус, двигатель и колеса, а в другом – детали отдельных механизмов, болты, гайки и т. д. в зависимости от того, какая поставлена задача перед исследователем. При рассмотрении автодорожной ситуации в систему кроме автомобиля необходимо включать водителя.

Подсистема и компонент – это части системы более крупные, чем элементы, но, в то же время, более детальные, чем система в целом. Подсистема и компонент представляют собой отдельные подмножества элементов, принадлежащих некоторой системе.

Таким образом, система может быть разделена на элементы не сразу, а последовательным расчленением на подсистемы или компоненты, объединяющие определенные элементы, входящие в систему.

Принято считать, что отличие этих понятий заключается в следующем: в названии «подсистема» подчеркивается, что для этой относительно независимой части системы сформулирована собственная подцель и при своем функционировании подсистема обладает определенными свойствами целостности, коммуникативности и прочими закономерностями, присущими системам. Если же части системы, объединяющие какие-либо

элементы, не обладают такими свойствами, а представляют собой просто совокупности каких-либо элементов, то такие части принято называть компонентами.

Возможность деления системы на подсистемы связана с вычленением совокупностей взаимосвязанных элементов, способных выполнять относительно независимые функции и иметь подцели, направленные на достижение общей цели системы. Например, систему сети городского транспорта можно расчленить на ряд подсистем: автобусную, трамвайную и троллейбусную сети, а также метро и такси, которые подчинены общим задачам перевозки пассажиров, но имеющие различную техническую базу.

Расчленяя систему на подсистемы или компоненты, следует иметь в виду, что так же, как и при расчленении на элементы, выделение подсистем и компонентов зависит от цели и может меняться по мере ее уточнения и развития представлений исследователя об анализируемом объекте или проблемной ситуации.

Разделение системы на элементы и подсистемы может быть произведено различными способами. Формально любая совокупность элементов системы вместе со связями между ними может рассматриваться как ее подсистема. Использование этого понятия оказывается особенно плодотворным в тех случаях, когда в качестве подсистем фигурируют некоторые более или менее самостоятельно функционирующие части системы. Например, в системе управления полетом самолета можно выделить следующие подсистемы:

- систему дальнего обнаружения и управления;
- систему многоканальной дальней связи;
- многоканальную систему слепой посадки и взлета самолета;
- систему диспетчеризации;
- бортовую аппаратуру самолета.

В свою очередь, подсистемы состоят из электронных устройств (вычислительные блоки, сумматоры, регистры, генераторы и т. д.) и других узлов. Последние состоят из элементов: триггеры, линии задержки, вентили, переключательные схемы, делители-формирователи, ячейки индикации и т. д., которые включают транзисторы, резисторы, конденсаторы, ферриты и другие элементы электронных схем.

В тех ситуациях, когда не ясны или не четко определены функции отдельных частей системы и затруднительно корректно подобрать название «подсистема» или «компонент», используют термин «элемент» в более широком смысле, даже если система не может быть сразу разделена на составляющие, являющиеся пределом ее членения. В таком случае говорят об элементах членения первого уровня, элементах членения второго уровня и т. д.

Исучаемый объект расчленим, если существует возможность выделить в нем фиксированное число составных частей первого уровня, а в

этих последних – части второго уровня и так далее вплоть до последнего уровня, состоящего из не делимых далее частей.

В состав изучаемой системы могут включаться пользователи, заказчики, разработчики, а также исследователи. В этом случае они рассматриваются уже не как среда, взаимодействующая с изучаемой системой, а как ее неотъемлемые компоненты. В частности, если речь идет, например, о проектировании специализированной компьютерной сети, то она должна рассматриваться как человеко-машинный комплекс. То есть в ее состав, помимо технических средств, необходимо включать операторов-пользователей и обязательно учитывать их психофизиологические характеристики. В противном случае, в результате проектирования может получиться система, не способная эффективно выполнять свои функции.

#### **1.4. Система и внешняя среда**

Под внешней средой понимается множество элементов, которые не входят в систему, но изменение их состояния может вызывать изменение поведения системы. Следует отметить, что внешняя среда бывает естественно-природной и искусственной, созданной человеком, в том числе технической, энергетической, экономической, информационной, социальной и других видов. В некоторых случаях на начальных этапах исследования определение системы базируется на отделении ее от внешней среды так как очень важно определить границы системы, которая функционирует в некоторой окружающей ее среде.

Сложное взаимодействие системы с ее окружением характеризуется тем, что система образует со средой особое единство. При этом, как правило, любая исследуемая система представляет собой элемент системы более высокого порядка (надсистемы), а элементы любой исследуемой системы, в свою очередь, обычно выступают как системы более низкого порядка. В такой трактовке среды-надсистемы важно учитывать, что она представляет собой некоторое множество систем, каждая из которых по-своему взаимодействует с объектом анализа. Выделяют четыре ситуативных класса такого взаимодействия: содействующее, противодействующее, нейтральное и смешанное.

Содействующей выступает среда в том случае, если она оказывает положительное влияние на функционирование и развитие системы, способствует достижению ее целей и повышению эффективности ее деятельности.

Противодействующая среда, наоборот, подавляет функционирование и снижает эффективность системы, препятствуя достижению целей.

При нейтральном взаимодействии среда не оказывает непосредственного воздействия на систему. Но даже в этом случае необходимо учитывать ее присутствие, так как нейтральность есть неустойчивое состояние, в

котором формируются условия, определяющие переходы к содействию или противодействию.

Для смешанной среды характерны все перечисленные варианты ее влияния на систему.

Выделение системы из среды производит исследователь, который отделяет (отграничивает) включаемые в систему элементы от остальных элементов среды в соответствии с целями исследования (проектирования) или предварительного представления о проблемной ситуации. При этом возможны три варианта положения исследователя относительно системы и среды.

В первом случае исследователь может отнести себя к внешней среде и представить систему полностью изолированной от среды, которая не будет играть роли при исследовании системы, хотя может влиять на ее формирование. При этом возможно строить модели системы замкнутого или закрытого типа.

Во втором случае исследовать может включить себя в систему и проводить ее моделирование с учетом своего влияния и влияния системы на свои представления о ней (подобная ситуация характерна для экономических систем).

В третьем случае исследовать может отделить себя от системы, и от среды. При этом система рассматривается как открытая, постоянно взаимодействующая со средой (такие модели необходимы для развивающихся систем). При этом для исследования состояния и поведения системы необходимо определить все элементы среды, которые взаимодействуют с элементами и компонентами системы, и включить их в методику моделирования.

В процессе исследования возможны уточнения или конкретизация определения системы, что влечет соответствующее уточнение среды и факторов взаимодействия между системой и средой. Таким образом, граница между системой и средой может изменяться путем отнесения элементов системы во внешнюю среду и, наоборот, отнесения отдельных элементов среды в состав системы, например, из-за силы связей между элементами.

Итак, учет влияния среды на функционирование изучаемой системы является необходимым условием любого системного исследования. В этой связи важно прогнозировать состояние и поведение не только системы, но и среды с учетом ее свойств, в том числе возможной ее неоднородности.

### **1.5. Связи, отношения и взаимодействия в системе**

Рассмотрим теперь вопрос о связях системы с внешней средой, подсистемами разных уровней, а также связях между отдельными элементами подсистем.

Связи, отношения и взаимодействия в системе обеспечивают ее определенную внутреннюю структурную целостность, поддерживают самостоятельное функционирование системы, выделяющейся на фоне внешней среды. Эти понятия одновременно характеризует строение (статику) и функционирование (динамику) системы.

Связь – общенаучное понятие, трактуемое в теории систем и системном анализе как коммуникационный канал или способ, с помощью которого реализуются взаимодействия между объектами (элементами, компонентами, подсистемами и системами). Связь с философских позиций характеризует взаимообусловленность существования явлений, разделенных в пространстве и во времени. С информационно-технической точки зрения связь – это каналы и процессы передачи и приема информации с помощью различных технических средств.

Отношение – общенаучное понятие, используемое для соотнесения одного объекта с другим и определяющее расположение одного объекта (элемента, компонента, подсистемы и системы) относительно другого в пространстве или во времени. Именно это характеризует отношение в большей степени, чем наличие между объектами каких-либо связей. Так, в частности, отношения выражают следующие связки: «часть – целое», «начальник – подчиненный», «управляющий – управляемый», «высший – низший», «координатор – регулятор» и т.д.

С одной стороны, отношения инициируют образование связей и взаимодействий, а с другой – сами являются результатом возникновения (разрушения) связей в процессе развития взаимодействий. Поэтому говорят, что отношения и связи – это ненасыщенные физическим содержанием взаимодействия.

Взаимодействие (взаимное воздействие) – процесс перемещения вещества, энергии и информации между объектами (элементами, компонентами, подсистемами и системами), имеющий результат. При этом следует отметить, что современное естествознание выделяет шесть видов взаимодействий: механическое, гравитационное, электромагнитное, внутриядерное, торсионное и информационное.

В системах с вещественной структурой взаимодействия между элементами (компонентами) реализуются, главным образом, путем взаимообмена различного рода предметами, вещами, продуктами производства. Примером могут служить товарообменные системы, в которых вещественный взаимообмен обеспечивается транспортными коммуникационными сетями (железнодорожными, авиационными, автомобильными и другими).

Системы с энергетической структурой содержат межэлементные (межкомпонентные) взаимодействия, которые выражаются преимущественно в виде взаимообмена энергией. Типичный пример такой системы – городская сеть электроснабжения.

Для систем с информационной структурой характерны межэлементные (межкомпонентные) взаимодействия преимущественно информационного свойства. Примерами таких систем служат компьютерные и радиотелекоммуникационные сети.

Поскольку реальным системам в той или иной мере свойственны все перечисленные типы структур, то говорят о смешанных структурах, в которых межэлементные (межкомпонентные) взаимодействия реализуются за счет вещественного, энергетического и информационного обмена. Такой взаимообмен между элементами (компонентами) системы, а также между системой и средой называется метаболизмом. Выделяют семь форм метаболизма:

- вещественную;
- энергетическую;
- информационную;
- вещественно-энергетическую;
- вещественно-информационную;
- информационно-энергетическую;
- вещественно-информационно-энергетическую.

Кроме того, различают внутренний и внешний метаболизм. Внутренний метаболизм происходит между элементами (компонентами) системы, а внешний – между системой (ее элементами, компонентами, подсистемами) и средой. Внутренний метаболизм играет важную роль при формировании целостных свойств систем, а внешний – определяет степень открытости системы.

Итак, отношения и связи представляют собой различаемые по формальному признаку, но взаимообразующие и взаимообуславливающие понятия, общей базой которых выступают взаимодействия.

Необходимо подчеркнуть, что не всякое действие может быть воздействием. Действие – это процесс перемещения вещества, энергии, информации. Для того, чтобы действие стало воздействием, необходимо выполнение, как минимум, двух условий: наличия объекта приложения и результативности, то есть ситуации, когда эффект данного действия превосходит некий порог. Таким образом, воздействие – это действие, имеющее результат.

Системы и отдельные ее части, вступая во взаимодействие (связь) друг с другом, утрачивают часть своих свойств, которыми они потенциально обладали в свободном состоянии. Поэтому связь определяют как ограничение степени свободы элементов. Отсюда возникает вопрос: при каких связях и при наличии какого взаимодействия между элементами образуется система, то есть какие существуют пороги во взаимодействии, преодолев которые проявляются основные признаки системы?

Некоторые исследователи (В.И. Николаев и В.М. Брук) считают, что для того, чтобы система не распалась на части, необходимо обеспечить пре-

вышение суммарной силы (мощности) связей между элементами системы, т.е. внутренних связей – WS-S над суммарной мощностью связей между элементами системы и элементами среды, т. е. внешних связей WS-E:

$$WS-S > WS-E.$$

К сожалению, на практике подобные измерения (особенно в организационных системах) трудно реализовать, однако можно оценивать тенденции изменения этого соотношения с помощью косвенных факторов.

Системные связи характеризуются направлением, силой, характером (или видом), местом приложения, а также направленностью процессов. По направлению связи делят на направленные и ненаправленные.

Направленные связи, в свою очередь, делятся на однонаправленные (на схеме обозначаются линией со стрелкой в сторону воздействия) и двухнаправленные, или взаимонаправленные (на схеме обозначаются линией со обоюдными стрелками). Ненаправленные связи обозначаются линией, связывающей отдельные элементы или компоненты. По признаку силы связи делят на сильные и слабые.

В некоторых случаях для конкретной задачи вводят шкалу силы связи с несколькими промежуточными уровнями.

По характеру (виду) различают связи подчинения, порождения (генетические) равноправные (безразличные) и связи управления.

По месту приложения связи делят на внутренние и внешние.

По направленности процессов в системе в целом или в отдельных ее подсистемах связи бывают прямыми и обратными.

Связи в конкретных системах могут быть одновременно охарактеризованы несколькими из названных признаков.

Важнейшую роль в организации систем играет понятие обратной связи, обеспечивающей воздействие результатов функционирования какой-либо системы (объекта) на характер этого функционирования. Обратная связь бывает положительной или отрицательной. Положительная связь обеспечивает влияние, усиливающее результаты функционирования и сохраняет тенденции происходящих в системе изменений того или иного выходного параметра (используется в генераторах, в развивающихся системах и т. п.). Отрицательная связь обеспечивает влияние, уменьшающие или ослабляющие результаты функционирования и противодействует тенденциям изменения выходного параметра, т. е. направлена на сохранение, стабилизацию требуемого значения параметра (например, для стабилизации выходного напряжения или в системах организационного управления для стабилизации количества выпускаемой продукции и т. п.).

Графически на приведенной блок-схеме (рис. 1.1) прямая связь обозначается как  $x_0(t) - y_0(t)$ , а обратная связь как  $y_{oc}(t) - z_{oc}(t)$ .

Обратная связь является основой саморегулирования, развития систем, приспособления их к изменяющимся условиям существования. Исследованию этого понятия большое внимание уделяется в кибернетике, в которой изучается возможность перенесения механизмов обратной связи, характерных для объектов одной физической природы, на объекты другой природы.

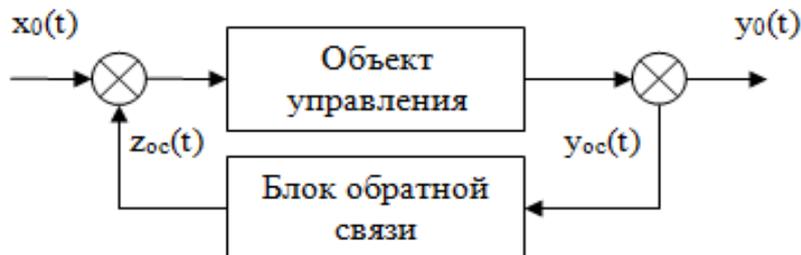


Рис. 1.1. Блок-схема обратной связи

## 1.6. Структура и иерархия системы

Структура – это совокупность отдельных частей системы и связей между ними. Она отражает наиболее существенные и устойчивые взаимоотношения между элементами и их группами (компонентами, подсистемами), которые мало меняются при изменениях в системе и обеспечивают существование системы и ее основных свойств, а также сохранение ее целостности в условиях внешних и внутренних возмущений.

Таким образом, структура характеризует организованность системы, устойчивую упорядоченность элементов и связей. При этом системы могут иметь различную физическую природу.

Одна и та же система может быть представлена разными структурами, в зависимости от стадии познания объектов или процессов, от аспекта их рассмотрения, цели создания. При этом, по мере развития исследований или в ходе проектирования, структура системы может изменяться.

Если структурные элементы и их связи не могут быть установлены или на этапе анализа они абстрагируются от детализации структуры, то в этом случае систему представляют в виде «черного ящика», т. е. в виде модели некоторого обобщенного блока, имеющего только входные и выходные параметры (модель «вход – выход»), как это показано ниже:



Рис. 1.2. Представление системы в виде «черного ящика»

Структура может быть представлена простым перечислением элементов, в графическом виде, в виде теоретико-множественных описаний, матриц, графов и других языков моделирования структур.

Структуры можно характеризовать по ряду признаков, в том числе по:

- пространственной топологии;
- характеру развития;
- типу отношений;
- виду взаимодействия;
- характеру связанности [2].

На нижеследующем рис. 1.3 представлена более детальная классификация структур по указанным признакам:

По признаку пространственной топологии структуры делятся на плоские, объемные, рассредоточенные, сосредоточенные.

Системы с плоской структурой имеют двухмерную пространственную топологию, а системы с объемной структурой – трех- и многомерную пространственную топологию.



Рис. 1.3. Классификация структур

Для систем с рассредоточенной структурой характерно равномерное распределение компонентов в пространстве, тогда как в системах с сосредоточенной структурой наблюдаются области сгущения и разрежения.

По характеру развития выделяют следующие структуры: экстенсивные, редуцирующие, интенсивные, деградирующие.

Для систем с экстенсивной структурой характерен рост количества связей, отношений и взаимодействий между компонентами, а для систем с редуцирующей структурой свойственен обратный процесс – уменьшение числа связей.

У систем с интенсивной структурой в ходе развития наблюдается качественное изменение связей, отношений и взаимодействий. Повышается интенсивность взаимодействий, углубляется характер отношений, увеличивается пропускная способность коммуникационных каналов и т.п. Противоположный характер развития присущ системам с деградирующей структурой.

По типу отношений структуры подразделяются на предметные, функциональные, организационные, временные.

Предметная структура – это состав системы с перечислением всех входящих в нее элементов, подсистем и компонентов.

Функциональная структура отражает отношения связанности компонентов системы по входам и выходам. Изображения такого типа часто называют блок-схемами. Входы элементов, через которые воздействия среды передаются системе, называются рецепторами. Выходы, через которые система воздействует на среду, получили название эффекторы. Множество рецепторов и эффекторов системы образуют ее поверхность.

Организационная структура отражает такие специфические отношения между компонентами системы, как: «начальник – подчиненный», «управляемый – управляющий», «прямое руководство – непосредственное подчинение», «координатор – координируемый», «руководитель – исполнитель».

Структуры такого типа являются основными объектами изучения при анализе систем управления предприятиями, фирмами, учреждениями, воинскими формированиями и т.п. Конечно, каждая система формирует свою организационную структуру исходя из поставленных целей, соотносясь со своими задачами, оценивая имеющиеся ресурсы и учитывая внешние условия. Но во всем многообразии организационных структур можно выделить некоторые типовые варианты. К ним относятся следующие организационные структуры: линейные, функциональные, программно-целевые, матричные.

Временные структуры отражают порядок выполнения операций компонентами системы. Эти структуры задаются отношениями типа «начинаться раньше», «начинаться позже», «выполняться одновременно»,

«завершаться до», «завершаться после» и т. д. и представляют собой, по существу, декомпозицию системы по времени.

Схематичное изображение (рис. 1.4) временной структуры системы называют алгоритмом ее функционирования. Типичным примером отображения временной структуры служат сетевые графики выполнения работ, используемые на производствах и в научно-исследовательских учреждениях.

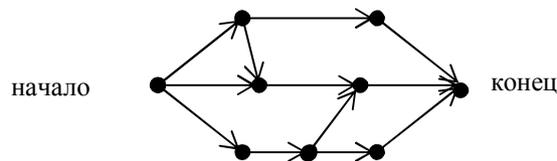


Рис. 1.4. Временная структура в виде сетевого графика

По виду взаимодействия структуры условно подразделяются на вещественные, энергетические, информационные, смешанные.

По характеру связанности различают следующие структуры: линейные, централистские (централизованные), сетевые, сотовые, скелетные, полносвязанные, другие структуры, образованные их сочетаниями, а также произвольные.

На нижеследующем рис. 1.5 представлены образцы структур в зависимости от характера связанности элементов.

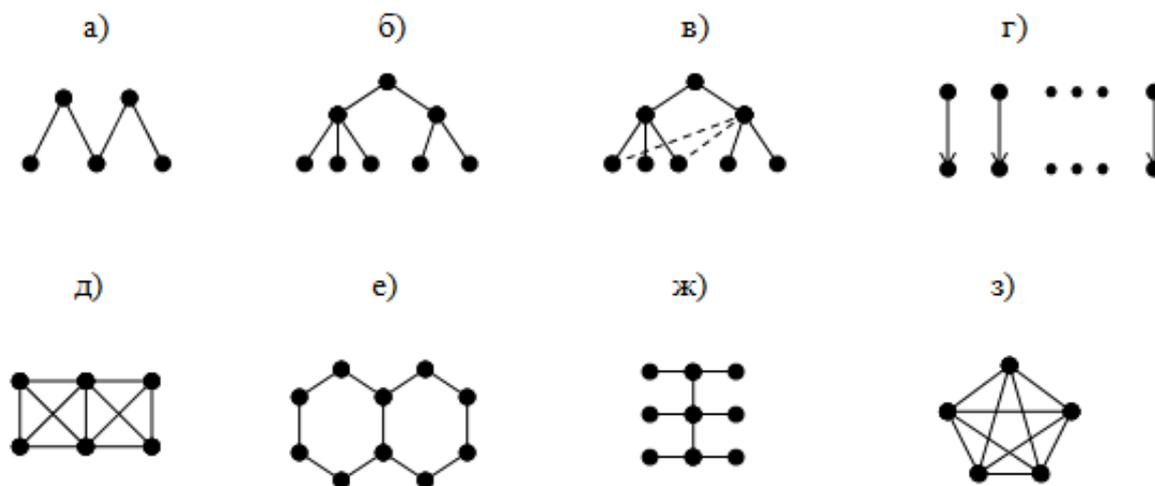


Рис. 1.5. Классификация структур по характеру связанности элементов:  
 а) линейные; б) централизованные с сильными связями; в) централизованные со слабыми связями; г) децентрализованные однонаправленные, д) сетевые; е) сотовые; ж) скелетные; з) полносвязанные.

Сотовая структура (е), как показали расчеты [3], при однородности элементов системы является оптимальной по информативности.

Централистские структуры (б, в) неравномерны в распределении информационной нагрузки. В полносвязанных (з) и сетевых (д) структурах катастрофически растет количество ретранслируемой информации. Информативность линейных (а) и скелетных (ж) структур заведомо минимальна.

Структуры с произвольными связями обычно используются на начальном этапе познания объекта, новой проблемы, когда идет поиск способов установления взаимоотношений между перечисляемыми элементами и компонентами, когда нет ясности в характере связей между ними и не могут быть определены не только последовательности их взаимодействия во времени (например, в виде сетевых моделей), но и распределение элементов по уровням иерархии.

Формируются структуры с произвольными связями путем установления возможных отношений между предварительно выделенными элементами системы, введения ориентировочных оценок силы связей. Как правило, после предварительного формирования и анализа таких структур связи упорядочивают и получают иерархические или сетевые структуры.

При этом важно обратить внимание на то, что принятие решения возможно только при установлении наиболее существенных связей, раскрывающих основные закономерности организации и поведения системы.

Структуру системы часто представляют в виде иерархии, т. е. в виде упорядоченности элементов (компонентов) по степени важности (многоступенчатость, служебная лестница). В иерархических структурах важно выделение уровней соподчиненности, а между уровнями и между компонентами в пределах уровня, в принципе, могут быть любые взаимоотношения.

Соподчиненность – это особое отношение, указывающее на то, что нижестоящие уровни (компоненты) влияют на деятельность вышестоящих, а последние оказывают организующее воздействие на нижестоящие уровни (компоненты).

Примером, иллюстрирующим сказанное, может служить иерархия биологических и социальных систем, для которых характерно иерархическое многоуровневое построение. Отсюда концепция иерархии была распространена на любой согласованный по подчиненности порядок объектов.

Иерархические структуры, например, изображенные на рис. 1.5, б и в, представляют собой декомпозицию системы в пространстве. Все компоненты (вершины, узлы) и связи (дуги, соединения узлов) существуют в этих структурах одновременно (не разнесены во времени).

Между уровнями иерархической структуры могут существовать взаимоотношения строгого подчинения компонентов (узлов) нижележащего уровня одному из компонентов вышележащего уровня, т. е. отношения так

называемого древовидного порядка. Такие структуры могут иметь два и более уровней декомпозиции (структуризации).

Структуры, изображенные на рис. 1.5, б, в которых каждый элемент нижележащего уровня подчинен одному узлу (одной вершине) вышестоящего (и это справедливо для всех уровней иерархии), называют древовидными структурами, типа «дерева». Такие иерархии называют сильными, или иерархическими структурами с сильными связями. Они имеют ряд особенностей, делающих их удобным средством представления систем управления.

Структуры, изображенные на рис. 1.5, в, в которой элемент нижележащего уровня может быть подчинен двум и более узлам (вершинам) вышестоящего, называют иерархическими структурами со слабыми связями. Иерархии со слабыми связями применяют в тех случаях, когда цели сформулированы слишком близко к идеальным устремлениям, но при этом недостаточно средств для их реализации.

Наибольшее распространение имеют древовидные иерархические структуры, с помощью которых представляют конструкции сложных технических изделий и комплексов, структуры классификаторов и словарей, цели и функции, производственные, организационные структуры предприятий.

Существуют также матричные структуры, взаимоотношения между элементами или уровнями в которых подобны отношениям в матрице, а, следовательно, они могут быть представлены в виде таблиц рис. 1.6, образованных из составляющих отдельных уровней.

Цели	Подцели
1. ...	1.1. ...
	1.2. ...
	1.3. ...
2. ...	2.1. ...
	2.2. ...

а)

1.		
2.		
3.		
1.		
2.		

б)

Рис. 1.6. Представление матричных структур в виде таблицы:  
а - древовидная иерархическая структура; б - двумерная матричная структура

По сути, матричная структура, приведенная на рис. 1.6, а соответствует древовидной иерархической структуре, показанной на рис. 1.5, б. В некоторых случаях она более удобна на практике при оформлении планов, поскольку, помимо иерархической соподчиненности тематической основы плана, в нем указывают исполнителей, сроки выполнения, формы отчетности и другие сведения, необходимые для контроля выполнения плана.

На рис. 1.6, б представлена двумерная матричная структура, соответствующая древовидной иерархической структуре, показанной на рис. 1.5, в со слабыми связями. При этом в данной форме представления структуры, помимо наличия связей в матрице, может быть охарактеризована и сила связей либо словами (сильная – слабая), либо путем введения количественных характеристик силы (значимости, длительности и т. п.) связи.

Разновидности такого вида матричного представления иерархических взаимоотношений используются в толковых словарях, информационно-поисковых языках дескрипторного типа, автоматизированных диалоговых процедурах анализа целей и функций, а также в других системах, при первоначальном анализе которых не известно количество ветвей на каждом уровне иерархии.

Матричные структуры могут быть и многомерными. Но в этих случаях графическое их представление становится неудобным, и тогда применяют символическое алгебраическое или другие виды отображения.

Для сложных систем их матричные структуры могут быть представлены в форме, когда присутствует несколько осей иерархии, что имеет место при представлении организационных структур, сочетающих линейный, функциональный и программно-целевой принципы управления.

Например, матричные организационные структуры примерно с середины 80-х гг. прошлого века составляют основу организации управления почти всех ведущих фирм мира. Принцип построения такой структуры показан на рис. 1.7, где кружками обозначены исполнители, а прямоугольниками управляющие органы отдельных подразделений.

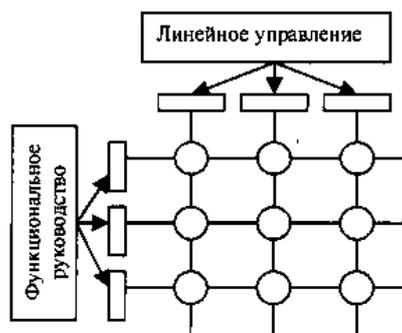


Рис. 1.7. Представление матричных структур

Несомненным достоинством матричных структур является органичное сочетание двух основных типов управления: линейного и функционального (проектного), что, с одной стороны, обеспечивает гибкое реагирование на изменения конъюнктуры рынка, а с другой – позволяет вести глубокие научно-технические и экспериментальные проработки перспективных проектов и программ.

Подобные организационные структуры многих современных предприятий имеют смешанный характер, так как они сочетают матричные и иерархические представления.

В теории систем рядом исследователей (в частности М. Месаровичем) предложены особые классы иерархических структур типа страт, слоев, эшелонов, которые отличаются различными принципами взаимоотношений элементов в пределах уровня и различным правом вмешательства вышестоящего уровня в организацию взаимоотношений между элементами нижележащего. С помощью этих понятий исследуются проблемы управления предприятиями в современных условиях многоукладной экономики, осуществляется проектирование сложных систем.

Страты – это уровни описания сложных систем, при которых фиксируется определенная общность законов функционирования, единство пространственно-временной топологии и субстанционального построения определенных компонентов изучаемой системы. При этом с определенных позиций выбирается соответствующий уровень абстрагирования, для которого существуют характерные особенности, законы и принципы описания состояния и поведения системы на этом уровне. Такое представление называется стратифицированным, а уровни абстрагирования – стратами.

В качестве примера стратифицированного описания системы можно привести отображение обычного персонального компьютера в виде двух страт – технической и программной. На техническом уровне компьютер представляет собой систему, образованную различными устройствами, блоками, микросхемами, конденсаторами, резисторами, соединительными шинами и т. п., обеспечивающими обработку и преобразование электрических сигналов. На программном уровне тот же компьютер выглядит как совокупность программ, подпрограмм, программных модулей и блоков, выполняющих логические операции над двоичными символами, несущими определенную информацию. С этих позиций производственное предприятие может рассматриваться на экономическом, информационно-управленческом, технологическом, социальном и иных уровнях – стратах.

Аналогичное представление используется при разработке автоматизированных систем управления, в которых выделяются технические, программно-математические, информационные и организационные подсистемы, которые рассматриваются как страты.

Примером стратифицированного описания может также служить предложенное Ю.И. Черняком выделение уровней абстрагирования систе-

мы от философского или теоретико-познавательного описания ее замысла до материального воплощения (рис. 1.8):

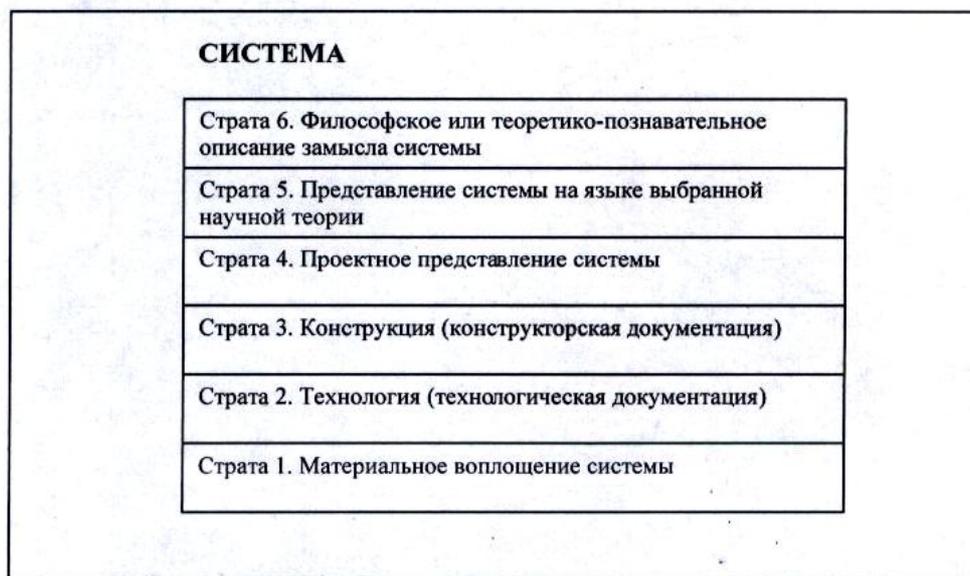


Рис. 1.8. Представление стратифицированного описания системы

Такое представление помогает понять, что одну и ту же систему на разных стадиях познания и проектирования можно (и нужно) описывать различными выразительными средствами, т. е. как бы на разных «языках»: философском или теоретико-познавательном (вербальное описание замысла, концепции); научно-исследовательском (в форме моделей разного рода, помогающих глубже понять и раскрыть замысел системы); проектном (техническое задание и технический проект, для разработки и представления которого могут понадобиться математические расчеты, принципиальные схемы); конструкторском (конструкторские чертежи, сопровождающая их документация); технологическом (технологические карты, стандарты и другая технологическая документация); материальное воплощение, реализация системы (детали, блоки, собранное изделие или созданная система, принципы функционирования которой отражены в соответствующей нормативно-технической и нормативно-методической документации (инструкциях по эксплуатации, положениях и т. п.).

Стратифицированное представление можно использовать и как средство последовательного углубления представления о системе, ее детализации: чем ниже опускаемся по иерархии страт, тем более детальным становится раскрытие системы; чем выше поднимаемся, тем яснее становится смысл и значение всей системы.

Объяснить назначение системы с помощью элементов нижней страты в сложных системах практически невозможно.

Начинать изучение системы можно с любой страты (в том числе с находящейся в середине стратифицированного представления). В процессе исследования могут добавляться новые страты, изменяться подход к выделению страт. На каждой страте может использоваться свое описание, своя модель, но система сохраняется до тех пор, пока не изменяется представление на верхней страте – ее концепция, замысел, который нужно стремиться не исказить при раскрытии на каждой последующей страте.

Слои – вид многоуровневой структуризации (предложен М. Месаровичем) применяется для организации процессов принятия решений, причем в данном случае каждый уровень или слой представляет собой точку зрения исследователя (по выражению У.Р. Эшби – наблюдателя) на различные аспекты изучаемой системы.

Уровни-слои не обязательно свойственны реальным объектам, они скорее отражают отношение исследователя к данному объекту, фиксируя способы познания его характеристик, глубину проникновения в сущность изучаемого объекта. Именно для уменьшения неопределенности ситуации выделяются уровни сложности принимаемого решения – слои, т. е. определяется совокупность последовательно решаемых проблем. При этом выделение проблем осуществляется таким образом, чтобы решение вышележащей определяло бы ограничения (допустимую степень упрощения) при моделировании на нижележащем уровне, т. е. снижало бы неопределенность нижележащей проблемы, но без утраты замысла решения общей проблемы. В качестве типового примера можно назвать детерминистический и вероятностный слои представления одного и того же явления.

Зачастую слоями называют структурные компоненты системы, выделенные по временному признаку или по типу решаемых задач. Такими слоями могут быть прогнозирование, текущее планирование, оперативное управление и регулирование.

Многослойные системы принятия решений полезно формировать для решения задач планирования и управления промышленными предприятиями, отраслями, народным хозяйством в целом. При постановке и решении таких проблем нельзя раз и навсегда определить цели, выбрать конкретные действия: экономические и технологические условия производства непрерывно меняются. Все это можно отразить в многослойной модели принятия решений.

Примером приложения идеи выделения слоев могут служить многоуровневые экономико-математические модели планирования и управления отраслями, народным хозяйством, а позднее – и промышленными предприятиями, разрабатываемые в нашей стране в 70–80-х гг. прошлого века.

Эшелоны – это описание иерархической структуры, при котором система представляется в виде относительно независимых, взаимодействующих между собой подсистем. При этом некоторые (или все) подсистемы имеют права принятия решений, а иерархическое расположение подсистем (многоэшелонная структура) определяется тем, что некоторые из них находятся под

влиянием или управляются вышестоящими подсистемами. Уровни структуры системы при таком представлении называют эшелонами.

Например, рассматривая какое-либо производственное предприятие, выделяют следующие организационные уровни, или эшелоны: предприятие в целом, службы, отделы, цеха, бригады. Аналогичным образом какое-либо техническое устройство можно также разложить на уровни-эшелоны, например на отдельные комплексы, каждый комплекс – на блоки, блок – на модули, модуль – на платы, плату – на детали и т. д. На рис. 1.9 показана иерархическая структура системы управления, каждый уровень которой представляется в виде эшелона.

Отношения, подобные принятым в эшелонированных структурах, реализуются в практике управления в форме так называемых холдинговых структур, или холдингов. Правила взаимоотношений между фирмами, банками, торговыми домами и другими организациями, входящими в холдинг, оговариваются в соответствующих договорах и других нормативно-правовых и нормативно-технических документах.

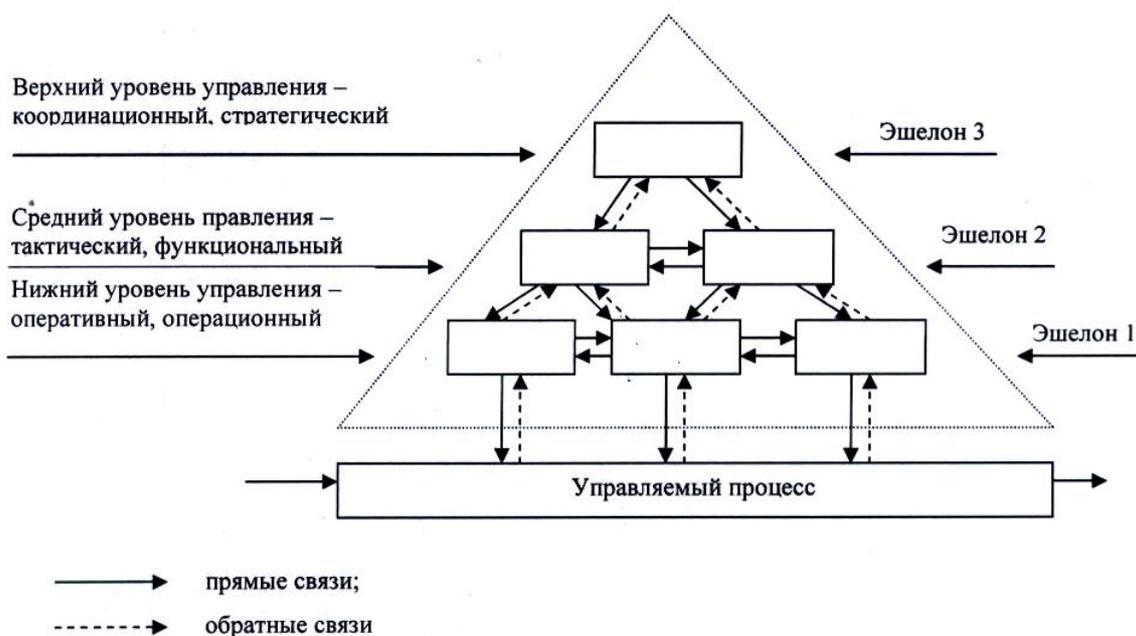


Рис. 1.9. Представление многоэшелонной иерархической структуры системы управления

Основной отличительной особенностью многоэшелонной структуры является предоставление подсистемам всех уровней определенной свободы в выборе их собственных решений, причем эти решения могут быть не теми решениями, которые бы выбрал вышестоящий уровень. Предоставление свободы действий в принятии решений компонентам всех эшелонов иерархической структуры повышает эффективность ее функционирования. Подсистемам предоставляется определенная свобода и в выборе целей. Поэтому многоэшелонные структуры называют также многоцелевыми.

В таких системах могут быть использованы разные способы принятия решений. Естественно, что при предоставлении прав самостоятельности в принятии решений подсистемы могут формировать противоречащие друг другу («конфликтные») цели и решения, что затрудняет управление, но является, в то же время, одним из условий повышения эффективности функционирования системы. Разрешение конфликтов достигается путем вмешательства вышестоящего эшелона. Управляющие воздействия для разрешения этих противоречий со стороны вышестоящих уровней иерархии могут быть разной силы.

Следует отметить, что выделение страт, слоев и эшелонов, в изучаемом объекте производится исходя из задач исследования и не может быть формализовано. В основе этого процесса заложены только опыт и знания исполнителя. Примечательно, что в некоторых случаях системных исследований выделенные страты, слои и эшелоны могут совпадать.

В реальных системах организационного управления (особенно на уровне региона, государства) могут быть использованы одновременно несколько видов иерархических структур: от древовидных до многоэшелонных. Такие иерархические структуры называются смешанными. При этом основой объединения структур могут служить страты и, поэтому, в принципе, можно считать их развитием стратифицированного представления.

В таких смешанных иерархических структурах могут быть как вертикальные связи разной силы (управление, координация), так и горизонтальные взаимодействия между элементами (подсистемами) одного уровня (см. рис. 1.7).

В качестве примера рассмотрим модель структуры управления российским государством, в котором управление осуществляется с использованием смешанного принципа территориально-отраслевого управления. В соответствии с этим принципом органы территориального и отраслевого управления не могут рассматриваться как подчиненные друг другу. Это всегда затрудняло графическое представление структуры управления страной.

В этой модели за основу принято многоуровневое представление: на верхнем уровне расположены общегосударственные (президент, президентские советы, правительство) и отраслевые органы управления (отраслевые министерства); на среднем – региональные органы управления (округа, автономные республики, края и области), в числе которых могут существовать отраслевые региональные министерства департаменты; на более низком – районные или местные органы управления (муниципалитеты); на самом нижнем – предприятия и организации. В этой структуре существует древовидная иерархическая подчиненность исполнительных органов управления регионального и общегосударственного уровней. В то же время, предприятия и организации имеют, как правило, двойное подчи-

нение: отраслевым министерствам и территориальным (региональным) органам управления, т. е. имеет место иерархия со слабыми связями. В свою очередь, между общегосударственными органами управления при принятии решений по сложным проблемам устанавливаются горизонтальные взаимодействия для согласования решений, взаимного обмена информацией и т. д. Аналогичные связи существуют между соответствующими органами регионального управления. В период предоставления большей самостоятельности регионам и развития хозяйственной самостоятельности предприятий горизонтальные связи возникают и на нижних уровнях. Такое представление структуры организационного управления страной помогает принимать решения о преобладании в разные периоды развития экономики разных принципов – территориального и отраслевого.

Помимо этого государству присуще эшелонированное строение: государство в целом, республики, края, области, районы и т.п. Эти уровни существуют не сами по себе, а связаны отношениями соподчинения. Так, политикой в значительной мере определяется экономика данного государства, но одновременно экономика формирует линию поведения высшего политического руководства. В свою очередь, экономикой определяется развитие оборонного комплекса государства, а оборонный комплекс может стимулировать развитие экономики. Наряду с общими принципами взаимоотношений между различными органами управления страной, реальная структура формируется с помощью соответствующих нормативно-правовых и нормативно-методических документов, в которых регламентируются конкретные взаимодействия между органами управления.

Обобщая вышеизложенное, следует отметить, что иерархическая структура – это многоуровневое (стратифицированное, послойное, эшелонированное) представление анализируемой системы с указанием отношений соподчиненности между уровнями (внешнеуровневая иерархия) и между компонентами внутри каждого уровня (внутриуровневая иерархия).

Знание иерархии изучаемой системы служит следующим шагом ее познания и позволяет ответить на следующие вопросы.

1. Из каких уровней (страт, слоев, эшелонов) состоит данная система?
2. Какие подсистемы и элементы образуют каждый уровень и как они соподчинены?

Следует особо подчеркнуть, что иерархический принцип построения систем вовсе не означает жесткого, беспрекословного подчинения низшего высшему. Каждый низший по иерархии компонент системы должен обладать определенной свободой в выборе своего поведения, соотносясь не только с системными интересами, но и исходя из своих внутренних потребностей. Именно такая свобода есть имманентный фактор развития систем и основное условие, открывающее дорогу их эволюции. Другими

словами, иерархия – это планомерное сотрудничество более организованных частей системы с ее менее организованными частями, направленное на их совместное совершенствование.

### 1.7. Состояние и поведение системы

Под понятием «состояние системы» понимают ее описание в некоторый момент времени, характеризующее что-то вроде мгновенной «фотографии» или «среза» системы. При этом система рассматривается в обстановке своего развития.

Состояние системы определяют, как правило, через ее параметры (макропараметры), характеризующие свойства системы (например, давление, скорость, ускорение – для физических систем; производительность, себестоимость продукции, прибыль – для экономических систем).

Часто состояние системы описывают с помощью входных воздействий, или входов системы (рецепторов) и выходных сигналов, или их выходов (эффекторов). Входные воздействия при этом делят на управляющие  $x$ , возмущающие (неконтролируемые) –  $v$ . Тогда выходные параметры –  $y$  – зависят от состояния составляющих элементов системы –  $a$  – и входных воздействий:  $y_t = f(a_t, x_t, v_t)$ . Отсюда состояние может быть определено, в зависимости от постановки задачи, в виде двойки  $\{a_t, x_t\}$ , в виде тройки  $\{a_t, x_t, y_t\}$ , или в виде четверки  $\{a_t, x_t, v_t, y_t\}$ .

Таким образом, состояние системы можно определить как множество существенных свойств, которыми система обладает в данный момент времени.

Поведение – это свойство системы переходить из одного состояния в другое. На формальном языке это выглядит следующим обобщенным образом:  $S_1 \rightarrow S_2 \rightarrow S_3 \rightarrow \dots$ . К такому описанию прибегают, если не известны закономерности (правила) перехода из одного состояния в другое. В таком случае говорят, что система обладает определённым поведением и выясняют характер или алгоритм поведения.

Зачастую поведение представляют с помощью описания смены состояний:  $y_{t-1} \rightarrow y_t$  или  $y_t = f(y_{t-1}, x_t, v_t)$ , или  $S(t) = [S(t-1), y(t), x(t)]$ .

С понятиями «состояние» и «поведение» тесно связаны понятия «равновесие» и «устойчивость».

Равновесие – это способность системы при отсутствии внешних возмущающих воздействий (или при постоянных воздействиях) сохранить свое состояние сколь угодно долго. Такое состояние называют состоянием равновесия.

Устойчивость характеризует способность системы возвращаться в состояние равновесия после того, как она была из этого состояния выведена под влиянием внешних возмущающих воздействий, а в системах с активными элементами – под влиянием возможных внутренних возмущающих

воздействий. Эта способность обычно присуща системам при постоянном входном воздействии, если только отклонения не превышают некоторого предела (порогового значения).

Такое состояние, в которое система способна возвращаться, называют устойчивым состоянием равновесия. Возврат в это состояние может сопровождаться колебательным процессом. Соответственно, в сложных системах возможны неустойчивые состояния равновесия.

Система, у которой существует одна единственная область устойчивости, называется системой с сильной или глобальной устойчивостью. Система, обладающая множеством устойчивых областей, в каждую из которых она способна переходить в результате отклоняющих воздействий, называется системой со слабой или локальной устойчивостью.

Следует отметить, что действие внутренних и внешних флуктуаций случайного характера, при определенных условиях могут инициировать развитие системных процессов, ведущих к неустойчивости.

Состояния равновесия и устойчивости хорошо иллюстрируются на технических примерах. Однако в экономических и организационных системах, несмотря на кажущуюся аналогию с техническими, – это гораздо более сложные понятия. До недавнего времени ими пользовались в основном как некоторыми аналогиями для предварительного описательного представления о системе. В последнее время появились попытки формализованного отображения этих процессов и в сложных организационных системах, помогающие выявлять параметры, которые характеризуют такие свойства систем, как стабильность или нестабильность поведения.

Развитие – это свойство систем, которое определяет сложные термодинамические и информационные процессы, протекающие в природе и обществе. Исследование процесса развития, соотношения развития и устойчивости, изучение механизмов, лежащих в их основе, – это наиболее сложные задачи кибернетики и теории систем. При этом выделяют класс развивающихся систем, а также особый класс самоорганизующихся систем, к которым применяют специально разработанные методы моделирования.

Таким образом, для развития системы необходимы переходы из одного устойчивого состояния в другое, что вызывается воздействиями внешней среды (внешнее или стороннее воздействие). Однако зачастую в природных и общественных системах изменения их состояний происходит под влиянием внутренних факторов безотносительно к воздействиям со стороны. Процесс поведения системы, в основе которого лежат механизмы, обуславливающие ее самостоятельное развитие систем без вмешательства извне, получил название самоорганизации. Следовательно, существуют механизмы собственной регуляции, отражающие внутренние потребности развития самих систем.

Самоорганизация играет существенную роль в формировании функций, свойств и структуры систем любой природы и представляет собой по-

ведение системы как развернутый во времени процесс смены ее состояний, инициируемый не только внешними воздействиями, но и внутренними потребностями. Это означает, что цели поведения самоорганизующихся систем не устанавливаются сверху, а формируются внутри, исходя из собственных потребностей текущего развития, и могут меняться в зависимости от этих потребностей.

### 1.8. Цель и проблемы её согласования

Цель – это идеальное, мысленное предвосхищение результата деятельности. Содержание цели зависит от объективных законов действительности, реальных возможностей субъекта и применяемых средств (Советский энциклопедический словарь, 1990). Говоря иначе, цель является заранее мыслимым результатом сознательной деятельности человека или группы людей. По формулировке Ю.И. Черняка: «Цели – это планы, выраженные в виде результатов, которые должны быть достигнуты. Цели – это связь настоящего с будущим и обратная связь будущего с настоящим». При этом в общем случае понимается, что достижение поставленных целей невозможно, но к ним можно и нужно непрерывно приближаться.

Следует подчеркнуть, что трактовка цели как заранее мыслимого результата связывает человека с его сознательной деятельностью. Поэтому, для систем более низкого уровня развития в живой и неживой природе, принято использовать другие термины, например: целенаправленность, целеустремленность, целесообразность.

Процессы целеполагания и целеобразования являются основными при исследовании систем. От них зависит постановка задач исследований, выделение системы из среды (даже при формулировке понятия «элемент» было использовано понятие «цель»), определение ее характеристик и закономерностей, а в результате – адекватность описания реальных явлений.

Эти процессы весьма сложны и неоднозначны, так как полностью зависят от взглядов и мнений человека, а потому не могут быть решены формальным путем. Отсюда возникают большие сложности при толковании этих понятий (особенно в организационных системах) разными специалистами, в том числе в областях философии, психологии и кибернетики. Следует отметить, что представления о цели находились в стадии постоянного анализа и уточнения на протяжении всего периода развития философии и теории познания и изучаются до сих пор.

Анализ определений цели и связанных с ней понятий показывает, что, в зависимости от стадии познания объекта и от этапа системного анализа, в понятие «цель» вкладывают различные оттенки в пределах условной шкалы: от идеальных устремлений до конкретных целей, т. е. конечных результатов.

В реальных ситуациях необходимо оговаривать, в каком смысле на данном этапе рассмотрения системы используется понятие «цель», что в большей степени должно быть отражено в ее формулировке. Например, цель – это идеальные устремления, которые помогут коллективу лиц,

принимающих решение, увидеть перспективы или реальные возможности, обеспечивающие своевременность завершения очередного этапа на пути к желаемому будущему.

Таким образом, в теории систем и системном анализе большое внимание уделяется концептуальным подходам к формулированию и структуризации целей в конкретных условиях, а также выяснению единства и взаимосвязей между понятиями цели, средства (варианта) ее достижения и критерия оценки, а на этой основе – исследованию целостности системы.

Изучение взаимосвязи этих понятий показывает, что поведение одной и той же системы может быть описано в терминах цели или целевых функционалов, связывающих цели со средствами их достижения (такое представление называют аксиологическим). В настоящее время на основе таких научных исследований разрабатываются программно-целевые принципы планирования крупных проектов, например, в рамках энергетической, продовольственной, жилищной программы, программы перехода к рыночной экономике и многих других.

В большинстве случаев (в экономических системах повсеместно), показателем полноты достижения цели «жизни» системы служит стоимостной показатель. Разумеется, что выбор показателя – критерия эффективности системы – является заключительным этапом формулировки целей и задач системы. Но нельзя упускать из виду того, что от этого этапа будут зависеть наши представления о свойствах системы и результаты самого системного анализа.

Предположим, что по отношению к некоторой системе все формальные вопросы описания уже благополучно разрешены.

Далее необходимо решить вопрос об алгоритме или тактике управления для достижения наибольшей эффективности. Скорее всего, именно в этой области и лежит поле профессиональной деятельности в сфере делового администрирования, решения задач организационно-управленческого характера.

Вроде бы все очень просто: имеется предприятие, выделены его подсистемы (отделы), определены функции каждой подсистемы и каждого элемента в них, описаны связи внутри системы и по отношению к внешней среде. Так пусть каждый элемент функционирует оптимально – наиболее эффективно делает свое дело. Но здесь почти всегда возникают противоречия, суть которых можно определить с помощью примера, ставшего классическим. Рассмотрим деятельность некоторой фирмы, производящей определенные виды продукции и, естественно, стремящейся получить максимальную прибыль от ее продажи. Пусть решается простой вопрос: сколько готовой продукции хранить на складе предприятия и сколько разновидностей ее должно производиться. Если посмотреть на частные интересы различных отделов фирмы, сразу же обнаружится несовпадение этих интересов. Каждый из отделов заинтересован в достижении глобальной цели – максимуме прибыли

фирмы (если это не так, то системный подход здесь бессилён); при этом производственный отдел будет заинтересован в длительном и непрерывном производстве одного и того же вида продукции (только в этом случае будут наименьшими расходы на наладку оборудования). Отдел сбыта, напротив, будет отстаивать идею производства максимального числа видов продукции и больших запасов на складах. Финансовый отдел, конечно же, будет настаивать на минимуме складских запасов (то, что лежит на складе, не может приносить прибыли!).

Даже отдел кадров будет иметь свою локальную целевую функцию: производить продукцию всегда (даже в периоды делового спада) и в одном и том же ассортименте, так как в этом случае не будет проблем текучести кадров.

Теперь представьте себе сложность задачи управления такой большой системой с достижением глобальной цели – максимума прибыли. Ясно, что придется ставить и решать задачи согласования целей отдельных подсистем и хорошо еще, если показатели эффективности подсистем имеют ту же размерность, что и показатель (критерий) эффективности системы в целом. Ведь вполне может оказаться, что эффективность работы некоторых подсистем придется измерять не в денежном выражении, а с помощью других, нечисловых показателей.

### 1.9. Закономерности функционирования и развития систем

Закономерности функционирования и развития систем характеризуют принципиальные особенности построения, функционирования и развития сложных систем. Многие исследователи по-разному трактуют понятие закономерности систем, называя их системными параметрами или макрокопическими свойствами, или признаками системы и т. п.

Разнообразные закономерности систем условно можно подразделить на четыре следующие группы, как показано на рис. 1.10 [3].

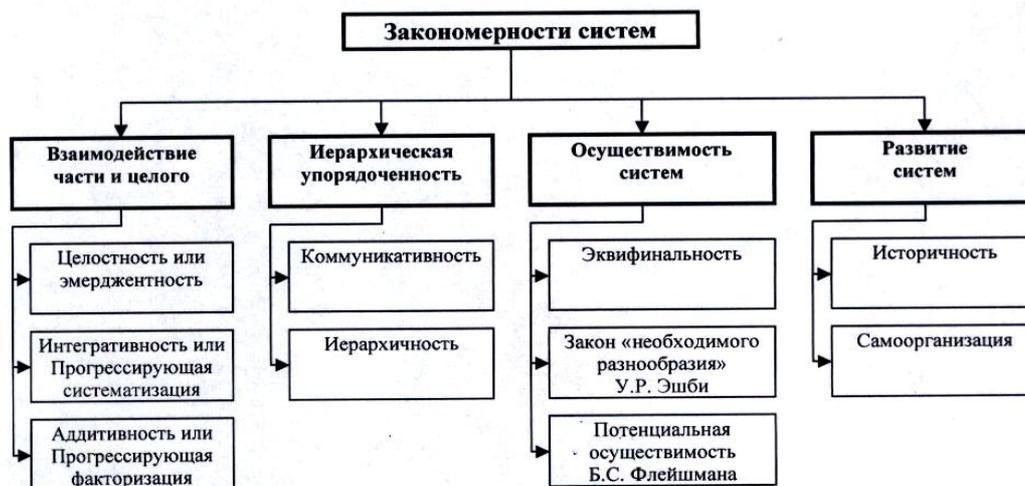


Рис. 1.10. Группировка закономерностей систем по различным признакам

### 1.9.1. Закономерности взаимодействия части и целого

В процессе изучения особенностей функционирования и развития сложных открытых систем с активными элементами был выявлен ряд описанных ниже закономерностей, помогающих проведению изучения систем на более глубоких уровнях аналитических исследований вычлеченных из системы составляющих элементов и ее частей и их взаимодействий между собой. Они позволяют понять диалектику части и целого в процессе принятия решений.

Целостность исторически выступает основным или родовым признаком системы; она определяется возникновением новых свойств при объединении элементов в систему (или элементов в подсистемы и подсистем в систему) за счет возникающих межэлементных, межкомпонентных (а также внутриуровневых и междууровневых) отношений, связей и взаимодействий. При этом система приобретает новые интегративные или совокупные качества, которые отсутствуют у образующих ее элементов и других частей.

С целостностью тесно связано понятие эмерджентности, которое характеризует явления накопления и усиления одних свойств элементов и компонентов одновременно с нивелированием, ослаблением и скрытием других свойств за счет их взаимодействия. Эмерджентность можно трактовать как механизм, обуславливающий проявление гегелевского закона перехода количества в качество. Более глубокие проявления эмерджентности заключаются в наличии нескольких внутрисистемных причинно-следственных факторов. Первым из них является фактор возникновения общесистемных свойств в результате взаимодействия элементов и компонентов в системе, причем таких, которые не являются суммой свойств составляющих ее элементов или частей. Этот можно выразить как несводимость целого к простой сумме частей. Вторым фактором определяет влияние элементов (частей) на систему таким образом, что свойства системы (целого) зависят от свойств составляющих ее элементов и частей, а изменение в одной части вызывает изменение во всех остальных частях и во всей системе. Третий фактор определяет влияние системы на входящие в нее элементы и компоненты, причем последние при попадании в систему, с одной стороны, приобретают новые качества (системные свойства), а с другой стороны – они, как правило, утрачивают часть своих индивидуальных свойств, присущих им вне системы (система как бы подавляет ряд присущих им до этого свойств).

Первый фактор рассматриваемой закономерности можно объяснить следствием так называемого синергетического эффекта, физический смысл которого состоит в процессе особого взаимодействия объектов, объединенных в систему. При этом под воздействием либо внешних, либо внут-

ренных факторов происходит их самосинхронизация таким образом, что поведение каждого отдельного компонента приобретает согласованную направленность.

Действия факторов становятся когерентными или кооперативными, в результате чего эффект такого действия получается иным, нежели простая сумма эффектов действий каждого компонента в отдельности. Так, если речь идет о синергетическом «сложении» мощностей, то когерентность выражается в том, что система как бы начинает черпать дополнительную энергию из окружающего пространства и концентрировать ее в нужном направлении. В результате суммарная сила действия превышает сумму действий частей. Простейшим примером, объясняющим возникновение синергетического эффекта в технике и в природе, может служить резонанс (явление сильного возрастания амплитуды электрических, механических и других колебаний в системе, когда частота ее собственных колебаний совпадает с частотой колебаний внешней силы).

Технические системы при их разработке и создании приобретают целостность, заключающуюся в выполнении тех функций, которыми не обладали составляющие их детали, узлы и другие части (свойства автомобиля или радиоприемника отличаются от свойств деталей, из которых он собран). В ином случае разработка какой-либо системы не имеет смысла. В социологических исследованиях хорошо известен так называемый фактор толпы, представляющий собой проявление синергетического эффекта в системе, состоящей из множества людей с кооперативным поведением.

Второй фактор проявления закономерности целостности системы объясняет наличие ее приобретенных свойств в прямой зависимости от свойств образующих ее частей (при этом свойства изучаемой системы невозможно свести к свойствам ее частей, а также вывести лишь из них). Так, в случае замены некоторой детали в технической системе на новую деталь система может перестать выполнять свои функции или могут измениться ее характеристики. Аналогично замена элементов в организационной структуре системы управления предприятием может существенно повлиять на качество его функционирования.

Третий фактор проявления закономерности целостности системы представляет собой особенность изменения свойств элементов и компонентов, попадающих в систему. Так, деталь (например, радиодеталь) установленная в механизме или устройстве (например, в телевизоре) будет работать только в ограниченном для нее режиме, необходимом для работы всей технической системы. Аналогично производственная система в рабочее время подавляет у своих элементов-рабочих вокальные, хореографические и некоторые другие способности и использует только те свойства, которые нужны для осуществления процесса производства. Еще в большей степени подавляет проявление способностей человека конвейер. С другой стороны, влияние трудового или творческого коллектива на отдельного его

члена может оказать значительное воздействие на его личностные, общественные и профессиональные качества.

Существенным проявлением закономерности целостности являются новые взаимоотношения и взаимодействия системы с внешней средой, отличные от взаимоотношений и взаимодействий отдельных ее элементов и частей. В частности, было доказано, что люди и животные, организованные в систему, воспринимают внешнюю ситуацию и ведут себя совершенно иначе, чем в случае их разобщенности. Другими словами, системные психологические механизмы и коллективное поведение формируются и развиваются по иным законам, чем индивидуальная психика и персональное поведение. Вместе с тем, они коррелированы, обуславливая и определяя друг друга, формируя то, что называют целостностью социальных и биологических систем.

Таким образом, следует отметить, что кроме внутрисистемных проявлений закономерности целостности возникают новые взаимоотношения и взаимодействия самой системы (как целого) со средой, которые отличаются от отношений и взаимодействий с ней отдельных элементов и компонентов.

В.И. Вернадский при изучении целостности экологических систем, то есть систем, образованных взаимоотношениями человека с объектами живой и неживой природы, показал, что человек и природа не только взаимосвязаны, но в этой системе уже совсем скоро не останется «резервных» элементов, то есть природных объектов, исчезновение которых из-за деятельности человека не вызовет обратной реакции со стороны природы. Именно эта ответная реакция составляет основу механизма восстановления целостности экосистем, возможно, с самыми негативными последствиями для человечества.

Свойство целостности связано также с целью, для выполнения которой предназначена система. При этом, если цель не задана в явном виде, а у отображаемого объекта наблюдаются целостные свойства, можно попытаться определить цель или выражение, связывающее цель со средствами ее достижения (целевую функцию, системообразующий критерий), путем изучения причин появления закономерности целостности.

Необходимо отметить, что для технических объектов и систем цель, как правило, несложно сформулировать. А вот в организационных системах не всегда сразу легко понять причину возникновения целостности и требуется проводить анализ, позволяющий выявить, что привело к возникновению целостных, системных свойств.

Исследованию причин возникновения целостных свойств в теории систем уделяется большое внимание. Однако на практике в ряде реальных ситуаций чрезвычайно сложно (а, зачастую, невозможно) выявить факторы, обуславливающие возникновение целостности.

Проблема заключается в том, что любое системное исследование так или иначе связано с нарушением целостного представления изучаемой системы. Не расчленив систему на части, невозможно понять сути целого. Однако всякая декомпозиция (расчленение) системы на отдельные обособленные части приводит к потере сути целого и неверной оценке свойств частей. Говоря иначе, при любом способе деления объекта на части невозможно выявить его целостные свойства, так как простое механическое вычленение какого-либо элемента из него приводит к получению обособленного элемента с другими свойствами, т. е. к новому объекту. Как известно, еще Аристотель образно говорил, что рука, отделенная физически от тела, – это уже не рука.

Это приводит к парадоксу, который можно разрешить при совместном применении принципов «от целого к частям» и «от частей к целому», то есть путем организации процесса исследований в виде поэтапного разукрупнения изучаемого объекта на страты, слои и эшелоны с одновременным установлением связей и взаимодействий между ними.

В данном случае системные исследования становятся эффективным средством изучения объекта потому, что последний рассматривается как система, в которой проявляется закономерность целостности и подразумевается обязательные качественные изменения (на любом уровне расчленения системы) при объединении элементов в систему и при переходе от системы к элементам. Достоинством этого подхода является возможность описания исследуемого объекта или процесса, достаточно сложного для его отображения в виде формальной математической модели, хотя бы на уровне структуры.

Таким образом, признак целостности отражает особенности не всякого, а определенного вида целого, такого, где достаточно выражено единство и где обязательно имеются выделенные части, влияющие друг на друга.

Как синоним целостности часто употребляют термин «интегративность». Однако при его использовании исследователи подчеркивают интерес не к внешним факторам проявления целостности, а к более глубоким причинам и процессам формирования (в той или иной степени) целостности и, главное, – к его сохранению.

Интегративными называют системообразующие, системоохраняющие факторы, которые вызывают у элементов и компонентов системы (несмотря на возможную неоднородность и взаимные противоречия) активное стремление их вступать в коалиции друг с другом, т. е. устанавливать и усиливать межэлементные и межкомпонентные связи, ведущие к целостности.

С другой стороны, при анализе систем рассматривают противоположные тенденции, направленные на ослабление межэлементных и межкомпонентных связей вплоть до их полного разрушения. Такую закономерность называют физической аддитивностью, независимостью, суммативностью, обособленностью.

Строго говоря, любая развивающаяся система находится, как правило, между крайними точками условной шкалы. С одной стороны – это состояние абсолютной целостности, при котором элементы и компоненты в системе полностью потеряли собственные индивидуальные свойства и полную свободу самостоятельного функционирования, но приобрели новые коллективные системно определяющие качества за счет наличия связей и взаимодействий. С другой стороны – это состояние абсолютной аддитивности, при котором все составляющие элементы и компоненты полностью потеряли связи друг с другом и системно приобретенные свойства, однако приобрели или восстановили при этом собственные индивидуальные свойства и полную свободу самостоятельного и независимого функционирования.

В том предельном случае, когда система распалась на независимые элементы, о ней как о системе, по существу ее определения, говорить уже нельзя, так как она перешла в состояние простого набора элементов.

Следует отметить, что на практике существует опасность искусственного разложения системы на независимые элементы, даже когда при внешнем графическом изображении они кажутся элементами существующей системы.

Для оценки описанных выше явлений интегративности и аддитивности А. Холл применил более «тонкие» формулировки: «прогрессирующая систематизация», характеризующая стремление системы к уменьшению самостоятельности элементов, т. е. к большей целостности (пример интенсивных структур); и «прогрессирующая факторизация», характеризующая стремление системы к состоянию со все более независимыми элементами (пример деградирующих структур). По существу эти понятия характеризуют скорость и ускорение процессов в соответствующих закономерностях.

В любой рассматриваемый этап развития системы выделяемое ее состояние («срез») можно охарактеризовать степенью проявления одного из этих свойств или тенденций к его нарастанию или уменьшению.

При создании сложных (особенно развивающихся) систем возникает проблема использования имеющихся ресурсов (материальных, методологических, финансовых, организационных и др.) с наибольшей эффективностью так, чтобы как можно скорее достичь максимальной интегративности, а также сохранить на продолжительное время сформированную целостность. В этом случае невозможно разработать полный перечень рекомендаций по формированию и сохранению целостности, проблема выбора и сохранения интегративных факторов должна решаться в конкретных приложениях на моделях, сочетающих средства качественного и количественного анализа.

В последнее время появляются попытки разработать методы распознавания направлений развития систем в сторону интегративности или в сторону аддитивности, оценки степени прогрессирующей систематизации или прогрессирующей факторизации, в частности, путем введения сравнительных количественных оценок степени целостности и коэффициента использования свойств элементов в целом.

### 1.9.2. Закономерности коммуникативности и иерархичности систем

Эта группа закономерностей связана с исследованиями систем с позиций их структурного иерархического строения, с расчленением целого на части и их взаимодействия с окружающей (внешней) средой, значимой или существенной для функционирования систем.

Закономерность коммуникативности составляет основу определения системы, предложенного В.Н. Садовским и Э.Г. Юдиным, из которого следует, что система не изолирована от других систем: она связана множеством коммуникаций с внешней средой. Последняя представляет собой сложное и неоднородное образование, которое, в свою очередь, содержит систему более высокого порядка или надсистему (надсистемы), задающую требования и ограничения исследуемой системе. Кроме этого, эта система может содержать также подсистемы (нижележащие, подведомственные системы) и системы одного уровня с уровнем рассматриваемой.

Таким образом, закономерность коммуникативности предполагает, что система образует особое, сложное единство со средой, которое позволяет вскрыть механизмы построения общих моделей живой и неживой природы, а также любых выделенных из нее локальных систем на разных уровнях анализа.

Закономерности иерархичности или иерархической упорядоченности являются одними из первых закономерностей построения и развития систем, которые выделил и исследовал основатель теории систем Л. фон Берталанфи.

Иерархичность или иерархическую упорядоченность рассматривают как закономерность построения всего мира и любой выделенной из него системы, начиная от атомно-молекулярного уровня и кончая человеческим обществом. Эти особенности иерархических структур систем (или, как принято иногда говорить, иерархических систем) наблюдаются не только на биологическом уровне развития Вселенной, но и в социальных организациях, при управлении предприятием, объединением, государством, при представлении замысла проектов сложных технических комплексов и т. п.

В силу закономерности коммуникативности, которая проявляется не только между выделенной системой и ее окружением, но и между уровнями иерархии исследуемой системы, каждый уровень иерархической упорядоченности имеет сложные взаимоотношения с вышестоящим и нижележащим уровнями. Более высокий иерархический уровень оказывает направляющее воздействие на подчиненный ему нижележащий уровень. Это воздействие проявляется в том, что подчиненные члены иерархии приобретают новые свойства, отсутствовавшие у них в изолированном состоянии, что подтверждает положение о влиянии целого на элементы, приведенное выше. В результате появления этих свойств формируется новый, другой «облик» целого (влияние свойств

элементов на целое), благодаря чему на каждом уровне возникают новые свойства, которые не могут быть выведены как сумма свойств элементов. При этом на каждом уровне иерархии проявляется закономерность целостности. Возникшее таким образом новое целое приобретает способность осуществлять новые функции, в чем и состоит цель образования иерархий.

Итак, на каждом уровне иерархии происходят сложные качественные изменения, которые не всегда могут быть представлены и объяснены. В частности, исследования иерархической упорядоченности в организационных системах позволили сделать вывод о том, что между уровнями и элементами иерархических систем существуют более сложные взаимосвязи, чем это может быть отражено в графическом изображении иерархической структуры. Так, к примеру, если даже между элементами одного уровня иерархии нет явных связей (горизонтальных), то они могут быть взаимосвязаны через вышестоящий уровень.

С помощью иерархических представлений можно отображать системы с неопределенностью и исследовать их путем иерархического расчленения «большой» неопределенности на более «мелкие», которые в ряде случаев легче поддаются изучению, что помогает выявить причины качественных изменений при формировании целого из частей. Это позволяет частично снять общую неопределенность и обеспечить некоторый контроль за принятием решения даже в том случае, если «мелкие неопределенности» не удастся полностью раскрыть и объяснить.

Необходимо подчеркнуть, что построение иерархической структуры полностью зависит от цели. Для многоцелевых ситуаций можно построить несколько иерархических структур, соответствующих разным условиям при постановке задач. При этом в разных структурах могут принимать участие одни и те же компоненты.

В тех ситуациях, когда задана одна и та же цель и выдано поручение сформировать иерархическую структуру системы разным исследователям, то, в зависимости от их предшествующего опыта, квалификации и знаний, можно получить разные результаты, то есть разные иерархические структуры с своеобразным описанием качественных свойств на каждом уровне иерархии.

Таким образом, следует иметь в виду, что в силу закономерности целостности одна и та же система может быть представлена разными иерархическими структурами.

### 1.9.3. Закономерности осуществимости систем

Исследование закономерностей осуществимости систем, несмотря на слабую изученность этого направления в теории систем, позволяет лучше

понять проблему при разработке принципов проектирования и организации функционирования систем управления.

К закономерностям осуществимости систем принято относить следующие: эквифинальность, закон необходимого разнообразия и закономерность потенциальной эффективности. Теперь рассмотрим каждую из закономерностей в отдельности.

По определению Л. фон Берталанфи, эквифинальность характеризует предельные возможности систем определенного класса сложности достигать не зависящего от времени состояния и независимо от исходных условий за счет исключительно параметров самой системы. При этом потребность во введении понятия эквифинальности возникает, начиная с некоторого уровня сложности «открытых» систем (в отличие от «закрытых» систем в состоянии равновесия), например биологических систем. В этом случае можно говорить о развитии живых организмов как систем, которые по мере эволюции усложняются и стремятся из любых начальных условий к каким-либо своим предельным возможностям или предельно возможным состояниям, определяемым видовой принадлежностью. В наибольшей степени вызывает интерес исследование указанной закономерности у человека. При этом различные ученые (биологи, философы, инженеры и т. д.) вычленяют отдельные уровни проявления эквифинальности, например, материальный, эмоциональный, семейно-общественный, социально-общественный, интеллектуальный и т. п.

В этой связи чрезвычайно важны представления о возможных уровнях существования и предельных возможностях социально-общественных систем, а также о предельных возможностях создаваемых предприятий, организационных систем управления отраслями, регионами, государством. Однако в настоящее время ряд вопросов, касающихся этой закономерности остаются открытыми для дальнейших исследований, в том числе: какие именно параметры в конкретных системах обеспечивают свойство эквифинальности; за счет каких механизмов или процессов обеспечивается это свойство; как проявляется закономерность эквифинальности в организационных системах?

Закон «необходимого разнообразия» сформулированный У.Р. Эшби, гласит: для того, чтобы создать систему, способную справиться с решением некоторой возникшей проблемы, которая обладает определенным, известным разнообразием (сложностью), необходимо иметь для этой системы еще большее разнообразие или способность создать в себе это большее разнообразие. Иначе говоря, система должна иметь ресурсы, в том числе знания путей и методов решения возникающей проблемы или методологию разработки новых методов и средств ее решения.

Применительно к системам управления закон необходимого разнообразия может быть сформулирован следующим образом: разнообразие управляющей системы (системы управления) должно быть больше (или, по

крайней мере, равно) разнообразию управляемого объекта. Этот закон достаточно широко применяется на практике. Он позволяет, например, при разработке и совершенствовании систем управления предприятием, объединением или отраслью анализировать причины проявляющихся в них недостатков, найти пути повышения эффективности управления и получить рекомендации по совершенствованию всей системы управления. В частности, при усложнении производственных процессов эффективность управления ими можно варьировать различными методами, в том числе: численностью аппарата управления, степенью повышения его квалификации, уровнем механизации и автоматизации управленческих работ, приемами унификации, стандартизации, типизации технологических этапов и процессов, введения поточного производства, сокращения номенклатуры деталей, узлов, технологической оснастки и т. п.

Одним из действенных факторов совершенствования управления является обеспечение самоорганизации объектов управления, например, за счет создания саморегулирующихся подразделений: цехов, участков с замкнутым циклом производства, с относительной самостоятельностью и ограничением вмешательства централизованных органов управления предприятием и т. п.

Закономерность потенциальной эффективности характеризует (по мнению Б.С. Флейшмана) взаимосвязи сложности структуры системы со сложностью ее поведения и, в частности, учитывает возможности достижения предельных величин для надежности, помехоустойчивости, управляемости и других свойств системы.

На основе этих законов оказалось возможным получение количественных оценок порогов осуществимости систем с точки зрения того или иного качества, а при их интегрировании – обобщенных оценок предельных значений жизнеспособности и потенциальной эффективности сложных систем. Эти оценки в основном использовались применительно к техническим и экологическим системам. Однако для производственных систем они используются недостаточно, хотя потребность в таких оценках на практике ощущается все более остро, например, в тех случаях, когда необходимо определить пределы потенциальных возможностей и ресурсов существующей организационной структуры и моменты их исчерпания, что вызывает необходимость ее преобразования. В аналогичных ситуациях требуется выяснения моментов физического или морального устаревания производственных комплексов и оборудования для их последующего планового ремонта, частичного обновления или полной замены и т. п.

Таким образом, использование закономерностей потенциальной эффективности помогает уточнить представление об изучаемом или проектируемом объекте и позволяет разрабатывать рекомендации по повышению эффективности управления им.

#### 1.9.4. Закономерности развития систем

Процессы развития систем во времени и причины, побуждающие их представляют большое значение для анализа и проектировании как открытых, развивающихся систем, так и закрытых, замкнутых от среды систем. Исследования этих процессов привели к выявлению закономерностей историчности и самоорганизации системы.

Время является непременной и важнейшей характеристикой системы, поэтому каждую систему следует рассматривать с временных позиций. Если для биологических и общественных систем достаточно легко установить временные фазы становления, расцвета, упадка (старения) и даже смерти (гибели), то для технических и организационных систем определить такие периоды развития довольно трудно. Следует отметить, что любая система не может быть неизменной, она не только возникает, функционирует, развивается, но и погибает. В основе этой закономерности историчности лежат внутренние противоречия между компонентами системы. При этом система так же объективна, как целостность, иерархическая упорядоченность и другие закономерности.

В последнее время в практике проектирования и управления на необходимость учета закономерности историчности начинают обращать все больше внимания, при этом осуществляются попытки управления жизненными циклами систем. В последнем случае исследователи не только контролируют жизненные фазы, в том числе фазу старения, но разрабатывают и применяют методы и средства реорганизации системы с целью недопущения ее старения и гибели. В частности, в системотехнике при создании сложных технических комплексов требуется на стадии проектирования системы рассматривать не только вопросы разработки и обеспечения развития системы, но и вопросы времени, ресурсов, обстоятельств и механизмов ее уничтожения, например, при списании техники и оборудования в промышленности, захоронении ядерных материалов и отходов и т. п. Особенно остро проблема жизненного срока продуктов производства стоит в пищевой и фармакологической промышленности.

Таким образом, современные требования к разработке систем предполагают проведение исследований основных ее жизненных фаз: создания, тестирования, отладки, функционирования (время безотказной работы), срока физического или морального старения жизни, этапа ликвидации и т. п. Так, в настоящее время при регистрации предприятий требуется, чтобы в Уставе предприятия был предусмотрен этап его ликвидации.

В некоторых случаях еще в процессе проектирования и создания системы выдвигают положения о коррекции проекта с учетом старения идеи, положенной в его основу.

Самоорганизация – это социальный, биологический, физический или какой-либо иной процесс, ведущий к образованию новых, заранее не из-

вестных свойств и качеств системы. Согласно современным научным представлениям, все живые и неживые объекты обретают свою форму, структуру, системные свойства и функции с помощью самоорганизации. Особенно наглядно проявляется самоорганизация гуманитарных систем. Семья, трудовой коллектив, предприятие, поселок, город, государство, наконец, человеческая цивилизация являются собой яркие примеры самоорганизующихся систем.

По мнению ряда исследователей, самоорганизация присуща открытым системам, постоянно находящимся в неустойчивом состоянии и одновременно имеющим возможность переходить из одних областей неустойчивости в другие неустойчивые области. В противоположность этому закрытая, изолированная система, может только разрушаться (Л.А. Растригин). Учитывая все сказанное выше, можно сказать, что самоорганизация – это концепция, постулирующая доминирование внутренних факторов развития систем над внешними и, соответственно, отсутствие предначертанного в самом развитии.

Альтернативой самоорганизации выступает так называемая концепция предопределенности или фатальности, основанная на представлении о том, что все происходящее в нашем мире предопределено и запрограммировано свыше (божественной волей, вселенским разумом, законами природы или чем-то другим неизвестным). В системном плане предопределенность в развитии обусловлена тем, что любая система есть часть какой либо надсистемы, которая может определять цели и характер развития своих частей.

Следует отметить, что развитие природных и общественных процессов происходит с определенной степенью как самостоятельности, так и предопределенности под действием двух групп факторов – внутренних и внешних. Причем внутренние факторы влияют на самоорганизацию, присущую любой системе, а внешние факторы выступают в качестве ограничений на возможность ее конкретных проявлений.

Иначе говоря, природа и общество устроены таким образом, что надсистема (какое бы естество она не имела) не предопределяет полностью поведение своих частей, предоставляя им возможность самостоятельно развиваться и проявлять индивидуальность, устанавливая при этом рамки, выход за которые чреват определенными последствиями. Формы выражения ограничений могут быть различными: от фундаментальных физических законов до религиозных морально-этических заповедей.

Таким образом, самоорганизация – это саморазвитие систем в рамках установленных ограничений. Центральным моментом в таком представлении самоорганизации является вопрос о фундаментальной исходной причине этого процесса. Объяснить это можно исходя из динамики противоречий в различных формах их проявлений (физической, биологической, социальной), которой присущ фундаментальный механизм перехода коли-

чества в качество. Эта точка зрения возводит самоорганизацию в ранг методологического принципа, наиболее ярким выражением которого служит синергетика (в отличие от кибернетического подхода к изучению систем и протекающих в них процессов). Это сравнительно новое междисциплинарное научное направление, которое ставит своей основной задачей изучение коллективных, кооперативных взаимодействий в возникновении и поддержании самоорганизации в открытых системах.

Основные краткие положения синергетики заключаются в следующем [см. 2]. Синергетика исходит из принципиальной неустойчивости физических, биологических, социальных и других процессов. Согласно синергетическим представлениям, каждая система обладает множеством областей слабой устойчивости, перемещения между которыми и пребывание в которых образуют процесс развития (движения) систем. Точки, в которых возможен переход системы в новое состояние, называют точками бифуркации (раздвоения, разветвления). В каждой такой точке возникает выбор (зависящий от случайных факторов) новых состояний, в которые может перейти система.

Синергетика вводит в рассмотрение принцип положительной обратной связи, который является диаметрально противоположным принципу отрицательной обратной связи, на котором основывается кибернетическое понимание управления и сохранения динамического равновесия систем. Согласно этому принципу изменения, появляющиеся в системе, не устраняются, а, напротив, накапливаются и усиливаются, что совместно с действием отрицательных обратных связей и приводит к возникновению нового порядка и структуры. Поэтому самоорганизация рассматривается как слабо прогнозируемый процесс, то есть процесс, развитие которого можно задать только возможными вариантами, но неоднозначной траекторией.

Синергетика исходит из того, что в развитии природных и общественных явлений наиболее существенную роль играют необратимые процессы, то есть процессы, которые невозможно осуществить в противоположном направлении, последовательно повторяя в обратном порядке все промежуточные состояния прямого процесса. В синергетике самоорганизующиеся процессы рассматриваются как иерархические, в которых образование нового качества происходит вследствие взаимодействия соподчиненных уровней. Самоорганизация может происходить только в многоуровневых системах и по своим механизмам – это есть не что иное, как реализация иерархического соподчинения, в котором участвует не все компоненты смежных уровней, а только сравнительно небольшая их часть.

С системных позиций самоорганизующиеся процессы возникают и развиваются под одновременным действием трех факторов – предопределенности, конфликтности и случайности, – каждый из которых вносит свою долю в формирование динамики и структуры самоорганизующихся систем.

Таким образом, для возникновения и развития самоорганизации необходимо, чтобы система была открытой, то есть обладала способностью обмениваться веществом, энергией и информацией с окружающей средой (другими системами). В противном случае, движение системы предопределено вторым началом термодинамики: в конечном счете, она попадет в состояние, характеризующееся максимальным беспорядком или дезорганизацией.

## **1.10. Закономерности целеобразования**

### **1.10.1. Закономерности возникновения и формулирования целей**

Одной из важнейших проблем при исследовании и анализе систем является проблема целеполагания и целеобразования, не имеющая формального обоснования, и полностью решаемая человеком. Проводимые исследования процессов целеобразования позволили выявить ряд закономерностей, которые можно отнести к двум аспектам рассмотрения системных проблем, которые необходимо учитывать на практике: во-первых, закономерности возникновения и формулирования целей; во-вторых, закономерности формирования структур целей.

Закономерности возникновения и формулирования целей проявляются в некоторых специфических особенностях процесса целеобразования, например, в зависимости представления о цели и ее формулировки от стадии познания объекта (процесса, явления) и от времени его изучения, в зависимости цели от внутренних и внешних факторов, в возможности сведения задачи формирования общей (главной, глобальной) цели к задаче структуризации цели.

При формулировании цели необходимо стремиться отразить в формулировке или в способе представления цели ее активную роль в познании управления и, в то же время, сделать ее реалистичной, направить с ее помощью деятельность на получение определенного полезного результата. При этом формулировка цели и представление о ней зависят от стадии познания объекта, и в процессе развития представления об объекте цель может переформулироваться.

Коллектив, определяющий цель на каком-либо этапе рассмотрения объекта и развития представлений о нем, должен установить в каком смысле (более абстрактном или более прагматическом) употребляется понятие «цель», ближе к какой точке условной шкалы «идеальное устремление в будущее» – «конкретный результат деятельности» принимаемая формулировка цели. Поскольку по мере углубления исследований, познания объекта цель может сдвигаться в одну или другую сторону этой шкалы, то, соответственно, должна корректироваться и ее формулировка.

В процессе анализа причин возникновения и формирования цели необходимо учитывать как внешние по отношению к выделенной системе факторы (внешние потребности, мотивы, программы), так и внутренние потребности, мотивы, программы самой системы и ее элементов, а также исполнителей цели.

При этом на формулировку цели могут влиять противоречия (или коллизии), возникающие между внешними и внутренними факторами. Кроме этого, могут оказывать влияние вновь образующиеся противоречия между имевшими ранее внутренними факторами и новыми факторами, возникающими в самой системе, которая находится в постоянном движении. Причем последние являются чрезвычайно важными факторами, также объективно влияющими на процесс целеобразования, как и внешние факторы (особенно при использовании в системах управления понятия цели как средства побуждения к действию).

Эта закономерность характеризует очень важное отличие открытых, развивающихся систем (особенно организационных с весьма активными элементами) от технических систем, отображаемых обычно замкнутыми или закрытыми моделями. Так, в теории управления техническими системами используется понятие «цель» в значении чего-либо внешнего по отношению к системе, т. е. цель формируется и задается вне системы за счет внешних факторов. А в открытых, развивающихся системах цель формируется внутри системы за счет внутренних факторов, которые являются такими же объективными и действенными при формировании целей, как и внешние факторы.

Анализ процессов формулирования общей (глобальной) цели в сложной системе показывает, что эта цель первоначально возникает в сознании руководителя или коллектива не как сложившееся четкое понятие, а как некоторое размытое предположение в достаточно широкой смысловой области, с одной стороны, в виде некоторой абстракции, а с другой в виде практических приложений.

Таким образом, цель на любом уровне управления сначала возникает в виде некоторого образа или области цели. В наибольшей степени это проявляется на уровне глобальной цели. При этом достичь одинакового понимания общей цели всеми исполнителями, по-видимому, принципиально невозможно без ее детализации в виде упорядоченного или неупорядоченного набора одновременно возникающих взаимосвязанных подцелей, которые делают общую цель более понятной и конкретной для разных исполнителей – участников процесса целеобразования.

Следовательно, задача формулирования общей цели в сложных системах должна быть сведена к задаче структуризации или декомпозиции цели, т. е. к задаче построения структуры цели, что позволит прояснить детали в процессе достижения общей цели.

### 1.10.2. Закономерности формирования структур целей

Рассмотрение закономерностей формирования структур целей является, по сути, продолжением исследований процессов целеобразования на последующем этапе после выяснения причин и факторов возникновения и формулирования целей. В данном случае изучается: зависимость способа представления структуры целей от стадии познания объекта или процесса; проявление в структуре целей закономерности целостности; закономерности формирования иерархических структур целей.

Цели, как и системы, могут представляться в форме различных структур, подобно приведенным на рис. 1.5. Наиболее распространенным способом представления структур целей является древовидная иерархическая структура. Существуют и другие способы отображения, например, в виде иерархии со слабыми связями, табличного или матричного представления, сетевой модели.

На начальных этапах моделирования системы и представления структуры целей, как правило, удобнее применять декомпозицию в пространстве и выбирать древовидные иерархические структуры. При этом возможно появление иерархий со слабыми связями. Это можно объяснить обстоятельствами формулировки цели вышестоящих уровней иерархии, которые слишком близки к идеальным устремлениям в будущее, а также неясностью и неточностью представлений (временного, предпроектного характера) о целях-задачах и подцелях-функциях на более низких системных уровнях.

Возможно также представление развернутой последовательности подцелей (функций) в виде сетевой модели (декомпозиция во времени), что требует более подробных знаний об объекте, законах его функционирования, технологии производства и т. п. При этом сетевая структура целей может быть сформирована не сразу, а поэтапно таким образом, чтобы последующие промежуточные подцели выдвигались и формулировались по мере достижения предыдущих.

Такое представление может быть использовано и как средство управления, когда руководитель хорошо представляет себе конечную цель и ее декомпозицию во времени, но не уверен, что конечную цель сразу поймут исполнители. Тогда он может выдвигать перед ними подцели постепенно по мере достижения предыдущей, корректируя их с учетом мнений и возможностей исполнителей. Перспективным представляется развертывание иерархических структур во времени, т. е. сочетание декомпозиции цели в пространстве и во времени.

В иерархической структуре целей, как и в любой иерархической структуре, закономерность целостности проявляется на каждом уровне иерархии. Это означает, что, с одной стороны, достижение целей вышестоящего уровня не может быть полностью обеспечено достижением подчиненных ей подцелей, хотя и зависит от них; с другой стороны, потребно-

сти, мотивы, программы (как внешние, так и внутренние), влияющие на формирование целей, нужно исследовать на каждом уровне иерархии.

В силу большой неопределенности задачи расчленения целей результаты процессов такого расчленения различными исследователями могут оказаться разными, так как они могут предложить разные иерархические структуры целей и функций даже при использовании одних и тех же принципов структуризации и методик моделирования. Однако на каждом шаге структуризации с учетом задач анализа потребностей, мотивов, программ, влияющих на формирование общей цели, появляется реальная возможность согласования мнений различных исследователей.

Учитывая, что наиболее распространенным способом представления целей в системах организационного управления являются древовидные иерархические структуры («деревья целей»), формирование последних можно производить двумя способами. Первый из них – это формирование структур сверху, используя целевой или целенаправленный подход и методы структуризации или декомпозиции. Второй способ – формирование структур целей снизу, используя морфологический, лингвистический, тезаурусный, терминальный подход. Обычно на практике эти подходы сочетаются.

В иерархической структуре по мере перехода с верхнего уровня на нижний происходит как бы смещение шкалы от цели-направления (цели-идеала, цели-мечты) к конкретным целям и функциям, которые на нижних уровнях структуры могут выражаться в виде ожидаемых результатов конкретной работы с указанием критериев оценки ее выполнения. На верхних же уровнях иерархии, в отличие от нижних, критерии могут выражаться в общих требованиях, например, повысить эффективность, либо вообще не указываться.

Цели нижележащего уровня иерархии можно рассматривать как средства для достижения целей вышестоящего уровня, при этом они же являются целями для уровня нижележащего по отношению к ним. Поэтому в реальных условиях одновременно с использованием философских понятий «цель» и «подцель» в некоторых случаях целесообразно разным уровням иерархической структуры присваивать различные названия: «направления», «программы», «задания», «задачи» и т. п.

Для того, чтобы структура целей была удобной для анализа и организации управления, к ней рекомендуется предъявлять некоторые требования, в том числе:

- расчленение системы на каждом уровне должно быть соразмерным, а выделенные части логически независимыми;
- признаки декомпозиции (структуризации) в пределах одного уровня должны быть едиными;
- число уровней иерархии и число компонентов в каждом узле должно быть порядка  $7 \pm 2$  (в силу гипотезы Миллера или числа Колмогорова).

Эти требования не всегда совместимы, поэтому требуется поиск разумных компромиссов.

В процессе развертывания общей цели в иерархической структуре на каком-то уровне может возникнуть потребность изменить язык описания подцелей. В этом случае целесообразно выделять одним «деревом цели» ту часть структуры, которая может быть сформирована в терминах одного языка (политического, экономического, инженерного, технологического и т. п.), а другую (-ие) часть (-и) выделять в виде иной структуры. Таким образом, возможно стратифицированное представление структуры целей. Рассмотренные закономерности необходимо учитывать при разработке формирования структур целей и методик их структуризации.

### **1.11. Классификация систем**

Классификацию систем можно осуществлять по различным принципам и признакам, их характеризующим. Разделение систем на классы производится в зависимости от поставленной цели исследования системы и решаемых при этом задач. Исходя из этого, систему можно охарактеризовать одним или несколькими признаками. Так, по виду научного направления, которое используется для моделирования систем, последние можно классифицировать на математические, физические, химические и др. По области существования системы подразделяются на технические, биологические, социальные, экономические и т. д. При этом следует особо отметить социальные системы, в качестве элементов которых рассматриваются люди (в статусе социальных единиц) и образованные ими различного рода общности (цивилизации, национальности, движения, партии, трудовые коллективы, семьи и т. п.). В состав этих систем могут включаться объекты живой и неживой природы, наиболее тесно связанные с деятельностью человека.

Социальные системы, в свою очередь, классифицируются по многочисленным и весьма разнообразным признакам. В частности, выделяют экономические, финансовые, военные, политические, религиозные, этнические и другие системы, выступающие объектами изучения соответствующих дисциплин. Часто такие системы называют гуманитарными, подчеркивая тем самым, что их свойства, поведение и развитие определяются, главным образом, человеческим фактором. В данном случае необходимо отметить, что наличие последнего существенно ограничивает применение формальных математических методов для построения их моделей.

Экономическая система является частью системы более высокого порядка – социально-экономической системы. Ее можно определить как систему общественного производства, представляющую собой совокупность

производительных сил и производственных отношений. Она охватывает процессы производства, обмена, распределения и потребления материальных благ. Входом такой системы являются материально-вещественные потоки природных, производственных и трудовых ресурсов, а выходом – материально-вещественные потоки предметов потребления, оборонной продукции, продукции, предназначенной для накопления, возмещения и товаров для экспорта.

По ряду основных признаков, характеризующих классы систем, требуется более подробные изъяснения. Среди них следующие признаки:

- вид отображаемого объекта;
- предсказуемость поведения;
- характер взаимодействия с внешней средой;
- сложность структуры и поведения;
- степень организованности;
- организация структуры;
- характер развития;
- компонентный состав;
- способ существования.

#### 1.11.1. Классификация систем по виду отображаемого объекта

По виду восприятия объекта все системы можно разделить на материальные или объективно существующие и абстрактные, или концептуальные. Материальные системы, в свою очередь, подразделяются на естественные и искусственные системы.

Естественные системы образованы космическими, планетарными, геосферными, молекулярными, атомарными и другими природными явлениями и не связаны с деятельностью человека, не являются результатом его труда. К ним относят группу неживых систем неорганической природы (физические, химические, геологические и другие), а также группу живых систем органической природы (простейшие и сложные биологические организмы, различные популяции и их виды, экосистемы и другие).

Искусственные системы – это объекты, произведенные в результате практической деятельности человека. Это все то, что организуется, создается, выращивается и выводится людьми: промышленные предприятия, животноводческие и растениеводческие хозяйства, энергетические комплексы, научно-исследовательские институты, учебные учреждения и многое другое. Важное место в ряду этого многообразия занимают технические системы различного назначения: промышленного, военного, коммуникационного, энергетического, технологического, бытового и многих других.

Развитие науки и техники привело к повсеместной автоматизации и информатизации человеческой деятельности, при которых человек и машина (всевозможная техника) объединяются в человеко-машинные системы (эргатические), функционирующие согласно единым целям.

В настоящее время влияние человека на окружающую его природу настолько велико, что с его помощью искусственные системы все больше проникают в действие естественных систем, зачастую нарушая их естественное развитие вплоть до их разрушения. Отсюда возникают проблемы, глобального характера (мирового масштаба), которые несут негативные последствия для самого человека, например, такие как глобальное потепление, загрязнение среды, опасность всеобщего ядерного катаклизма и т. п.

Абстрактные, или концептуальные системы – это выраженные в символической форме представления людей, отражающие прошлую, настоящую и будущую реальность. Примерами такого класса систем служат научные теории, гипотезы, понятия, лингвистические (языковые), формализованные описания и другие системы. К таким системам также относятся описательные, логические и математические модели, компьютерные программы, технические задания на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, эскизные проекты и рабочие чертежи различных устройств и сооружений, топографические карты, различного рода полиграфическая (газеты, журналы, книги), художественная и рекламная продукция. Именно эти объекты, представленные человеком как мысленное отображение окружающей его действительности, являются предметом системных аналитических исследований. При этом необходимо отметить, что естественные и искусственные объекты, отражаясь в сознании человека, выступают в роли абстракций, понятий; абстрактные проекты создаваемых систем воплощаются в реально существующие объекты, которые можно ощутить, а при их изучении снова отразить в виде абстрактной системы.

#### 1.11.2. Классификация систем по предсказуемости поведения

По предсказуемости поведения или по виду формализованного аппарата представления системы различают на детерминированные, стохастические, или вероятностные, и детерминированно-стохастические.

Детерминированные системы предполагают полную определенность своего поведения. Для таких систем существует однозначная зависимость между состояниями ее входов и выходов, что позволяет при фиксированных внешних условиях сколь угодно точно предсказывать (прогнозировать) их движение. Примером детерминированного представления изучаемого объекта может служить механистическая модель солнечной системы, когда траектории движения всех ее компонентов описываются законами Кеплера, а различного рода флуктуации (небольшие отклонения) считаются несущественными.

Стохастические (вероятностные) системы – это системы, у которых множество выходных переменных связано с множеством входных воздействий вероятностными зависимостями. Их поведение также можно предсказать, но с некоторой вероятностной мерой. При анализе систем понятие вероятности используется в трех смысловых значениях: субъективной вероятности, привычной математической вероятности и физической вероятности.

Субъективная (персоналистическая) вероятность связывается с лицом (субъектом), принимающим решение, и выражает степень его уверенности относительно результата наблюдаемого события или меру личного (персонального) доверия к какому-либо утверждению. Такая трактовка вероятности характерна для прогнозных оценок единичных неповторяющихся событий, например, конкретных футбольных матчей или состояния погоды на определенный день.

Математическая (статистическая) вероятность применима к событиям, которые могут быть многократно повторены без изменений условий опыта (например, одиночная стрельба по мишени), либо к массовым однократным событиям (типа залпового огня из многих орудий по цели). Для математической вероятности характерно то, что она дает некую внешнюю оценку поведения изучаемого объекта, не раскрывая причинно-следственных связей между внутренними процессами и их внешними проявлениями. Другими словами, это взгляд на объект со стороны, позволяющий опосредованно судить о том, что происходит в действительности.

Физическая вероятность, в отличие от математической, связывается с процессами, происходящими внутри изучаемого объекта. Она выступает мерой его внутреннего стохастизма. Различие между физической и статистической вероятностями наглядно иллюстрируется на примере радиоактивного распада вещества, при котором вероятность характеризует неслучайные в своей основе причинно-следственные связи между состоянием атома и процессами, происходящими в нем самом.

Детерминированно-стохастические системы характерны тем, что в одних условиях они ведут себя детерминировано, а в других – вероятностно. Но это только внешне наблюдаемая картина. В системах этого класса имеет место не детерминированное, не вероятностное, не смешанное, а некоторое более общее поведение, которое пока не получило общепринятого названия. В понятных ситуациях оно проявляется в вероятностном или детерминированном виде, но по сути представляет процесс более сложный и многообразный.

Следует отметить, что на практике классификация систем по этому признаку всегда относительна. Так, в детерминированной системе можно найти элементы стохастичности, и, напротив, детерминированную систему можно считать частным случаем стохастической (при вероятности, равной единице).

### 1.11.3. Классификация систем по характеру взаимодействия с внешней средой

По характеру взаимодействия с внешней средой системы делятся на открытые, закрытые и частично открытые. Открытые системы характеризуются способностью обмениваться с внешней средой (в том числе с элементами и компонентами других систем) веществом, энергией и информацией. Такие системы обладают не только внутренним, но и внешним метаболизмом. Иногда такие системы называют диссипативными, подчеркивая тем самым, что они образуются за счет излучения или рассеяния вещества, энергии и информации, использованной системой, и получения из внешней среды свежего вещества, дополнительной энергии и новой информации.

Закрытые (изолированные или замкнутые) системы, в отличие от открытых, не обмениваются с внешней средой ни веществом, ни энергией, ни информацией. Им присущи только внутренний метаболизм и полная изоляция. Однако при этом надо учитывать принимаемые определенные допущения по «прозрачности» границы системы или пределу принятой чувствительности модели системы на воздействия внешней среды и наоборот – по чувствительности реакции внешней среды на влияние исследуемой системы.

В частично открытых системах наблюдается присутствие только отдельных форм внешнего метаболизма, проявляемых неполностью. Например, существуют информационно открытые системы, не обменивающиеся со средой веществом и энергией за исключением той минимальной доли, которая необходима для поддержания информационного метаболизма.

Возможны частные случаи: например, в модели системы отражается только обмен информацией со средой, но не учитываются гравитационные и энергетические процессы. В этом случае говорят об информационно-проницаемых или информационно-непроницаемых системах.

Следует отметить, что в природе не существует абсолютно открытых и абсолютно закрытых систем. Поэтому классификация систем на подобные классы достаточно условна. Так, в определенные периоды времени могут создаваться условия, обособляющие систему от внешнего мира. Однако это всегда временное состояние. Рано или поздно в системе произойдут процессы, которые приведут к ее вскрытию и она обретет способность обмениваться веществом, энергией и информацией с окружающей средой.

Исследование поведения и развития систем относительно проявляемого ими внешнего метаболизма привело к ряду важных для анализа их поведения явлений. Так, в закрытых системах проявляются термодинамические закономерности, которые кажутся парадоксальными и противоречат второму началу термодинамики, которое определяет рост энтропии или стремление к неупорядоченности, разрушению. Самораз-

витие закрытых систем идет по пути возрастания хаоса, дезорганизации и беспорядка. Закрытые системы как бы производят хаотичность. В конечном счете, будучи предоставлены сами себе, они неминуемо переходят в состояние с максимальной хаотичностью, то есть достигают точки равновесия, в которой всякое производство работ становится невозможным.

Самоорганизация может происходить только в открытых и частично открытых системах. Отсюда открытость в любой ее форме есть необходимое (но недостаточное) условие самоорганизации и, следовательно, развития (эволюции) систем различной природы. Именно поэтому важно для системы управления поддерживать хороший обмен информацией со средой.

#### 1.11.4. Классификация систем по сложности структуры и поведения

Классификация систем по данному признаку в связи с определенным субъективизмом самого понятия «сложность» до сих пор не имеет четкого и однозначного подхода, а определения отдельных классов систем по этому признаку исследователями интерпретируются по-разному. К настоящему времени сложилось несколько понятий, определяющих сложность систем. Среди них: большая система, сложная система и простая система. Причем первые два термина зачастую использовались и используются как синонимы.

В некоторых работах по теории систем авторы связывают понятие «большая» с величиной системы [4], количеством элементов (часто относительно однородных), а понятие «сложная» – со сложностью отношений, алгоритмов. Б.С. Флейшман за основу классификации принимает сложность поведения системы. Однако понятие сложности в этих случаях достаточно относительное и не имеет абсолютного, формального обоснования.

Ю.И. Черняк предлагает называть большой системой такую, которую невозможно исследовать иначе, как по подсистемам, а сложной – такую систему, которая строится для решения многоцелевой, многоаспектной задачи [5]. При этом поясняется, что в случае большой системы объект может быть описан как бы на одном языке, т. е. с помощью единого метода моделирования, хотя и по частям или по подсистемам. А сложная система отражает объект «с разных сторон в нескольких моделях, каждая из которых имеет свой язык», а для согласования этих моделей нужен особый мета-язык.

Для биологических, экономических, социальных систем иногда понятие сложной системы связывают понятиями открытости и активности элементов, в результате чего такая система обладает нестабильным и непредсказуемым поведением, а также характеристиками развивающихся, самоорганизующихся систем.

Для более четкой классификации систем по рассматриваемому признаку с учетом возникающей неопределенности используемых терминов и понятий при анализе объектов в статике и динамике их поведения необходимо систематизировать отдельные принятые подходы к решению данной проблемы. В связи с этим целесообразно выделить три известных подхода к определению сложности системы, которые получили наибольшее распространение.

В основе первого подхода лежит интуитивное понимание сложности как достаточно большего количества разнородных компонентов в составе изучаемого объекта, а также разнообразия отношений, связей и взаимодействий между ними. В этом случае целесообразно говорить о простых и больших системах.

Во многих трудах по теории систем большой системой (системой большого масштаба, LargeScaleSystems) называют систему, если она состоит из большого числа взаимосвязанных и взаимодействующих между собой элементов и способна выполнять сложную функцию.

При этом следует отметить, что между этими системами достаточно трудно установить границы, их разделяющие. Деление это условное и возникло из-за появления систем, имеющих в своем составе совокупность подсистем с наличием функциональной избыточности.

Так, с точки зрения надежности функционирования, простая система может находиться только в двух состояниях: состоянии работоспособности (исправном) и состоянии отказа (неисправном). При отказе элемента простая система либо полностью прекращает выполнение своей функции, либо продолжает ее выполнение в полном объеме, если отказавший элемент резервирован.

Большая система при отказе отдельных элементов и даже целых подсистем не всегда теряет работоспособность, зачастую только снижаются характеристики ее эффективности. Это свойство больших систем обусловлено их функциональной избыточностью и, в свою очередь, затрудняет формулировку понятия «отказ» системы.

С позиций рассмотрения системы по числу взаимосвязанных и взаимодействующих между собой элементов, компонентов и подсистем, т.е. с позиций анализа ее размерной величины или масштабности можно говорить о разной степени классификации систем. В частности, используя методику Г.Н. Поварова, можно выделить четыре класса систем:

- малые системы, которые содержат порядка 10...10<sup>3</sup> элементов,
- большие системы – 10<sup>4</sup>...10<sup>6</sup> элементов;
- ультрабольшие системы – 10<sup>7</sup>...10<sup>30</sup> элементов,
- супербольшие системы – 10<sup>30</sup>...10<sup>200</sup> элементов.

С ростом количества составных частей системы увеличивается и количество связей между ними, а, следовательно, увеличивается размерность системы и объем исследований, необходимый для полного изучения этих

связей и составления адекватной модели. В связи с этим рассмотрим пример системы, включающей совокупность из  $n$  взаимосвязанных элементов. В общем случае взаимодействующие связи между элементами не равны, т. е. связь элемента А с элементом Б в этой системе не эквивалентна связи элемента Б с элементом А. Поэтому необходимо рассматривать  $n(n - 1)$  существующих в системе связей. При самом простом поведении системы можно характеризовать состояние каждой связи ее наличием или отсутствием в данный момент. В таком случае общее число состояний равно  $2n(n - 1)$ .

Следует отметить, что последовательная изоляция элементов, компонентов и подсистем друг от друга приводит к сокращению объемов исследований системы, но и сама система становится «беднее» связями, а, значит, системные функции сокращаются вплоть до полной их ликвидации. К примеру, анализируя  $n$  независимых и невзаимосвязанных элементов, достаточно всего  $n$  исследований, но эти исследования проводятся уже не над системой, их объединяющей, а над набором отдельно взятых элементов.

Один и тот же материальный объект, в зависимости от цели наблюдателя и средств, имеющихся в его распоряжении, может быть охарактеризован как большая система, а в случае упрощения задачи, особенно на первых этапах исследований, – как простая система. При этом физические размеры объекта можно не учитывать при отнесении объекта к классу больших систем.

Так, систему городского пассажирского транспорта можно рассматривать как простую систему, но при расчленении ее на отдельные подсистемы по видам транспорта (троллейбусы, автобусы, трамваи, метрополитен, такси) такую систему уже можно характеризовать как большую систему с учетом множества отдельных элементов (автомобилей и шоферов, вагонов и машинистов, автопарков, депо, средств технического обслуживания и управления и т.п.).

В качестве примеров больших систем можно также указать компьютерную систему (с отдельными блоками, их узлами и элементами), глобальную компьютерную сеть Интернет, энергетическую систему страны или отдельного региона и т.п.

Часто под большой системой понимают совокупность материальных ресурсов, средств сбора, передачи и обработки информации, людей-операторов, занятых на обслуживании этих средств, и людей-руководителей, облеченных надлежащими правами и ответственностью для принятия решений. Все указанные элементы объединяются в систему с помощью определенных связей и отношений, которые по заданным правилам определяют процесс взаимодействия между элементами для достижения общей цели или группы целей.

Второй подход опирается на понятие математической сложности. К сложным системам относятся объекты, для которых по ряду причин

не удастся построить математическую модель, адекватно описывающую совокупность их свойств и проявлений. Такими причинами, в частности, могут быть неясность функций, выполняемых системой, неопределенность целей и критериев управления, количественная невыразимость ряда характеристик.

Так, по мнению английского исследователя С. Бира все кибернетические системы следует классифицировать на простые и сложные, в зависимости от способа описания, детерминированного или теоретико-вероятностного. Система является сложной, если ее можно описать не менее чем на двух различных математических языках (например, с помощью теории дифференциальных уравнений и алгебры Буля).

Таким образом, сложными системами называют системы, которые нельзя корректно описать математически либо потому, что в системе имеется очень большое число элементов, неизвестным образом связанных друг с другом, либо не известна природа явлений, протекающих в системе. Все это свидетельствует об отсутствии единого определения сложности системы.

В соответствии с третьим подходом сложность системы связывается с характером ее реакции на внешние воздействия. Если будет сформулирована цель управления и будет приложено управляющее воздействие, то пройдет некоторое время, за которое объект перейдет в новое состояние и управление не приведет к достижению поставленной цели.

В связи с такой постановкой проблемы сложности Л.А. Растринин привел характеристику сложного объекта управления с помощью следующих неформальных признаков:

- 1) обязательной чертой сложного объекта управления является отсутствие математического описания и необходимость в нем;
- 2) стохастичность поведения объекта, обусловленная наличием случайных помех и обилием всякого рода второстепенных процессов, что приводит к непредсказуемости поведения объекта;
- 3) «нетерпимость» к управлению, т. е. независимость функционирования от субъекта и его потребностей;
- 4) нестационарность, проявляющаяся в дрейфе характеристик объекта, в «уплывании» его параметров, т. е. в эволюции объекта во времени, причем, чем быстрее меняется объект, тем он сложнее;
- 5) невоспроизводимость экспериментов, заключающаяся в различной реакции объекта на одну и ту же ситуацию при управлении в различные моменты времени.

К перечисленному выше следует добавить обязательное наличие человека в контуре управления, на которого возлагается часть наиболее ответственных функций управления. Причем исполнение последних, в силу необходимости неформального подхода к решению задач управления, невозможно передать автоматам.

Сложные системы реагируют на внешние воздействия, соотносясь с внутренней целью, которую надсистема или наблюдатель не могут точно определить ни при каких обстоятельствах. При этом возникают ситуации, при которых сложные системы могут в одном случае на два одинаковых воздействия сформировать разные реакции, а в другом – на два разных воздействия отреагировать совершенно одинаково.

Следует отметить, что при внешнем воздействии на простые системы их реакция может быть также неоднозначной, но, в отличие от сложных систем, она, в среднем, вполне предсказуема.

При разработке сложных систем возникают проблемы, относящиеся не только к свойствам составляющих их элементов и подсистем, но также к закономерностям функционирования системы в целом. При этом появляется широкий круг специфических задач, таких как определение общей структуры системы; организация взаимодействия между элементами и подсистемами; учет влияния внешней среды; выбор оптимальных режимов функционирования системы; оптимальное управление системой и др.

#### 1.11.5. Классификация систем по степени организованности

В теории систем признак степени организованности системы напрямую пересекается с признаком сложности ее структуры и поведения. Поэтому понятия сложности и организованности могут дополнять друг друга, а могут выступать самостоятельно при характеристике отдельных проявлений системы. Как правило, по признаку степени организованности системы классифицируют на хорошо организованные и плохо организованные.

Понятием «хорошо организованные системы» характеризуют такие системы, при анализе которых имеется возможность определения ее элементов и компонентов, взаимосвязей между ними, правил объединения элементов в более крупные компоненты. При этом возможно установление цели системы и определение эффективности ее достижения при функционировании системы.

В данном случае проблемная ситуация может быть описана в виде математического выражения, связывающего цель со средствами, т. е. в виде критерия эффективности, критерия функционирования системы, который может быть представлен сложным уравнением или системой уравнений. Решение задачи при представлении ее в виде хорошо организованной системы осуществляется аналитическими методами формализованного представления системы.

Таким образом, можно говорить о равнозначности хорошо организованных и простых систем.

Следует отметить, что для отображения объекта в виде хорошо организованной системы необходимо выделять только существенные и не учи-

тывать относительно не существенные для данной цели рассмотрения отдельные элементы, компоненты и их связи.

Например, Солнечную систему можно представить как хорошо организованную систему при описании наиболее существенных закономерностей движения планет вокруг Солнца без учета метеоритов, астероидов и других мелких по сравнению с планетами элементов межпланетного пространства.

В качестве хорошо организованной системы можно привести техническое устройство компьютера (без учета возможностей отказа его отдельных элементов и узлов или каких-либо случайных помех, поступающих по цепям питания).

Таким образом, описание объекта в виде хорошо организованной системы применяется в тех случаях, когда можно предложить детерминированное описание и экспериментально доказать правомерность его применения, адекватность модели реальному процессу.

Плохо организованные системы, в отличие от рассмотренных выше, соответствуют сложным системам, так как при их анализе не всегда удается определить элементы и взаимосвязи между ними, а также выяснить четкие цели системы и методы оценки эффективности их функционирования.

В случае представления объекта в виде плохо организованной (диффузной) системы не ставится задача определить все учитываемые элементы, компоненты, их свойства и связи между ними и целями системы. Система характеризуется некоторым набором макропараметров и теми закономерностями, которые определяются на основе исследования не всего объекта или целого класса явлений, а только отдельной его части – выборки, полученной с помощью некоторых правил. На основе такого выборочного исследования получают характеристики или закономерности (статистические, экономические) и распространяют их на всю систему в целом. При этом делаются соответствующие оговорки. Например, при получении статистических закономерностей их распространяют на поведение всей системы с некоторой доверительной вероятностью. Подход к отображению объектов в виде диффузных систем широко применяется при описании систем массового обслуживания (например, в телефонных сетях и т. п.), информационных потоков в информационных системах, описании ресурсных задач отраслевого характера и т. д.

#### 1.11.6. Классификация систем по организации структуры

Классификация систем в зависимости от организации структуры может быть осуществлена по ряду признаков, приведенных в соответствие с классификационной схемой, изображенной на рис. 1.3. В общем случае

целесообразно рассматривать системы по своему внутреннему устройству, исходя из чего их можно подразделить на многоуровневые и иерархические.

Понятие многоуровневой системы характеризует выделение в объекте несколько отдельных уровней – страт или слоев (совместно с существующими между ними отношениями, связями и взаимодействиями).

Если речь идет о стратах, то в многоуровневой системе фиксируется информация о ее предыстории. Каждая отдельно взятая системная страта – это след какого-либо важного этапа в развитии систем данного вида, интегральная «память» данной системы о тех многочисленных превращениях, которые происходили с предшествующими ей системами.

В случае, когда понятие «уровень» осмысливается как слой, то многоуровневый характер представления системы отражает эволюцию взглядов исследователя на ее внутреннее устройство, глубину его проникновения в изучаемый объект. Чем глубже познается система, тем больше выделяется в ней уровней-слоев и, следовательно, повышается многоаспектность ее анализа.

Понятие иерархической системы связывают с иерархичностью структуры управления и возможностью управляющих компонентов системы осуществлять процессы приема, обработки и выдачи информации. При этом управление в системе может быть централизованным и децентрализованным (см. рис. 1.5).

Централизованное управление предполагает концентрацию функции управления в одном элементе (компоненте или центре). Децентрализованное – распределение функции управления по отдельным элементам или компонентам системы. Децентрализация управления позволяет сократить объем перерабатываемой информации, однако в ряде случаев это приводит к снижению качества управления. Как показывают многочисленные наблюдения, развитие любой системы сопровождается увеличением (зачастую экспоненциальным образом) количества циркулирующей в ней информации.

Лавинообразное увеличение объемов информации в процессе развития системы приводит к тому, что ее управляющие компоненты с некоторого момента времени перестают справляться с переработкой информации, и эффективность системы начинает резко падать. Естественной реакцией на снижение эффективности является декомпозиция (расчленение) общей задачи управления на более мелкие подзадачи, решение которых возлагается на вновь формирующиеся компоненты. Иными словами, нарастающие потоки информации должны перераспределяться по всей развивающейся системе так, чтобы не было информационной перегрузки в ее отдельных частях. С другой стороны, существующая потребность сохранения целостности системы направлена на образование отношений соподчинения одних элементов над другими, т. е. на формирование системной иерархии.

Следует отметить, что в природе не существует чисто одноуровневых и неиерархических систем. Все без исключения реальные системы представляют собой многоуровневые, иерархические образования, способные

к дальнейшему расчленению и объединению, и относятся, как правило, к промежуточному типу, при котором степень централизации находится между двумя крайними случаями: чисто централизованным и чисто децентрализованным.

Примерами иерархической структуры управления могут служить: государственное управление страной, административное управление предприятием, организацией или учебным заведением, управление войсками в вооруженных силах и т. д.

Наличие человека в контуре управления такими системами является обязательным и характеризует систему как сложную. Системы с участием человека, который выполняет полностью или частично функции управления, называют эргатическими. Особенность сложных эргатических систем связана с целым рядом факторов, среди которых:

- необходимость учета социальных, психологических, моральных и физиологических факторов, относящихся к участию человека в системах управления, которые не поддаются формализации и должны учитываться самим человеком;

- необходимость принятия решения человеком (лицом, принимающим решение, – ЛПР), т. е. осуществление выбора вариантов в ряде случаев на основе неполной или недостоверной информации и учет при этом неформализуемых факторов, что возможно при наличии на месте ЛПР специалиста с определенной квалификацией, большим опытом и четким пониманием задач, стоящие перед системой;

- наличие специфических задач коммуникационного обмена информацией между различными элементами, компонентами или подсистемами, у которых отсутствуют иерархические отношения подчиненности, а присутствуют лишь отношения взаимодействия, например между отдельными предприятиями, фирмами, организациями на так называемом горизонтальном уровне или межгосударственные отношения и т. п. В таких случаях взаимодействие может осуществить только человек.

#### 1.11.7. Классификация систем по характеру развития

По характеру развития системы подразделяются на прогрессирующие и регрессирующие. Такое разделение систем связано с оценкой потенциальной эффективности их функционирования. Исследованием этой проблемы занимался Б.С. Флейшман, который создал в 1971 г. теорию потенциальной эффективности.

Прогрессирующими называются системы, развитие которых идет в направлении достижения ими своей потенциальной или возможно достижимой эффективности выполнения заданных функций. Такие системы в процессе своего развития все лучше и лучше выполняют свою основную функцию, причем их состав и структура меняются таким образом, что

со временем сокращается разность между реально существующей и предельно возможной эффективностью их деятельности.

У регрессирующих систем наблюдается прямо противоположный характер развития. С течением времени такие системы все хуже и хуже выполняют свою основную функцию. Разность между их реальной и потенциальной эффективностью постоянно возрастает, и, по прошествии некоторого периода времени, они достигают точки своей полной неспособности выполнять заданные функции, т. е. точки своего разрушения или гибели.

Следует отметить, что одна и та же система может быть прогрессирующей на одном временном интервале и регрессирующей или деградирующей на другом интервале. Поэтому такая классификация естественным образом связывается с характеристикой жизненного цикла системы.

В том случае, если не известна потенциальная эффективность изучаемой системы, то определить прогрессирует она или регрессирует невозможно. Для анализа данной характеристики необходимо исследовать систему по временным «срезам» в некотором временном периоде и последовательно фиксировать эффективность ее функционирования по установленным или принятым критериям оценки эффективности. Затем, сравнивая полученные значения в отдельных моментах временной оси, можно вынести суждение о прогрессирующем характере развития системы, если последующие значения эффективности выше предыдущих и, наоборот, о регрессирующем характере развития системы, если последующие значения эффективности ниже предыдущих.

#### 1.11.8. Классификация систем по компонентному составу

В зависимости от компонентного состава системы бывают гомогенными, гетерогенными и смешанными. В гомогенных системах все ее элементы, компоненты или подсистемы одинаковы. Например, такую систему представляет однородный газ. Гетерогенные системы содержат элементы, компоненты или подсистемы разных типов. В смешанных системах часть элементов, компонентов или подсистем гомогенна, а другая часть гетерогенна. Большинство технических систем относятся к этому типу. Так, в любом компьютере, помимо разнотипных компонентов, содержится, как правило, некоторое количество одинаковых по всем параметрам резисторов, конденсаторов, микросхем и других деталей.

Русский учёный А.А. Богданов говорил: «В опыте никогда не встречается двух абсолютно сходных комплексов. Различия могут быть практически ничтожны – «бесконечно малы», но при достаточном исследовании они всегда могли бы быть обнаружены. Нельзя найти двух вполне сходных листьев на всех растениях мира, нельзя даже, как это ясно показывает молекулярно-кинетическая теория, найти двух вполне

сходных капель воды во всех океанах мира. Это относится не только к «реальным» комплексам, но и к «идеальным», только мыслимым.... Этого мало. Неизбежно неодинакова и их среда, их внешние отношения. Пусть даже это – «совершенная пустота», т. е. астрономическая эфирная среда, но и в ней, прорезываемой бесчисленными и бесконечно разнообразными волнами лучистой энергии, электрические и магнитные состояния в любых двух пунктах не могут быть тождественно равными».

Несмотря на приведенное утверждение, в объектах окружающего нас мира всегда можно усмотреть нечто общее, что дает основание для их типизации. Наглядным примером типизации может служить периодическая система химических элементов Д.И. Менделеева. Однако при более глубоком изучении свойств одних и тех же веществ можно найти различия. В историко-социальных исследованиях распространена типизация групп людей на классы (капиталисты, пролетарии, крестьяне и др.). В психологии выделяются следующие типы личностей: флегматики, меланхолики, сангвиники, холерики, а также экстраверты и интроверты. Как показывает практика, в ряде случаев такая типизация не только сомнительна, но приводит к ошибочным выводам, так как при этом теряются отдельные специфические, индивидуальные свойства, которые могут оказывать чрезвычайно сильное влияние на всю систему.

Таким образом, любая типизация несет в себе как положительное, так и отрицательное начало. Поэтому в процессе изучения систем всегда возникает вопрос о допустимой степени типизации. Так, для гомогенной системы существует некоторый предел глубины исследований, при котором ее элементы будут подобны друг другу, а, значит, появляется возможность характеризовать их как типовые или однотипные. При более глубоком изучении элементов такой системы находятся различия в составляющих ее элементах, что приводит систему к гетерогенности. При этом выводы и рекомендации о компонентном составе, получаемые в результате системного анализа, зависят от конкретных целей ее исследований.

#### 1.11.9. Классификация систем по способу существования

По признаку способа существования системы, согласно классификации В.И. Новосельцева, подразделяют на адаптивные, целенаправленные, целеполагающие и самоорганизующиеся системы [см. 2].

Под адаптивными системами понимают системы, приспособливающие к условиям окружающей среды. Первоначально такое свойство трактовалось как приспособление живых организмов к условиям существования. С развитием кибернетики понятие адаптации распространилось на объекты неживой и социальной природы. Тем самым было общепризнано,

что все без исключения системы по существу являются адаптивными, то есть в них присутствуют механизмы, обеспечивающие самосохранение их формы и структуры в условиях внешних воздействий. Хотя среда может быть неблагоприятной и даже агрессивной, однако в ней могут происходить отдельные явления, благоприятным образом воздействующие на систему. Используя приспособительные механизмы, адаптивная система распознает такие воздействия и черпает из среды энергию, вещество и информацию, которые используются для самосохранения. Таким образом, адаптивные системы могут приспосабливаться как к среде, так и к изменениям внутри самих себя.

Признание всеобщности адаптации одновременно явилось признанием того факта, что всем системам (физическим, биологическим, гуманитарным), несмотря на их многочисленные и существенные различия, присуща, как минимум, одна общая целевая стратегия – стремление к самосохранению.

С другой стороны, если бы в природе действовал только закон самосохранения, то окружающий мир представлял собой нечто застывшее и неизменное. Все то, что появилось в нем единожды, сохранялось бы вечно. Однако такого не наблюдается. Наоборот, наш мир – это мир дифференцированного, динамичного и преходящего, в котором любое явление имеет начало и конец. Оно движется и развивается под действием не только внешней силы, но и внутренней активности, так как без нее никакое развитие невозможно.

Гуманитарные системы (включая человека) существуют только потому, что в ходе эволюции научились совмещать способность к самосохранению со способностью к саморазвитию. Это же утверждение является справедливым по отношению к биологическим и физическим системам.

Целенаправленные системы характеризуются в своем действии некоторой целью, определенной извне системы, и направлены на некоторую перспективу своего развития (при этом возможны проявления усилий по адаптации к условиям существования со средой).

Иногда такие системы называют predeterminedными, тем самым, подчеркивая, что они развиваются строго в соответствии с определенным, заранее оптимизированным планом. Для таких систем характерна следующая особенность. Стремление к неукоснительному выполнению оптимальных параметров плана может привести (зачастую и приводит) не к сохранению и развитию системы, а к ее неустойчивости. Последняя проявляется в том, что, исчерпав, например, ресурсы, необходимые для реализации плана, система оказывается перед дилеммой: либо изменять параметры плана (тем самым признав его неоптимальным), либо изыскивать дополнительные ресурсы. В первом случае система приобретает *de facto* черты не-

целенаправленной. Во втором – такая система становится агрессивной по отношению к среде, из которой она вынуждена черпать недостающие ресурсы. Ее взаимоотношения со средой переходят в область конфликтов, исход которых слабо предсказуем.

В таком случае восстановить устойчивость можно, если заменить жесткое (директивное) планирование отрицательной обратной связью, то есть связать управляющие решения с реальным состоянием дел, а не только с планами. Но тогда система переходит из класса целенаправленных в класс целеполагающих или самоорганизующихся систем.

Целеполагающие системы отличаются способностью самостоятельно формировать цели и планировать свое поведение в зависимости от внешних обстоятельств. Они обладают некоторой совокупностью ценностей, на основе которой сами формируют последовательность целей, причем последующие цели выдвигаются и уточняются в зависимости от достижения предыдущих. Гибкое изменение целей поведения позволяет таким системам сохранять свою жизнедеятельность в достаточно широком диапазоне внешних и внутренних возмущений.

Отличительным признаком целеполагающей системы является относительное постоянство ее структуры и функционирования на фоне целевой динамики.

Целеполагающие системы вынуждены менять цели своего поведения под давлением внешних факторов, но с появлением новой цели в них не происходит коренного изменения структуры и заложенных ранее принципов функционирования. Развитие целеполагающих систем постоянно сопровождается скрытыми внутренними конфликтами, зачастую переходящими в структурные кризисы. Основная причина конфликтов заключена в несоответствии старой структуры и сложившихся принципов функционирования вновь поставленным целям. А кризисы возникают, главным образом, из-за неспособности (или нежелания) управляющих органов производить мягкую перестройку сложившихся внутрисистемных отношений и изменять традиционные критерии принятия управленческих решений.

Самоорганизующиеся системы объединяют в себе черты адаптивных, целенаправленных и целеполагающих систем. Речь идет не о простом суммировании свойств и качеств, а об их особом синергетическом соединении, коренным образом меняющем поведенческий облик этого класса систем и позволяющем выйти на новый уровень самосохранения. По мнению Г. Хакена, систему можно назвать самоорганизующейся, если она без специфического воздействия извне обретает какую-то целевую, пространственную, временную или функциональную структуру. При этом под специфическим внешним воздействием понимается такое воздействие, которое навязывает системе структуру или цели функционирования.

В настоящее время изучением механизмов самоорганизации занимается научная дисциплина синергетика.

При разделении систем на адаптивные, целенаправленные, целеполагающие и самоорганизующиеся происходит последовательное возрастание уровня системности изучаемого объекта. Каждый последующий тип систем включает в себя свойства предыдущего типа и дополняет их новыми свойствами так, что способность к самосохранению возрастает. Системы более высокого уровня могут содержать в своем составе подсистемы более низкого уровня. Например, человек – самоорганизующаяся система, состоит из органов (целенаправленных подсистем), а органы состоят из тканей – адаптивных подсистем. Но не исключены другие варианты, в частности, когда система состоит из подсистем такого же уровня сложности, как и она сама, или, может быть, еще выше. Последний вариант интересен в том плане, что может порождать неустойчивость в развитии системы. Подсистемам с более высоким уровнем организации становится как бы тесно в рамках системы с низшим уровнем развития. В результате образуются внутренние противоречия со слабо предсказуемыми исходами, чреватými катастрофическими последствиями как для системы в целом, так и для ее отдельных компонентов. Такое развитие событий особенно характерно для социальных систем и неоднократно наблюдалось в истории почти всех государств (революции, контрреволюции, кризисы и т.п.).

Следует отметить, что отображение объекта в виде самоорганизующейся системы – это подход, позволяющий исследовать наименее изученные объекты и процессы. Самоорганизующиеся системы обладают признаками диффузных систем: стохастичностью поведения и нестационарностью отдельных параметров и процессов. К этому добавляются такие признаки, как непредсказуемость поведения, способность адаптироваться к изменяющимся условиям среды, изменять структуру при взаимодействии системы со средой, сохраняя при этом свойства целостности, способность формировать возможные варианты поведения и выбирать из них наилучший и др. Иногда этот класс разбивают на подклассы, выделяя адаптивные или самоприспосабливающиеся системы, самовосстанавливающиеся, самовоспроизводящиеся и другие подклассы, соответствующие различным свойствам развивающихся систем.

В качестве примера к таким системам можно отнести биологические организации, коллективное поведение людей, организацию управления на уровне предприятия, отрасли, государства в целом, т. е. в тех системах, где обязательно имеется человеческий фактор.

## ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Объясните современный процесс генерации новых теоретических и прикладных наук, а также эффект ускорения научно-технического прогресса.
2. Назовите причины и факторы возникновения теории систем как междисциплинарной науки.
3. В чем заключается смена одномерной научной парадигмы на многомерную?
4. Укажите достоинство теории систем и системного анализа по отношению к другим теориям.
5. Назовите характерную черту теории систем и системного анализа.
6. Объясните понятие изоморфизма объектов и процессов.
7. Укажите основные этапы возникновения и развития теории систем.
8. Назовите отдельные научные направления, соприкасающиеся и пересекающиеся по сути своих исследований с теорией систем и системного анализа.
9. Перечислите основные требования, которым должна удовлетворять теория систем, по мнению М. Месаровича.
10. По каким причинам возникло название «Общая теория систем»?
11. На какие части разделил Л. фон Берталанфи общую теорию систем, какие научные направления они охватывают?
12. Почему в теории систем и системном анализе отсутствует четкий тезаурус понятий и определений?
13. Каким образом представляется будущее в развитии теории систем?
14. Перечислите основные задачи теории систем и системного анализа.
15. Приведите примеры лингвистических абстрактных формулировок понятия «система».
16. Приведите примеры формальных символических описаний систем.
17. Приведите «рабочее» определение понятию «система».
18. Что такое состав системы?
19. Дайте определения понятиям «элемент», «подсистема» и «компонент».
20. Опишите проблему расчленения системы на части.
21. Что понимается под внешней средой и какие виды взаимодействия она проявляет по отношению к системе?
22. Приведите определение связи, используемое в теории систем.
23. Охарактеризуйте понятие «отношение», применяемое в теории систем и системном анализе.
24. Опишите процессы взаимодействия, происходящие в системе.
25. Укажите возможные формы метаболизма.
26. Приведите основные характеристики связи по основным признакам.

27. Какое влияние на системные процессы оказывает положительная связь?
28. Какое влияние на системные процессы оказывает отрицательная связь?
29. Что такое структура системы?
30. По каким признакам можно характеризовать структуры?
31. Приведите классификацию и краткое описание структур по признаку пространственной топологии.
32. Приведите классификацию и краткое описание структур по характеру развития.
33. Приведите классификацию и краткое описание структур по типу отношений.
34. Приведите классификацию и краткое описание структур по виду взаимодействий.
35. Приведите классификацию и краткое описание структур по характеру связанности.
36. Что такое иерархия системы?
37. Опишите древовидные структуры.
38. Что такое иерархические структуры со слабыми связями?
39. Опишите матричные структуры.
40. Дайте характеристику понятию «страты» и приведите примеры его использования.
41. Дайте характеристику понятию «слои» и приведите примеры его использования.
42. Дайте характеристику понятию «эшелоны» и приведите примеры его использования.
43. Опишите смешанные иерархические структуры.
44. Зачем нужно знание иерархии системы?
45. Что такое состояние системы?
46. Что такое поведение системы?
47. Что такое равновесие, устойчивость и развитие системы?
48. Опишите понятие «цель» и охарактеризуйте процессы целеполагания и целеобразования.

## 2. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

### 2.1. Системный анализ и теория принятия решения

Теория систем и системный анализ (ТССА) как отрасль науки может быть разделена на две достаточно условные части:

1) теоретическую, использующую такие отрасли, как теория вероятностей, теория информации, теория игр, теория графов, теория расписаний, теория решений, топология, факторный анализ и др.;

2) прикладную, основанную на прикладной математической статистике, методах исследовании операций, системотехнике и т. п. Таким образом, ТССА широко использует достижения многих отраслей науки и этот «захват» непрерывно расширяется.

Вместе с тем, в теории систем имеется свое «ядро», свой особый метод – системный подход к возникающим задачам. Сущность этого метода достаточно проста: все элементы системы и все операции в ней должны рассматриваться только как одно целое, только в совокупности, только во взаимосвязи друг с другом.

Системный анализ (СА) – это научная стратегия достижения результата при решении сложных проблем, предполагающая комплексный учет всех основных факторов, эту проблему обуславливающих. При СА правомерно использование тех математических методов и моделей, которые позволяют получать приемлемый для практических целей результат.

Первый принцип ТССА – это требование рассматривать совокупность элементов системы как одно целое или, более жестко, – запрет на рассмотрение системы как простого объединения элементов.

Второй принцип ТССА заключается в признании того, что свойства системы – это не просто сумма свойств ее элементов. Тем самым постулируется возможность того, что система обладает особыми свойствами, которых может и не быть у отдельных элементов.

Весьма важным атрибутом системы является ее эффективность. Теоретически доказано, что всегда существует функция ценности системы – в виде зависимости ее эффективности (почти всегда это экономический показатель) от условий построения и функционирования. Кроме того, эта функция ограничена, значит, можно и нужно искать ее максимум. Максимум эффективности системы может считаться третьим ее основным принципом.

Четвертый принцип ТССА запрещает рассматривать данную систему в отрыве от окружающей ее среды, как автономную, обособленную. Это означает обязательность учета внешних связей или, в более общем виде, требование рассматривать анализируемую систему как часть (подсистему) некоторой более общей системы.

Согласившись с необходимостью учета внешней среды, признавая логичность рассмотрения данной системы как части некоторой, большей ее, мы приходим к пятому принципу ТССА – возможности (а иногда и необходимости) деления данной системы на части, подсистемы. Если последние оказываются недостаточно просты для анализа, с ними поступают точно также. Но в процессе такого деления нельзя нарушать предыдущие принципы – пока они соблюдены, деление оправдано, разрешено в том смысле, что гарантирует применимость практических методов, приемов, алгоритмов решения задач системного анализа.

Все изложенное выше позволяет формализовать определение термина «система» в виде многоуровневой конструкции из взаимодействующих элементов, объединяемых в подсистемы нескольких уровней для достижения единой цели функционирования (целевой функции).

Обычно СА организуется в виде последовательности следующих этапов:

- 1) постановка задачи и ограничение степени ее сложности;
- 2) выбор целей и их ранжирование;
- 3) выбор способов решения задачи;
- 4) моделирование;
- 5) оценка получаемых результатов и их практическое использование.

Рассмотрим проблемы оценки связей в системе. Умозрительно можно полагать наличие каналов, по которым эти связи производятся. Но чем же наполнены такие каналы? Скорее всего, в экономических системах можно обнаружить и выделить только три типа наполнителей: продукция, деньги, информация.

Нет нужды объяснять принципиальные различия продукции и денег. Что же касается информации, то можно вспомнить ответ отца кибернетики Н. Винера на вопрос что же такое информация: это НЕ материя и НЕ энергия!

Возникает вопрос о том, как же согласовывать эти совершенно несопоставимые по размерностям показатели, как привести их к «общему знаменателю»? Ведь без такого согласования невозможно будет установить единый показатель эффективности системы в целом.

Вторая проблема оценки связей в системе станет понятной, если мы примем условное деление систем на естественные и искусственные. Никто не станет отрицать, что в природе все взаимосвязано – все «имеет свой конец, свое начало». И, тем не менее, все согласятся с тем, что «поведение» природы (а тем более человека) предсказать невозможно.

Таким образом, вторая проблема оценки связей при системном анализе заключается в том, что количество продукции, суммы денег и показатели информационных потоков в каналах связи системы имеют стохастическую, вероятностную природу – их значения в данный момент времени нельзя предсказать абсолютно надежно. Поэтому при системном анализе часто приходится иметь дело не с конкретными значениями величин, не с заранее определенными событиями, а с их оценками по прошлым наблю-

дениям или по прогнозам на будущее. Отсюда возникает необходимость использования специальных, большей частью прикладных, методов математической статистики.

Если теперь вспомнить основное назначение системного анализа – получить рекомендации по вопросам управления системой или, по крайней мере, по совершенствованию этого управления, – то возникает вопрос: всегда ли оправдан системный подход? Ведь ясно, что для его реализации потребуются определенные и, возможно, немалые затраты времени и средств. Но, если выводы системного анализа, полученные на его основе рекомендации, почти всегда достоверны не полностью, то выходит, что мы рискуем.

Без риска ошибки в реальном окружающем нас мире просто жить, а уж тем более действовать, практически невозможно. Надо осознать, что даже самое точное следование рекомендациям науки не дает гарантии получить именно то, что мы задумали, проектировали, планировали. В утешение лишь скажем, что можно рисковать без попыток просчитать возможные последствия и можно рисковать в условиях, когда использованы все научные методы оценки этих последствий. Это совершенно противоположные подходы, но нельзя считать ни один из них «юридически законным» или вытекающим из каких-нибудь законов природы, нельзя считать стиль управления системой на основе системного анализа «правильным», «современным», «культурным». Другое дело – не знать о возможности применения системного подхода к вопросам управления.

### 2.1.1. Процесс принятия решения

Процесс принятия решения (ППР) – это вид деятельности, состоящий в выборе одного варианта из нескольких возможных. Существуют общие черты и характеристики поведения людей при принятии различных решений в области политики, экономики, в обыденной жизни и т.д.

СА и теория принятия решений (ТПР) – это отдельная наука, которая взаимосвязана со многими другими. На рис. 2.1 указаны базовые для СА научные теории.



Рис. 2.1. Связь системного анализа и теории принятия решений с другими науками

Информатика – наука, изучающая общие свойства информации, а также проблемы, связанные с ее сбором, хранением, поиском, переработкой, преобразованием, распространением и использованием в различных сферах деятельности.

Кибернетика – наука об общих законах управления сложными системами.

Искусственный интеллект – область знаний, ставящая своей задачей создание технического интеллекта, не уступающего человеческому.

Для всех ППР общими являются:

- неполная информация, которая обуславливает неясные последствия ПР;
- множество параметров, которые необходимо принимать во внимание при ПР.

Любое решение содержит элемент субъективности, т.е. личностную составляющую лица, принимающего решение (ЛПР).

### 2.1.2. Дерево судьбы

В жизни каждого человека ППР является определяющим актом, от которого зависит, каков будет конечный результат земного пути конкретного человека. При этом в ППР имеет место сочетание свободы воли и внешних обстоятельств, управляемых Творцом в соответствии с благими намерениями в отношении каждого из нас, и дьяволом, действия которого ограничены Богом [см. 5]. При этом «диапазон» свободы и потенциальный вектор в этом поле зависит от внутреннего состояния человека, определяемого его предыдущими поступками. Из каждой точки ПР (узлы на рис. 2.2) возможен путь в любом направлении и только один из них является истинным.

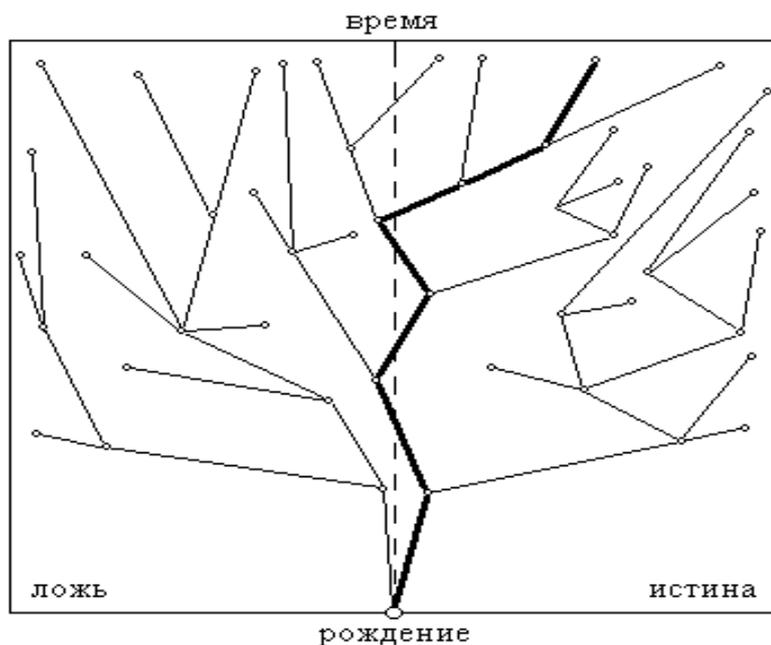


Рис. 2.2. Дерево судьбы

### 2.1.3. Участники процесса принятия решения

В задачах ПР сама проблема выбора тесно связана с человеком – ее владельцем. Владелец проблемы является человек, который должен ее решать и несет ответственность за принятые решения. Но это далеко не всегда означает, что владелец проблемы является также и ЛПР. Конечно, известны многочисленные примеры совмещения этих двух ролей – ЛПР и владельца проблемы.

На принятие решений в той или иной степени влияют активные группы – люди, имеющие общие интересы по отношению к проблеме, требующей решения. Так, при принятии решения о постройке АЭС активными группами являются следующие:

- сотрудники министерства энергетики, заинтересованные в приросте электроэнергии;
- сотрудники организации, осуществляющей постройку АЭС;
- представители рядовых граждан;
- представители защитников окружающей среды.

В данном случае владельцем проблемы (и иногда ЛПР) являются местные власти, которые должны дать разрешение на постройку АЭС на своей территории.

При ПР важную роль играют эксперты – люди, которые в силу своей профессиональной подготовки (лучше, чем ЛПР) знают отдельные аспекты рассматриваемой проблемы. К ним обычно обращаются за оценками, за прогнозами исходов тех или иных решений. Давая такие оценки, эксперты высказывают свое субъективное мнение.

Так, при ПР о постройке АЭС эксперты-физики могут дать ценные сведения о влиянии АЭС на людей и окружающую среду. Они могут произвести расчеты вероятности аварий на АЭС и их возможных последствий. Но следует помнить, что само решение принимает ЛПР, а эксперты дают лишь часть необходимой информации.

При принятии сложных (обычно стратегических) решений в их подготовке принимает участие консультант по ПР. Его роль сводится к разумной организации процесса ПР.

Итак, люди, участвующие в решении проблемы, могут играть одну из следующих ролей: владелец проблемы, ЛПР, представитель активной группы, эксперт, аналитик.

### 2.1.4. Альтернативы принятия решения

Альтернативами называют варианты принимаемых решений. Для существования самой задачи ПР необходимо иметь хотя бы две альтернативы. Альтернативы бывают независимыми и зависимыми. Независимыми являются те альтернативы, любые действия с которыми (удаление из рас-

смотрения, выделение в качестве лучшей и т.п.) не оказывают влияния на качество других альтернатив. При зависимых альтернативах решения по одним из них оказывают влияние на качество других.

Задачи ПР могут существенно отличаться также по числу альтернатив и их наличию на момент ПР. Встречаются задачи, когда все альтернативы уже заданы и необходим лишь выбор из этого множества. Особенностью этих задач является замкнутое и нерасширяющееся множество альтернатив.

Но существуют задачи другого типа, где альтернативы не сформированы на момент ПР.

Итак, альтернативы, присутствующие в задачах принятия решений, могут быть следующими: независимыми; зависимыми; заранее заданными; появляющимися после выработки правила принятия решения; конструируемыми в процессе принятия решений.

При графической интерпретации альтернативы обычно откладываются по оси X.

#### 2.1.5. Критерии принятия решения

Критерии – это параметры для описания альтернативных вариантов решений, для выражения различий между ними с точки зрения предпочтений ЛПР.

В последнее время многокритериальное описание альтернатив становится все более распространенным. Критерии могут быть независимыми и зависимыми друг от друга. Критерии называют зависимыми, когда оценка альтернативы по одному из них определяет оценку по другому критерию. Так, мы можем ожидать, что удобная квартира является дорогой.

Задачи принятия решений и их методы зависят также от числа критериев. При небольшом числе критериев (2-3) задача сопоставления двух альтернатив достаточно проста для ЛПР.

При графической интерпретации критерии откладываются по оси Y.

#### 2.1.6. Характеристика проблем принятия решений

Модель для принятия решения может быть количественной и качественной, в большинстве случаев модель принимается ЛПР в ППР.

К принимаемому решению предъявляется ряд требований.

1. Упорядочение альтернатив: существуют задачи, в которых требуется определить порядок на множестве альтернатив (например, члены семьи упорядочивают по степени необходимости будущие покупки, выпускники вуза упорядочиваются по общим успехам за время обучения и т. д.).

2. Разделение альтернатив на упорядоченные по качеству группы.

3. Объединение объектов в группы – очень характерное занятие для людей. Это объясняется тем, что классификация является вполне удовлетворительным решением для многих практических задач, особенно в том случае, когда число объектов достаточно велико. Так, например, не имеет никакого смысла добиваться ранжирования нескольких сотен объектов. Врач, обследующий больных, может выделять группы пациентов в соответствии с подозрениями на разные заболевания.

4. Выбор лучшей альтернативы. Эта задача традиционно считалась одной из основных в принятии решений. Она часто встречается на практике. Выбор одного предмета при покупке, выбор места работы, выбор проекта сложного технического устройства – эти примеры хорошо знакомы. Как правило, задача выбора лучшей альтернативы возникает, когда количество сравниваемых альтернатив невелико и вполне обозримо для ЛПР.

5. Определение вида проблемы для ЛПР. Проблема может быть новая и повторяющаяся.

6. Определение степени информированности ЛПР. Если информированность низкая, то ЛПР для принятия эффективного решения имеет смысл принять помощь эксперта.

7. Определение размерности задачи. Здесь имеется в виду количество критериев и число альтернатив принятия решения.

### 2.1.7. Понятие информации

Информация – абстрактное понятие, которое выражается в виде данных, являющихся ее носителями. В ППР информация является основным ресурсом. Одна из особенностей информации в том, что она не уменьшается при передаче.

Для ПР необходимо некоторое количество информации, которая называется информационной потребностью (рис. 2.3).

Информация обладает свойством рассеивания, что может быть выражено следующей формулой:

$$I = 1 - e^{-\lambda N}, \quad (2.1)$$

где  $N$  – количество информационных источников (Д, Э);

$\lambda$  – коэффициент, характеризующий степень рассеивания и дублирования информации.

Другим свойством информации является ее старение.

$$C = C_0 \times e^{-\beta t},$$

где  $C_0$  – первоначальная ценность информации;

$\beta$  – коэффициент, характеризующий процесс старения;

$t$  – время.

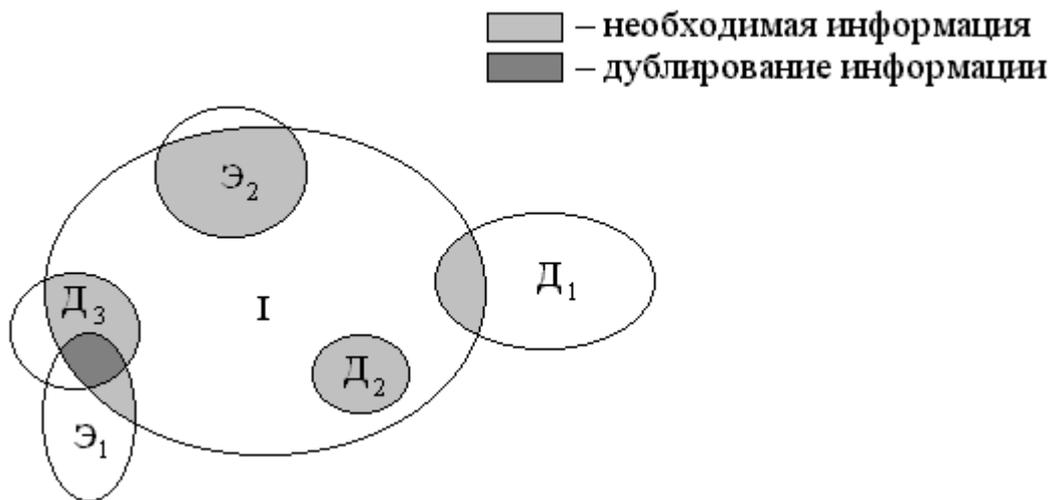


Рис. 2.3. Удовлетворение информационной потребности; источники информации:  $D_1, D_2, \dots, D_n$  – документы;  $\Xi_1, \Xi_2, \dots, \Xi_m$  – эксперты;  $I$  – количество информации

Информационная структура ППР: будем оценивать информацию с точки зрения ее количества, которое обозначим как  $I$ , и неопределенности (энтропии) –  $\Xi$ .

Принимаемое решение характеризуется числом параметров  $n$  и шириной интервала  $l_j$ , в котором может меняться каждый параметр ( $j = 1, 2, 3, \dots, n$ ). Введем понятие:

$$N_j = \frac{l_j}{\delta_j}, \quad (2.2)$$

где  $\delta_j$  – точность решения по  $j$ -ому параметру.

Тогда энтропия решения будет определяться по формуле:

$$\Xi = \sum_{j=1}^n \sum_{k_j=1}^{N_j} P_{k_j} \times \log P_{k_j}, \quad (2.3)$$

где  $P_{k_j}$  – вероятность, что  $j$ -ый параметр при нашем выборе попадет в интервал  $k_j$  из отрезка  $l_j$ .

Для случая равномерного распределения вероятности предыдущая формула упрощается и принимает вид:

$$\Xi = - \sum_{j=1}^n \log \frac{1}{N_j}. \quad (2.4)$$

Чем шире исходный интервал, тем неопределенность больше.

Зависимость энтропии от количества информации имеет вид как на рис. 2.4:

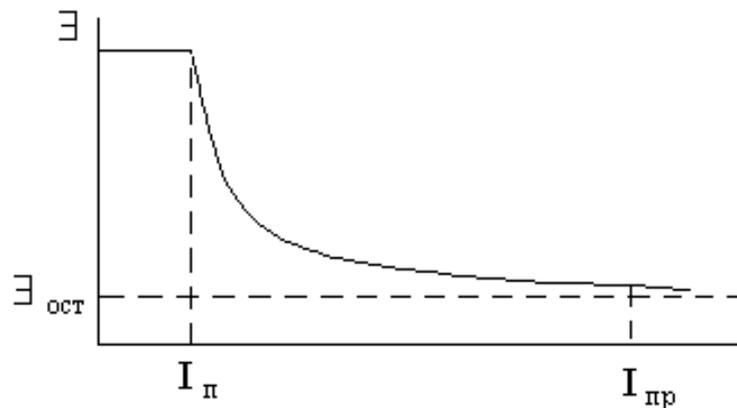


Рис. 2.4. Связь энтропии и информации при ПР:  $I_{п}$  – пороговое значение информации;  $I_{пр}$  – предельное значение информации;  $\Xi_{ост}$  – остаточная неопределенность

При практическом отсутствии информации ( $I < I_{п}$ ) энтропия максимальна.  $I_{п}$  – объем информации, ниже которого решение принимать нельзя.  $I_{пр}$  – количество информации, при дальнейшем увеличении которой качество решения не меняется.

Приращение информации наиболее эффективно на начальном этапе снижения неопределенности. Энтропию можно представить и другой формулой:

$$\Xi = \Xi_{и} + \Xi_{т} + \Xi_{ост}, \quad (2.5)$$

где  $\Xi$  – полное значение неопределенности;

$\Xi_{и}$  – неопределенность информации, накопленная перед принятием решения;

$\Xi_{о}$  – неопределенность информации, генерируемая ЛПР в ППР;

$\Xi_{ост}$  – неопределенность, которая постоянно не сохраняется.

Постановка задачи однокритериальной оптимизации. Требуется максимизировать (минимизировать) функцию  $f(X)$  посредством изменения  $X$ , при этом должен быть найден глобальный экстремум, который определяется оптимальным вектором  $X^*$  и значением целевой функции  $Z^*$ .

Запишем это формально:  $\max (\min) f(X) \rightarrow Z^* = f(X^*)$ .

## 2.2. Понятие допустимой области

В предыдущих рассуждениях предполагалось, что изменение целевой функции ничем не ограничено. Однако на практике задача усложняется дополнительными условиями, которые выступают в виде ограничений на

изменение переменных (такие ограничения называются параметрическими) или имеют более сложный вид (тогда это функциональные ограничения).

$$Z = X_3 \text{ при } -1 \leq X \leq 1. \quad (2.6)$$

В общем случае ограничения формируются неравенствами вида:

$$P_j(X) \leq 0; j = 1, 2, \dots, m.$$

В случае двух переменных задание параметрических ограничений в качестве допустимой области образуют элементарный прямоугольник как на рис. 2.5.

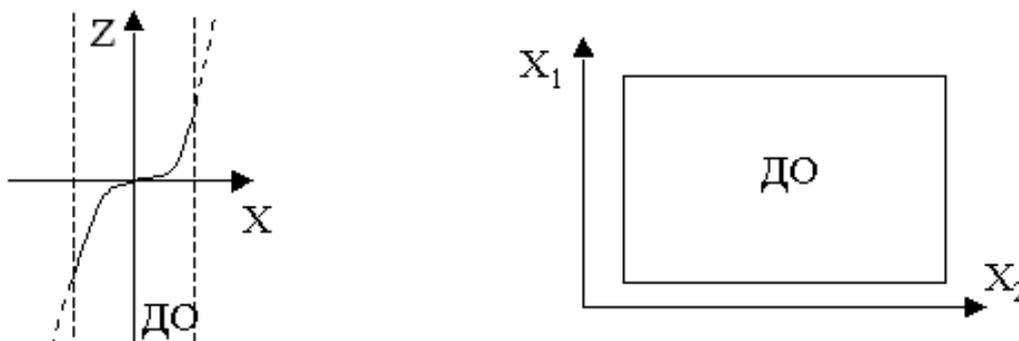


Рис. 2.5. Допустимая область

При появлении функциональных ограничений прямоугольник искажается и ДО приобретает сложную конфигурацию. При этом ДО могут быть выпуклыми; вогнутыми; несвязными.

Выпуклая ДО, если все точки любого отрезка содержатся в ней (рис. 2.6, а).



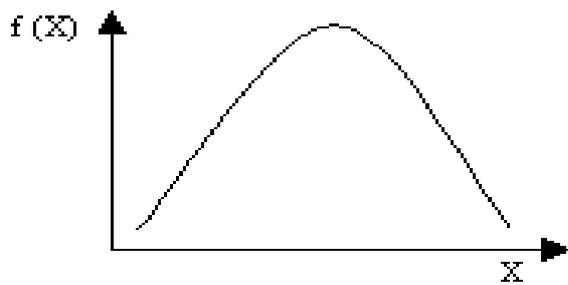
а) выпуклая ДО

б) невыпуклая ДО

в) несвязная ДО

Рис. 2.6. Конфигурации допустимой области

Различают задачи безусловной (рис. 2.7) и условной оптимизации (рис. 2.8). Задача безусловной оптимизации проще: в этих задачах понятия ДО нет, т.е. поиск экстремума ведется во всем пространстве.



ограничения на изменение функции

Рис. 2.7. Безусловная оптимизация

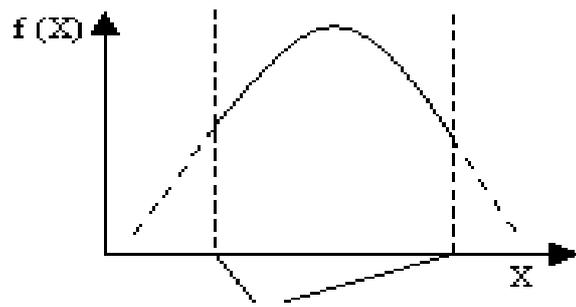


Рис. 2.8. Условная оптимизация

### 2.3. Линии равного уровня

Пусть имеется функция двух переменных  $z = f(x_1, x_2)$ . Нарисуем ее график (рис. 2.9):

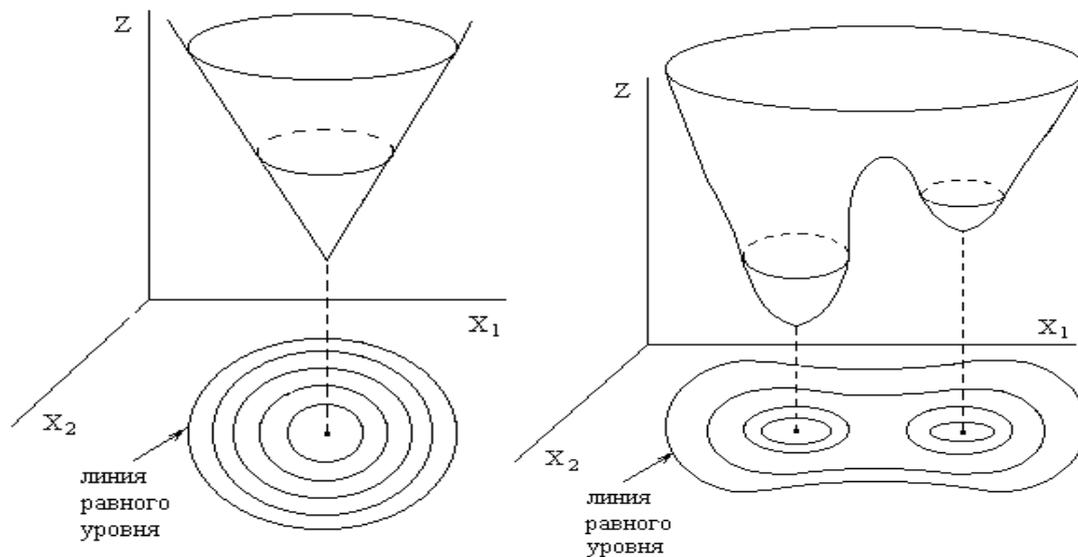


Рис. 2.9. Линии равного уровня

На линии равного уровня значение целевой функции постоянно.

Важнейшим понятием целевой функции является экстремальность. Различают глобальные и локальные экстремумы.

При принятии решения обычно ставится задача найти глобальный экстремум.

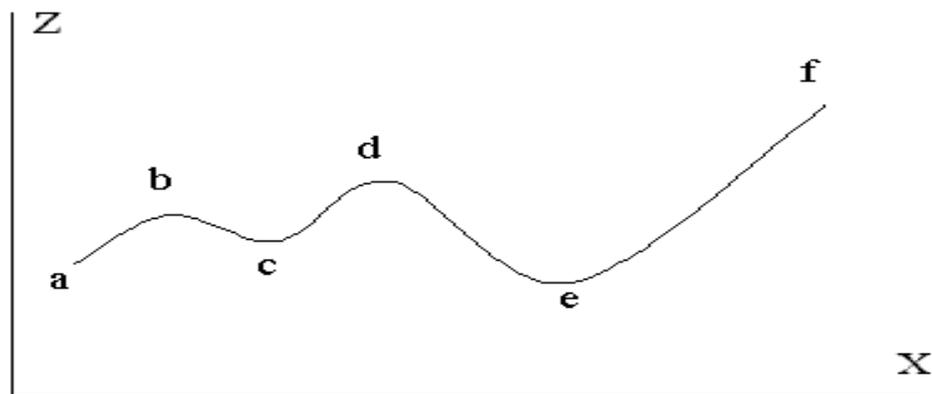


Рис. 2.10. Вид целевой функции:  
 a, c, e – минимумы; b, d, f – максимумы; a, c, b, d – локальные; e, f – глобальные

Функция, имеющая один экстремум, называется унимодальной. Также целевая функция может не иметь экстремумов.

#### 2.4. Условие стационарности

Пусть имеется функция  $f(X)$ . Градиент этой функции  $\text{grad } f(X)$  – вектор:

$$\text{grad } f(X) = \begin{pmatrix} \frac{\partial f(X)}{\partial x_1} \\ \dots \\ \frac{\partial f(X)}{\partial x_n} \end{pmatrix}. \quad (2.7)$$

Пусть  $f(X) = x_1^2 + x_2^3$ .

Для точки с координатами (1, 1) grad будет иметь вид:

$$\text{grad } f(x) = \begin{pmatrix} 2x_1 \\ 3x_2^2 \end{pmatrix}.$$

Градиент указывает направление наискорейшего увеличения функции, антиградиент – наискорейшего убывания функции. Вектор градиента перпендикулярен линии уровня. Если в какой-то точке grad равен 0, то такая точка называется стационарной.

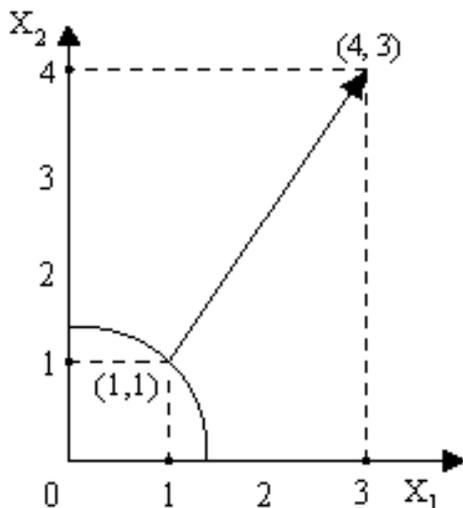


Рис. 2.11. Построение градиента

Стационарность точки А:

$$\frac{\partial f(X)}{\partial x_1} \Big|_{X=A} = 0 \quad \dots \quad \frac{\partial f(X)}{\partial x_n} \Big|_{X=A} = 0$$

Условие стационарности необходимо для существования экстремума, но недостаточно. Среди стационарных точек, кроме экстремальных, есть седловые точки (токи перегиба).

Часто аналитическое определение градиента невозможно, тогда для этого применяют численные методы. Формула для определения градиента численным методом имеет вид:

$$\text{grad } f(x) \approx \begin{array}{l} \frac{f(x_1 + \Delta x_1, \dots, x_n) - f(x_1, x_2, \dots, x_n)}{\Delta x_1} \\ \frac{f(x_1, x_2 + \Delta x_2, \dots, x_n) - f(x_1, x_2, \dots, x_n)}{\Delta x_2} \\ \dots \dots \dots \\ \frac{f(x_1, x_2, \dots, x_n + \Delta x_n) - f(x_1, x_2, \dots, x_n)}{\Delta x_n} \end{array}$$

При  $\Delta x_n \rightarrow 0$  точность возрастает.

### 2.5. Условия Куна-Таккера

Предположим, что экстремум целевой функции находится на границе допустимой области (рис. 2.12).

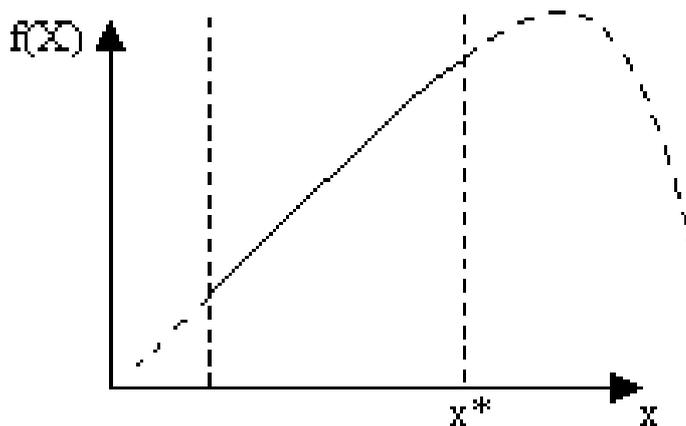


Рис. 2.12. Целевая функция

В точке  $x^*$  условие стационарности не выполняется, хотя она является экстремальной.

Введем специальную функцию Лагранжа:

$$L(X) = f(X) + \sum_{j=1}^m \lambda_j p_j(X), \quad (2.8)$$

где  $p_j(X)$  – левая часть  $j$ -ого неравенства формирующего допустимую область  $j=1, 2, \dots, m$ ;

$\lambda_j$  – множители Лагранжа (вспомогательные коэффициенты).

С помощью данной функции граничные экстремальные точки  $f(X)$  становятся стационарными точками функции  $L(X)$ .

На практике требуется выполнить следующие условия Куна-Такера:

$$\lambda_j p_j(X^*) = 0, \quad j = 1, 2, \dots, m;$$

$$\text{grad } f(X^*) + \text{grad } \sum \lambda_j p_j(X^*) = 0.$$

Выполнив эти условия, получим результат:

$$\max L = x_1 + x_2.$$

ДО формируется с помощью условий (рис. 2.13):

$$x_1 - x_2 \geq 0,$$

$$x_2 - x_1^2 \geq 0.$$

На основе условий Куна-Таккера получим следующие уравнения:

$$\left. \begin{aligned} \lambda_1 (x_1 - x_2) &= 0 \\ \lambda_2 (x_2 - x_1^2) &= 0 \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{из первого} \\ \text{условия} \end{array}$$

$$\left. \begin{aligned} 1 + \lambda_1 - 2 \lambda_2 x_1 &= 0 \\ 1 - \lambda_1 + \lambda_2 &= 0 \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{из второго} \\ \text{условия} \end{array}$$

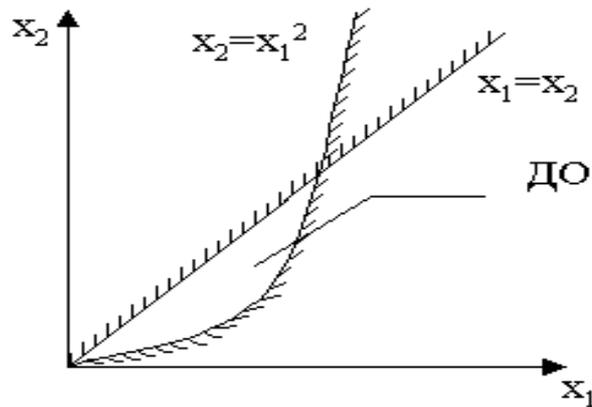


Рис. 2.13. Вид допустимой области

Решая систему четырех уравнений с четырьмя неизвестными получаем:

$$\begin{aligned} x_1 &= 1; x_2 = 1; \\ \lambda_1 &= 3; \lambda_2 = 2; \\ x_1^* &= 1; \\ x_2^* &= 1 \rightarrow Z^* = 2. \end{aligned}$$

На практике данный подход применяется редко из-за трудностей, связанных с нахождением частных производных.

### 2.6. Преобразование задачи условной оптимизации в задачу безусловной оптимизации (метод штрафных функций)

Метод штрафных функций близок к идеям Куна-Таккера. В этом методе формируется штрафная функция, которая аналогична функции Лагранжа.

Пусть требуется  $\max f(X)$  при  $p_j(X) \geq 0; j = 1, 2, \dots, m$ .  
 $P(X)$  – штрафная функция.

$$P(X) = -\sum_{j=1}^m \left| \min[p_j(X), 0] \right|, \quad j = 1, 2, \dots, m. \quad (2.8)$$

В допустимой области  $P(X) = 0$ . В недопустимой области она отрицательна. Оптимизации подвергается функция:

$$Z(X) = f(X) + P(X)k. \quad (2.10)$$

Таким образом, имеем задачу безусловной оптимизации.

Коэффициент  $k > 1$ . При первом расчете  $k = 1$ ; если экстремум функции  $F(X)$  оказался за рамками ДО, тогда  $k$  увеличивают и выполняют новый расчет до тех пор, пока экстремум не будет находиться в ДО.

## 2.7. Задача об оптимальном рационе

Пусть имеется  $n$  продуктов питания (хлеб, мясо, молоко, картофель и т.д.) и  $m$  полезных веществ (жиры, белки, углеводы и т.п.). Обозначим через  $a_{ij}$  – содержание  $j$ -го вещества в единице  $i$ -го продукта, через  $b_j$  – потребность индивидуума в  $j$ -м веществе (скажем, в месяц) и через  $c_i$  – цену единицы  $i$ -го продукта.

Обозначив потребление индивидуумом  $i$ -го продукта через  $x_i$  получаем задачу о выборе наиболее дешевого рациона питания (стоимости месячной продовольственной потребительской корзины) [см. 3]:

$$\min \sum_{i=1}^n c_i x_i \quad (2.11)$$

при ограничениях

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} x_i \geq b_j, \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (2.12)$$

и

$$x_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (2.13)$$

Такая задача называется задачей линейного программирования.

Выясним, что представляет собой допустимая область на плоскости  $x_1 O x_2$  в случае двух продуктов  $x_1$  и  $x_2$ . Из неравенств (2.13) вытекает, что ДО расположена в первом квадранте, а каждое неравенство (2.12) геометрически определяет множество точек, лежащих по одну сторону от прямой.

$$\sum_{i=1}^2 a_{ij} x_i = b_j. \quad (2.14)$$

Следовательно, для трех полезных веществ ( $m = 3$ ) ДО представляет собой неограниченное множество (рис. 2.14, 2.15, 2.16).

Введем линии уровня целевой функции, т. е. линии, на которых в плоскости  $x_1 O x_2$  целевая функция

$$f(x) = c_1 x_1 + c_2 x_2 \quad (2.15)$$

принимает постоянное значение, и обозначим ее  $Z_\alpha$ . Очевидно, каждая линия уровня

$$Z_\alpha = \{(x_1, x_2)\}: f(x) = \alpha$$

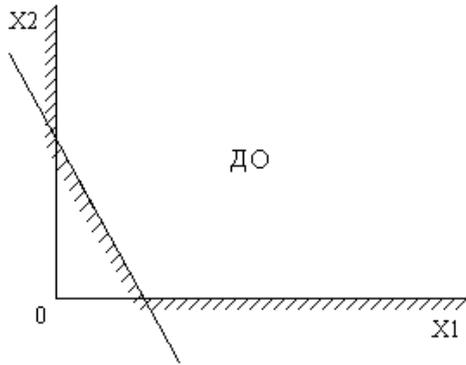


Рис. 2.14. Допустимая область при одном ограничении

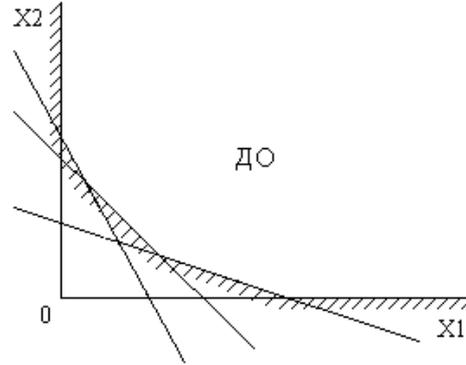


Рис. 2.15. Допустимая область при трех ограничениях

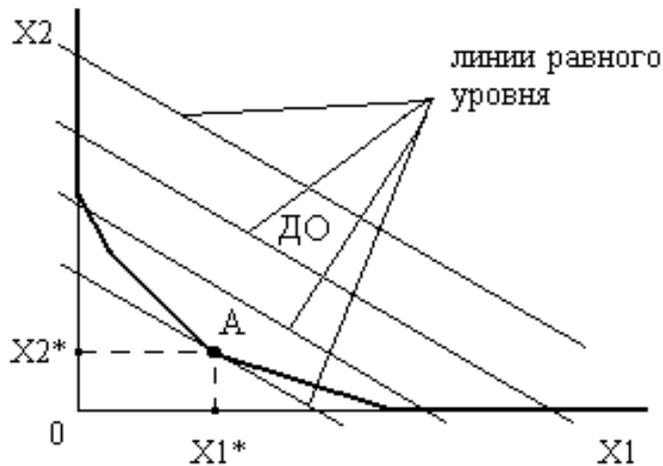


Рис. 2.16. Геометрическая интерпретация задачи

является прямой; при этом

$$\text{grad } f(x) = \left\{ \frac{\partial f}{\partial x_1}, \frac{\partial f}{\partial x_2} \right\} = \{c_1, c_2\} \quad (2.16)$$

является вектором  $N$ , перпендикулярным линии уровня и направленным (в данном случае) в сторону увеличения  $\alpha$ . Таким образом, для нахождения оптимального решения нам следует перемещать линию уровня до тех пор, пока хотя бы одна точка этой линии будет находиться в области ДО. При этом оптимальная прямая  $Z\alpha^*$  коснется либо какой-то вершины, либо какого-либо ребра допустимой области (в нашем случае точка А).

Из приведенной геометрической интерпретации вытекает, что минимум обязательно достигается на одной из вершин многоугольника.

## 2.8. Методы однокритериальной оптимизации

### 2.8.1. Градиентный метод

Пусть имеется функция  $f(X)$ . Надо найти ее экстремум (рис. 2.17).

Выбирается некоторая точка  $X_0$  как стартовая. В ней определяется grad, если решается задача максимизации, и анти-grad, если решается задача минимизации. Вдоль этого вектора делается шаг  $\varepsilon$ , при этом попадаем в точку  $X_1$ , в ней вновь определяется grad, делается шаг  $\varepsilon$  и т. д. Критерием остановки является значение  $\text{grad} = 0$ .

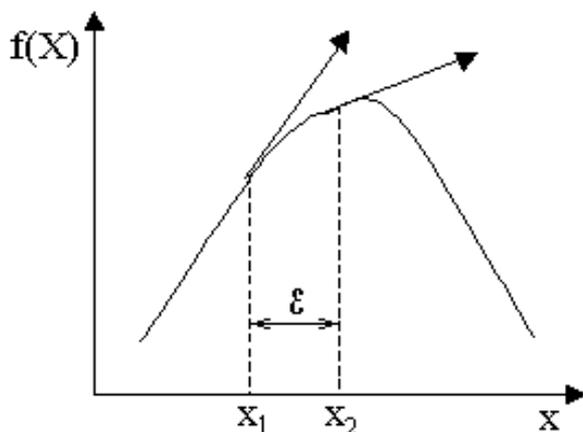


Рис. 2.17. Поиск экстремума функции  $f(X)$

Недостатками градиентного метода являются следующие моменты:

- 1) при большом шаге можно проскочить экстремум;
- 2) при малом шаге увеличивается время расчетов;
- 3) данный метод плохо работает в случае оврагообразных целевых функций;
- 4) этот метод плохо работает в случае задачи условной оптимизации (grad упирается в ограничение и замирает).

### 2.8.2. Метод сканирования (перебора)

Этот метод среди методов однокритериальной оптимизации занимает особое место. Исторически он был первым для решения подобных задач.

Суть метода заключается в определении значений целевой функции во всех узлах сетки. Расчет начинается с левого нижнего узла или слева направо или снизу вверх, в зависимости от того, какая переменная меняется во внутреннем цикле.

Пусть требуется минимизировать функцию двух переменных  $f(X) = f(x_1, x_2)$ .

Принцип действия метода рассмотрим на примере. Пусть переменная  $x_1$  принимает 6 значений:  $x_1 = x_1^1, x_1^2, \dots, x_1^6$ , а переменная  $x_2$  – 5 значений:  $x_2 = x_2^1, x_2^2, \dots, x_2^5$ .

Пусть линии уровня целевой функции имеют вид, представленный на рис. 2.18.

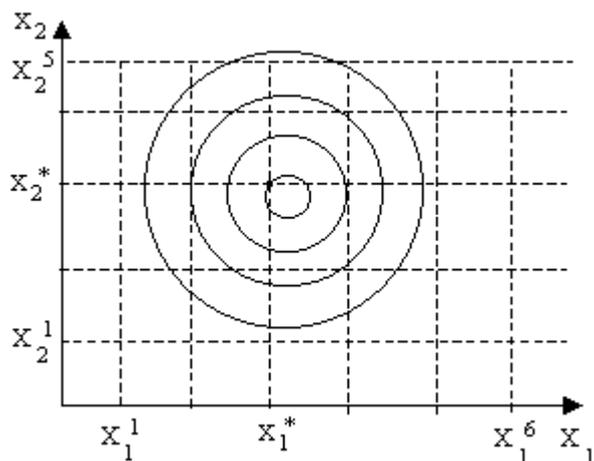


Рис. 2.18. Линии уровня целевой функции

Недостатки этого метода:

- 1) невысокая точность (определяется половиной шага);
- 2) с уменьшением шага возрастает время расчета;
- 3) при неправильной настройке метода получается неправильный результат;
- 4) в случае сложной конфигурации ДО много расчетов будет выполняться «вхолостую».

Достоинства метода сканирования:

- 1) простота, наглядность;
- 2) этот метод позволяет находить глобальные экстремумы.

Данный метод эффективен, когда число независимых переменных  $n$  находится в интервале от 2 до 4.

### 2.8.3. Метод Гаусса-Зейделя (покоординатного спуска)

Пусть требуется оптимизировать функцию  $f(X) = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ .

Выбирается некоторая стартовая точка  $X^0$  (рис. 2.19), из нее начинается процесс поиска, при этом меняется только одна переменная  $x_1$ . Например, при изменении этой переменной оптимум целевой функции находится одним из известных методов: градиента, сканирования и т.д. Получается точка  $x_1^*, x_2^0, \dots, x_n^0$ . После этого из найденной точки организуется новый цикл, при этом меняется переменная  $x_2$ . Получают точку  $x_1^*, x_2^*, x_3^0, \dots, x_n^0$  и т.д. до изменения  $x_n$ . После этого организу-

ется новый цикл по переменной  $x_1$  и получается точка  $x_1^{**}$ ,  $x_2^*$ , ...,  $x_n$ . Критерием остановки является незначительное изменение значений переменных и функции.

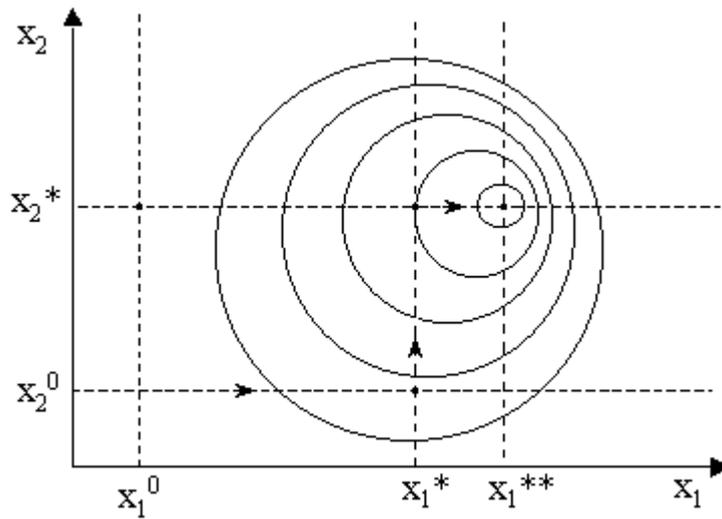


Рис. 2.19. Оптимизация функции  $f(X)$

Недостатки метода:

- 1) неэффективен, если главные оси линий уровня не параллельны осям координат;
- 2) плохо работает при наличии ограничений.

#### 2.8.4. Метод случайного поиска (метод Монте-Карло)

Рассмотрим суть метода на следующем простом примере. Пусть требуется определить площадь некоторой фигуры, расположенной в квадрате площадью  $S$ . Выберем в площади квадрата  $N$  случайных точек. Пусть  $N'$  – число точек, попавших в площадь фигуры (рис. 2.20).

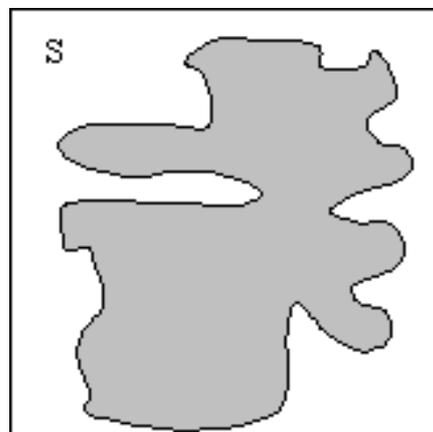


Рис. 2.20. Определение площади фигуры

Тогда площадь фигуры можно определить по формуле:

$$S_{\phi} \cong S \frac{N'}{N}, \quad (2.17)$$

при  $N \rightarrow 0$ , рассчитанная площадь будет стремиться к действительной. На этом принципе строится работа случайного поиска.

Пусть требуется найти экстремум функции двух переменных:  $f(X) = f(x_1, x_2)$ . Для каждой переменной назначается интервал изменения, в котором эта переменная выбирается случайным образом. В точке  $X'$  определяется значение целевой функции, которое запоминается. Выбирается новое значение  $X''$  и сравнивается  $f(X')$  и  $f(X'')$  и т.д.

Можно доказать, что, когда число случайных точек  $N \rightarrow \infty$ , то точка с наилучшим значением целевой функции будет соответствовать глобальному экстремуму. Обычно случайные координаты точек определяются с помощью программного датчика случайных чисел. В простейшем случае распределение вероятностей для каждой переменной принимается равномерным. Критерием остановки является выработка заданного количества случайных точек.

Достоинства метода случайного поиска:

- 1) простота;
- 2) универсальность;
- 3) нечувствительность к размерности задачи: с ростом числа переменных время расчета растет медленнее, чем в методе сканирования.

Недостатки метода случайного поиска:

- 1) в ряде случаев недостаточная точность;
- 2) для задач условной оптимизации большое число случайных испытаний происходит вхолостую.

## 2.9. Оптимизация в условиях неопределенности

Детерминированная оптимизация заключалась в нахождении функции  $Z = f(X)$ . Представим этот процесс с помощью следующей матрицы:

$$Z = \begin{array}{c|c} B_1 & Z_1 \\ B_2 & Z_2 \\ \dots & \dots \\ B_i & Z_i \\ B_N & Z_N \end{array},$$

где  $N$  – число рассматриваемых значений целевой функции (количество вариантов).

На этой матрице можно поставить следующие задачи:

$$\max Z(x) = \max_i Z_i \quad \text{или} \quad \min Z(x) = \min_i Z_i ,$$

что эквивалентно постановкам задач принятия решений, сделанным нами ранее.

Во многих реальных задачах необходимо учитывать внешние факторы, которые носят случайный характер или недостаточно определены.

Будем говорить в дальнейшем о задаче безусловной максимизации.

Пусть имеется  $N$  вариантов и  $L$  внешних состояний. Тогда матрица, подвергаемая анализу на предмет принятия решений, будет иметь вид

	$\xi_1$	$\xi_2$	...	$\xi_j$	...	$\xi_l$
$B_1$	$Z_{11}$	$Z_{12}$	...	$Z_{1j}$	...	$Z_{1l}$
$B_2$	$Z_{21}$	$Z_{22}$	...	$Z_{2j}$	...	$Z_{2l}$
...	...	...	...	...	...	...
$B_i$	$Z_{i1}$	$Z_{i2}$	...	$Z_{ij}$	...	$Z_{il}$
...	...	...	...	...	...	...
$B_N$	$Z_{N1}$	$Z_{N2}$	...	$Z_{Nj}$	...	$Z_{Nl}$

и будет называться платежной матрицей.

### 2.9.1. Графическая интерпретация

Пусть имеется два внешних состояния  $\xi_1$  и  $\xi_2$ . Составим для такого случая платежную матрицу:

	$\xi_1$	$\xi_2$
$B_1$	$Z_{11}$	$Z_{12}$
$B_2$	$Z_{21}$	$Z_{22}$
...	...	...
$B_i$	$Z_{i1}$	$Z_{i2}$
...	...	...
$B_N$	$Z_{N1}$	$Z_{N2}$

Каждому внешнему состоянию поставим в соответствие свою координатную ось (рис. 2.21).

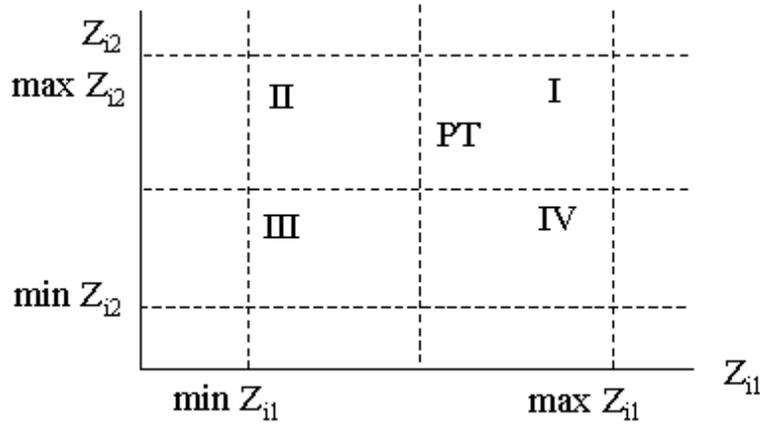


Рис. 2.21. Поле решений

Получили поле решений. В нем найдем некоторую точку, которую назовем утопической точкой. В этой точке каждая координата имеет максимальное значение. Данная точка называется утопической, потому что ее, как правило, не существует. Противоположная ей точка, антиутопическая, имеет координаты  $\min Z_{i1}$ ,  $\min Z_{i2}$ . Эти две точки образуют прямоугольник, в поле которого возьмем рассматриваемую точку (PT). Проведя через эту точку прямые, параллельные осям координат, получим 4 квадранта.

Для многомерного пространства эти квадранты называются конусами, т.о. конус I – конус предпочтения. Все варианты, находящиеся в нем, лучше варианта соответствующего PT. Конус III – антиконус. Варианты, содержащиеся в нем, хуже вариантов соответствующих PT. Если бы все варианты находились в конусе I или III, то проблем с принятием решения не возникало бы. Конус II и IV – конусы неопределенности (возникают сложности в принятии решений).

Пусть имеется матрица следующего вида:

	$\xi_1$	$\xi_2$
$B_1$	2	4
$B_2$	5	1
$B_3$	1	1
$B_4$	6	5

Для принятия решения в случаях, когда варианты находятся в конусах неопределенности, используются специальные критерии.

### 2.9.2. Максиминный критерий (ММ)

$$Z_{\text{MM}} = \max \min Z_{ij}. \quad (2.18)$$

Для получения результата необходимо:

- 1) матрицу решений дополнить еще одним столбцом из наименьших результатов каждой строки ( $\min Z_{ij}$ );
- 2) выбрать тот вариант в строке, у которого стоит наибольшее значение ( $\max Z_{ij}$ ).

Пусть имеется платежная матрица:

	$\xi_1$	$\xi_2$	$\xi_3$		
$B_1$	5	7	3	3	
$B_2$	11	4	20	4	
$B_3$	7	13	15	7	←

На основе данного критерия выбираем третий вариант. Использование этого критерия означает принятие позиции пессимизма. Выбранный вариант полностью исключает риск. Это значит, что ЛПР не может столкнуться с худшим результатом, чем тот, на который он ориентируется. Этот критерий нашел широкое распространение как один из базовых. Однако за отказ от риска приходится платить, что хорошо иллюстрирует следующий пример:

	$\xi_1$	$\xi_2$
$B_1$	1	100
$B_2$	1,1	1,1

Если состояние  $\xi_2$  встречается чаще, чем состояние  $\xi_1$  и решение реализуется многократно, то результат максиминного критерия нас может не устраивать. Подобный критерий оправдан, когда о внешних состояниях нам ничего не известно, решение реализуется один раз и необходимо исключить любой риск.

### 2.9.3. Критерий Байеса-Лапласа (BL)

$$Z_{\text{BL}} = \max_i \sum_{j=1}^l P_j \times Z_{ij}. \quad (2.19)$$

Для получения критерия необходимо:

- 1) матрицу решений дополнить столбцом, содержащим математические ожидания каждой строки;
- 2) из этого столбца выбрать значение с максимальным значением.

Этот критерий используется, когда вероятности каждого события известны. Решения реализуются много раз. Для малого числа реализаций допускается некоторый риск.

### 2.9.4. Максимальный критерий

$$Z = \max_i \max_j Z_{ij}. \quad (2.20)$$

Этот критерий выражает позицию крайнего оптимизма (азартного игрока). На практике он не используется, т.к. предполагает необоснованный риск.

### 2.9.5. Критерий Сэвиджа (S)

$$Z_s = \min_i \left[ \max_j \left( \max_i Z_{ij} - Z_{ij} \right) \right]. \quad (2.21)$$

Для получения критерия необходимо выполнить несколько условий:

- 1) каждый элемент матрицы решений вычитается из максимального элемента каждого столбца;
- 2) полученные разности образуют матрицу остатков  $a_{ij}$ , которая дополняется столбцом результатов наибольших разностей;
- 3) выбирается вариант с наименьшим значением строки.

$$\begin{array}{c}
 B_1 \\
 B_2 \\
 B_3
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 \xi_1 \\
 \xi_2 \\
 \xi_3
 \end{array}
 \begin{array}{ccc}
 5 & 9 & 3 \\
 10 & 7 & 1 \\
 1 & 6 & 5
 \end{array}
 \Rightarrow
 \begin{array}{ccc}
 5 & 0 & 2 \\
 0 & 2 & 4 \\
 9 & 3 & 0
 \end{array}
 \Rightarrow
 \begin{array}{c}
 5 \\
 4 \\
 9
 \end{array}
 \leftarrow$$

Критерии Максиминный, Байеса-Лапласа, Сэвиджа относятся к разряду классических.

### 2.9.6. Пример использования классических критериев

Пусть некоторая машина производит некоторую продукцию. Реальное состояние машины неизвестно. Но потенциально оно может быть следующим:

- 1)  $\xi_1$  – неисправностей нет;
- 2)  $\xi_2$  – незначительные неисправности;
- 3)  $\xi_3$  – серьезная неисправность.

Если неисправность проявляется, то машина останавливается, требуются затраты на ее восстановление и затраты, связанные с приостановкой выпуска продукции.

Варианты решений следующие:

- 1)  $B_1$  – остановка и полная проверка машины;
- 2)  $B_2$  – минимальная проверка;
- 3)  $B_3$  – отказ от проверки.

Составим платежную матрицу:

	$\xi_1$	$\xi_2$	$\xi_3$	MM		BL		S	
$B_1$	-20	-22	-25	-25	$\leftarrow$	-22,3	$\leftarrow$	20	0
$B_2$	-14	-23	-31	-31	$\leftarrow$	-22,7	$\leftarrow$	14	1
$B_3$	0	-24	-40	-40	$\leftarrow$	-21,3	$\leftarrow$	0	2
								0	6
								15	15

При использовании критерия BL предполагаем, что все состояния равновероятны.

Пример специально составлен так, чтобы каждый критерий предлагал свое решение. В этом случае такая информация позволяет легче представить проблему. Для окончательного решения желательно иметь дополнительную информацию. Если речь идет о сотне машин, то целесообразнее использовать критерий Байеса-Лапласа. Чем более уникально оборудование, тем больший вес приобретают более осторожные методы. Нередки ситуации, когда рекомендации критериев совпадают. Предположим, что серьезная неисправность встречается достаточно часто, т. е.

$$P_1 = P_2 = 0,25; P_3 = 0,5.$$

Тогда критерии Максиминный и Байеса-Лапласа рекомендуют один и тот же первый вариант. Например, если удастся снизить затраты на полную проверку:

	$\xi_1$	$\xi_2$	$\xi_3$
$B_1$	-18	-20	-22
$B_2$	-14	-23	-31
$B_3$	0	-24	-40

Тогда все критерии будут рекомендовать выбор первого варианта.

### 2.9.7. Понятие слабого и сильного доминирования

Если при обработке платежной матрицы все критерии дают одну и ту же рекомендацию, в этом случае говорят о слабом доминировании предлагаемого варианта.

Сильное доминирование над первым вариантом имеет место, когда выполняются следующие условия:

$$Z_{1j} \leq Z_{ij}, j = 1, \dots, l \text{ и хотя бы одного } j \text{ выполняется неравенство}$$

$$Z_{1j} < Z_{ij}.$$

$B_1$	5	6	1	$B_2$ и $B_3$ доминируют над $B_1$ и этот вариант может быть исключен из рассмотрения.
$B_2$	10	7	1	
$B_3$	5	9	3	

В случае сильного доминирования первого варианта:

$$Z_{1j} \geq Z_{ij} \text{ и } Z_{1j} > Z_{ij}.$$

$B_1$	11	9	5	$B_1$ доминирует над $B_2$ и $B_3$
$B_2$	5	9	3	
$B_3$	10	7	1	

Понятно, что в случае сильного доминирования результат использования всех критериев однозначен.

### 2.9.8. Производные критерии

#### *Критерий Гурвица*

Стремление занять уравновешенную позицию, т.е. оказаться между крайними точками зрения пессимизма и оптимизма привело Гурвица к конструированию следующего критерия:

$$Z_{HW} = \max_i \left[ c \min_j Z_{ij} + (1 - c) \max_j Z_{ij} \right], \quad (2.22)$$

где,  $0 \leq c \leq 1$  – весовой коэффициент.

Платежная матрица дополняется столбцом, содержащим средневзвешенное наименьшего и наибольшего результата для каждой строки. Затем выбирается вариант с максимальным значением:

- если  $c = 0$ , то критерий Гурвица вырождается в максимаксный критерий;

- если  $c = 1$ , то – в максиминный.

Обычно весовой коэффициент  $c$  принимают равным 0,5.

Возможно нахождение весового коэффициента таким образом: анализируется платежная матрица, с помощью других критериев определяют подходящий вариант. С учетом найденного варианта подбирается весовой коэффициент, который затем в составе критерия Гурвица используется при нахождении решения на основе других платежных матриц.

Критерий Гурвица целесообразно использовать в случаях, когда:

- 1) о вероятностях  $\xi_j$  ничего не известно;
- 2) допускается риск (чем меньше  $C$ , тем риск больше);
- 3) реализуется малое количество решений.

*Критерий Хаджа-Лемана (HL)*

Данный критерий опирается на два классических критерия: ММ и ВЛ. Вместо коэффициента С вводится параметр  $\nu$ , который выражает степень доверия к распределению вероятностей. Если эта вероятность велика, то преобладает критерий ВЛ, если мала, то критерий ММ.

$$Z_{HL} = \max_i \left[ \nu \sum_{j=1}^1 Z_{ij} p_j + (1 - \nu) \min_j Z_{ij} \right]. \quad (2.23)$$

Обычно  $\nu = 0 \div 1$ .

При  $\nu = 1$  критерий HL вырождается в критерий ВЛ, при  $\nu = 0$  – в критерий ММ.

На практике критерий HL используется сравнительно редко из-за необходимости наличия распределения вероятности внешних состояний.

2.9.9. Риск при принятии решения

Вероятность выбора ошибочных решений обуславливает риск при принятии решений (ПР). Полное устранение риска при ПР невозможно. Ориентация на ММ-критерий не всегда оправдана. При ПР в большинстве случаев целесообразно допускать некоторый риск, но он в каждом конкретном случае не должен превышать предельных значений. Для этого риск надо описывать количественно. В качестве опорного значения для оценки риска применяется ММ-критерий. В случае выбора какого-то варианта, отличного от рекомендуемого этим критерием, степень неоптимальности можно представить в виде так называемого дефекта варианта решения относительно опорного критерия.

$$\xi_i = Z_{MM} - \min_j Z_{ij}. \quad (2.24)$$

	$\xi_1$	$\xi_2$	$\xi_3$	
$B_1$	5	7	2	При выборе, например, второго варианта $\xi_2 = 7 - 4 = 3$ возможный дефект решения
$B_2$	11	4	20	
$B_3$	7	13	15	

Риск определяется в тех же единицах, что и платежная матрица. Максимальная разность дефектов при рассмотрении всех вариантов матрицы охарактеризуем как возможный риск:

$$\xi_B = Z_{MM} - \min_i \min_j Z_{ij} = \max_i (Z_{MM} - \min_j Z_{ij}) - \min_i (Z_{MM} - \min_j Z_{ij}) \quad (2.25)$$

*Технология принятия решения*

В ППР наряду с анализом ситуации и постановкой задачи можно выделить следующие этапы:

- 1) анализ и комбинирование внешних условий,  $\xi_j, j = 1, 2, \dots, l$ ;
- 2) выработка вариантов  $B_i, i = 1, 2, \dots, N$ ;
- 3) построение платежной матрицы;
- 4) анализ дополнительной информации и выбор критерия;
- 5) нахождение оптимального варианта, проверка и оформление результата.

*Анализ и комбинирование внешних условий*

Данный этап реализуется посредством построения дерева событий.

Имеются три параллельно работающих агрегата:  $A_1, A_2, A_3$ . Пусть вероятность аварии на каждом агрегате равна  $P_i = 10^{-3}, i = 1, 2, 3$ . Данную ситуацию можно представить в виде дерева событий, на котором работающий агрегат будет обозначен как  $A_i$ , а отказавший – как  $\bar{A}_i$  (рис. 2.22).

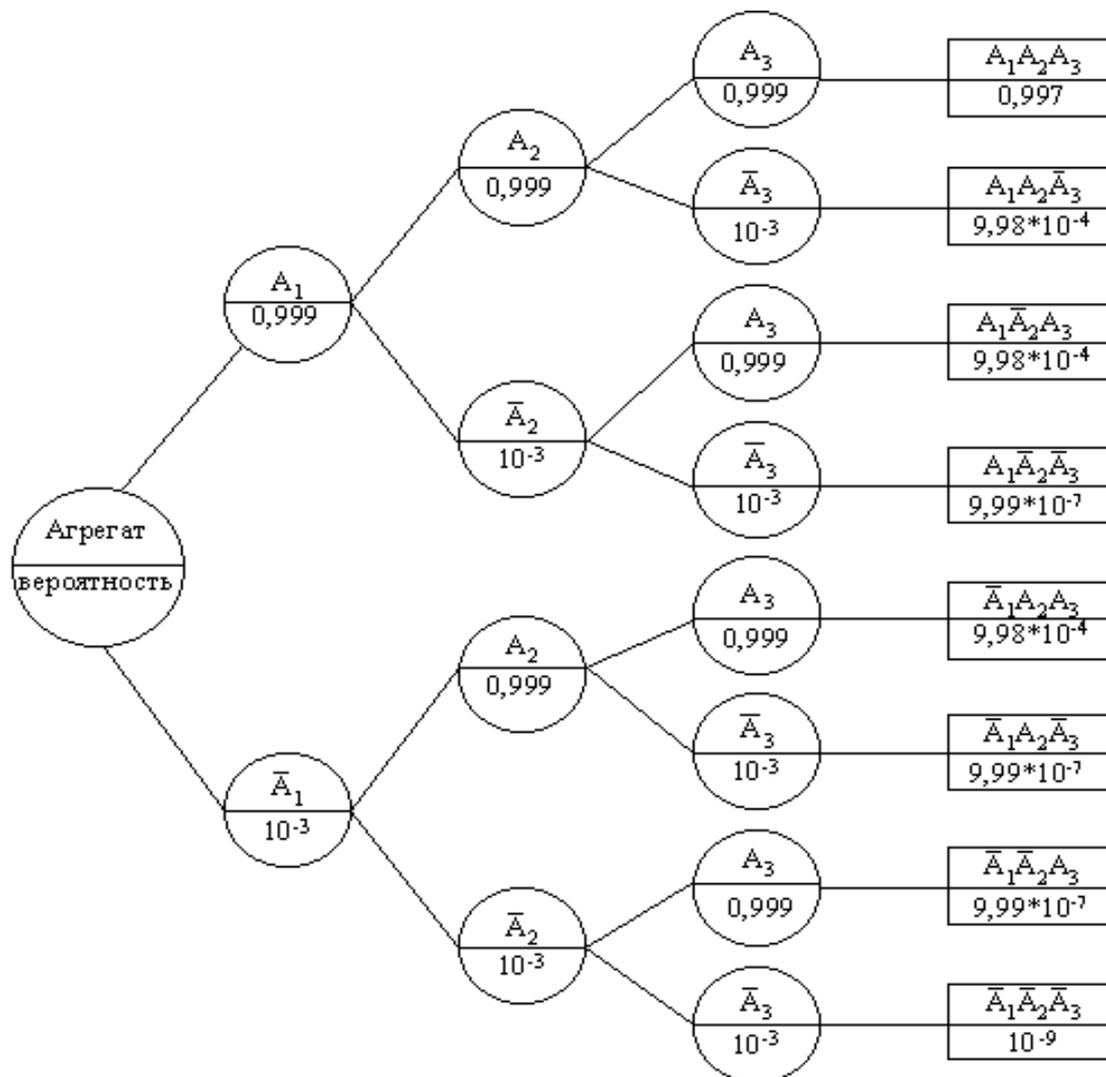


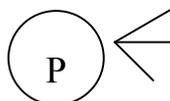
Рис. 2.22. Дерево событий

Каждая ветвь дерева событий соответствует определенному состоянию среды  $\xi_j$ ,  $j = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$ .

*Выработка вариантов*

Совместный учет внешних событий  $\xi_j$  и возможных вариантов  $B_i$  можно представить в виде дерева решений. В этом дереве различают:

узлы событий



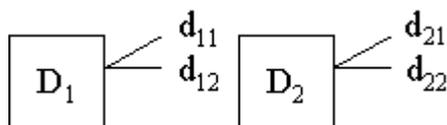
узлы решений



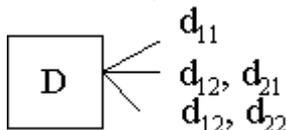
Дерево решений поддается модификации:

- его можно развивать;
- его можно упрощать (если узлы решений не разделены узлами событий).

Например, узлы



можно представить в виде одного узла:



На дереве решений возможные решения будем обозначать  $a_{rk}$ , случайные события –  $f_{se}$ . Совокупность первых образуют  $B_i$ , а вторых  $\xi_j$ . В качестве примера возьмем дерево решений (рис. 2.23).

Листья дерева соответствуют конечным состояниям. В дереве, представленном на рис. 2.23, содержатся два этапа. Каждому этапу соответствует своя платежная матрица.

При формировании матрицы, соответствующей первому этапу, имеем:

- 1)  $B_1 = d_{11}$ ;  $\xi_1 = 0$ ;  $Z_{11} = C_1$ ;
- 2)  $B_2 = d_{12}, d_{21}$ ;  $\xi_2 = f_{31}$ ;  $Z_{22} = C_2$ ;
- 3)  $B_3 = d_{12}, d_{21}$ ;  $\xi_3 = f_{32}$ ;  $Z_{23} = C_3$ ;
- 4)  $B_4 = d_{12}, d_{22}$ ;  $\xi_4 = f_{41}$ ;  $Z_{34} = C_4$ ;
- 5)  $B_5 = d_{12}, d_{22}$ ;  $\xi_5 = f_{42}$ ;  $Z_{35} = C_5$ ;
- 6)  $B_6 = d_{13}$ ;  $\xi_6 = f_{11}, f_{51}$ ;  $Z_{46} = C_6$ ;
- 7)  $B_7 = d_{13}$ ;  $\xi_7 = f_{11}, f_{52}$ ;  $Z_{47} = C_7$ ;
- 8)  $B_8 = d_{13}$ ;  $\xi_8 = f_{11}, f_{53}$ ;  $Z_{48} = C_8$ ;
- 9)  $B_9 = d_{13}$ ;  $\xi_9 = f_{12}$ ;  $Z_{49} = |Z|_{II}$ ;

- 10)  $B_5 = d_{14}$ ;  $\xi_{10} = f_{21}, f_{61}$ ;  $Z_{5,10} = C_{12}$ ;
- 11)  $B_5 = d_{14}$ ;  $\xi_{11} = f_{21}, f_{62}$ ;  $Z_{5,11} = C_{13}$ ;
- 12)  $B_5 = d_{14}$ ;  $\xi_{12} = f_{21}, f_{62}$ ;  $Z_{5,12} = C_{14}$ ;
- 13)  $B_5 = d_{14}$ ;  $\xi_{13} = f_{22}$ ;  $Z_{5,13} = C_{15}$ .

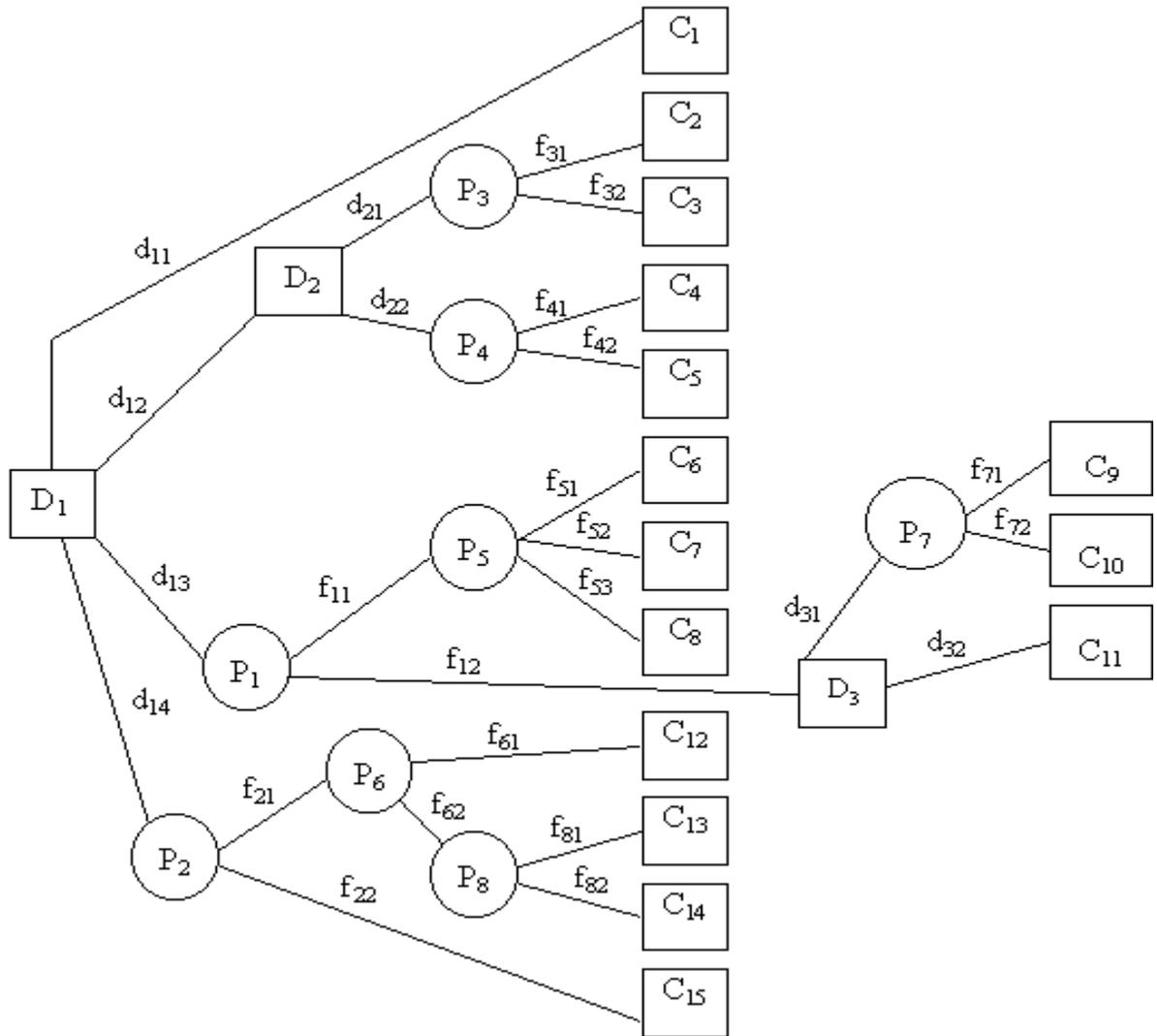


Рис. 2.23. Дерево решений

Построим матрицу:

	$\xi_1$	$\xi_2$	$\xi_3$	$\xi_4$	$\xi_5$	$\xi_6$	$\xi_7$	$\xi_8$	$\xi_9$	$\xi_{10}$	$\xi_{11}$	$\xi_{12}$	$\xi_{13}$
$B_1$	$C_1$												
$B_2$		$C_2$	$C_3$										
$B_3$				$C_4$	$C_5$								
$B_4$						$C_6$	$C_7$	$C_8$	$ Z _{II}$				
$B_5$										$C_{12}$	$C_{13}$	$C_{14}$	$C_{15}$

Для второго этапа:

$$B_6 = a_{31}; \xi_{14} = f_{71}; Z_{6,14} = C_9;$$

$$B_6 = a_{31}; \xi_{15} = f_{72}; Z_{6,15} = C_{10};$$

$$B_7 = a_{32}; \xi_{16} = 0; Z_{7,16} = C_{11}.$$

Соответственно, матрица для этого этапа будет выглядеть так:

	$\xi_{14}$	$\xi_{15}$	$\xi_{16}$
$B_6$	$C_9$	$C_{10}$	
$B_7$			$C_{11}$

Процесс принятия решения должен начинаться с последнего этапа. Используя соответствующие критерии, обрабатывается матрица последнего этапа, полученный результат вносится в матрицу предыдущего этапа и т.д. Процесс принятия решения носит итерационный характер сначала в одном направлении, потом – в другом.

#### *Понятие стратегии*

Стратегия – однозначный образ действий, позволяющий ЛПР в каждый момент времени делать выбор с учетом всей информации. Для нашего примера множество стратегий, находящихся в распоряжении ЛПР имеют вид следующий вид:

$$B_{ст} = \{d_{11} \vee (d_{12} \wedge d_{21}) \vee (d_{12} \wedge d_{22}) \vee (d_{13} \wedge d_{31}) \vee (d_{13} \wedge d_{32}) \wedge d_{14}\}.$$

В общем случае множество стратегий:

$$B_{bc} = \left\{ \bigvee_{r=1}^R \left( \bigwedge_{k=1}^{kr} d_{rk} \right) \right\}, \quad (2.26)$$

где  $\vee$  – логическое сложение,

$\wedge$  – логическое умножение;

$R$  – число возможных стратегий;

$kr$  – число подэтапов в  $r$ -ой стратегии.

Внешние условия образуют свое множество стратегий:

$$\xi_{ст} = \left[ f_{31} \vee f_{32} \vee f_{41} \vee f_{42} \vee (f_{11} \wedge f_{51}) \vee (f_{11} \wedge f_{52}) \dots \right]. \quad (2.27)$$

В общем случае:

$$\xi_{ст} = \left\{ \bigvee_{s=1}^S \left( \bigwedge_{l=1}^{ls} f_{se} \right) \right\}. \quad (2.28)$$

*Пример.* На подстанции крупной энергосистемы имеется 5 трансформаторов 220/380 кВ. Из-за возрастающей мощности потребителей эти

трансформаторы стали неустойчивы в режиме короткого замыкания (рис. 2.24). Возможные варианты действий в этой ситуации:

- 1)  $d_{11}$  – снижение мощности короткого замыкания;
- 2)  $d_{21}$  – снижение питающей мощности;
- 3)  $d_{22}$  – исключение объектов с заземленной нейтралью;
- 4)  $d_{23}$  – введение устройства, ограничивающего токи короткого замыкания;
- 5)  $d_{12}$  – оперативная замена всех трансформаторов на более мощные;
- 6)  $d_{13}$  – дальнейшая эксплуатация без изменений;
- 7)  $d_{31}$  – замена трансформатора в течение первого года;
- 8)  $d_{32}$  – замена трансформатора в течение второго года;
- 9)  $P_1$  – авария с одним из трансформаторов в течение первого года;
- 10)  $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6, C_7, C_8, C_9$  – экономические затраты.

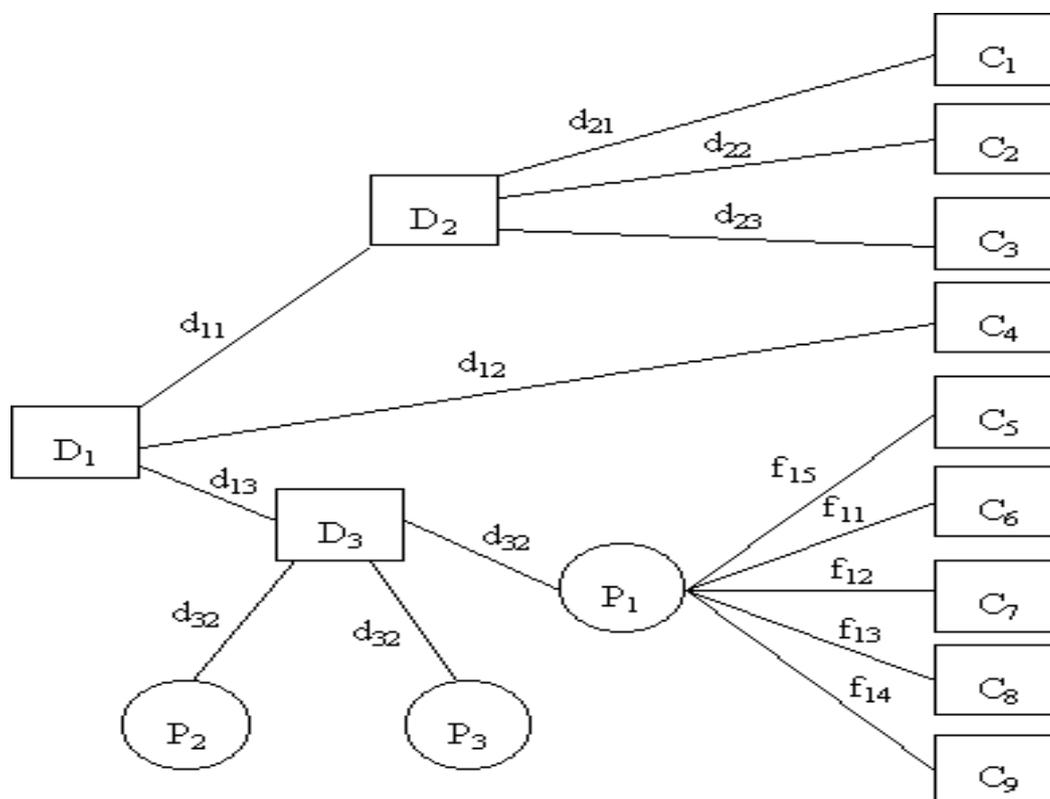


Рис. 2.24. Пример дерева решений для подстанции энергосистемы

## 2.10. Многокритериальная оптимизация

В случае многокритериальной задачи необходимо найти экстремум не по одному, а по нескольким критериям. Сложность этой задачи выше, чем двух предыдущих. Если учитывать внешние воздействия, то сложность еще больше. Проблема в том, что получить решение одновременно макси-

мизирующее (минимизирующее) несколько критериев невозможно. При этом отдельные критерии подвергаются максимизации, другие – минимизации.

Предположим, что имеются два критерия –  $f_1(X)$  и  $f_2(X)$ . Требуется их минимизировать (рис. 2.25).

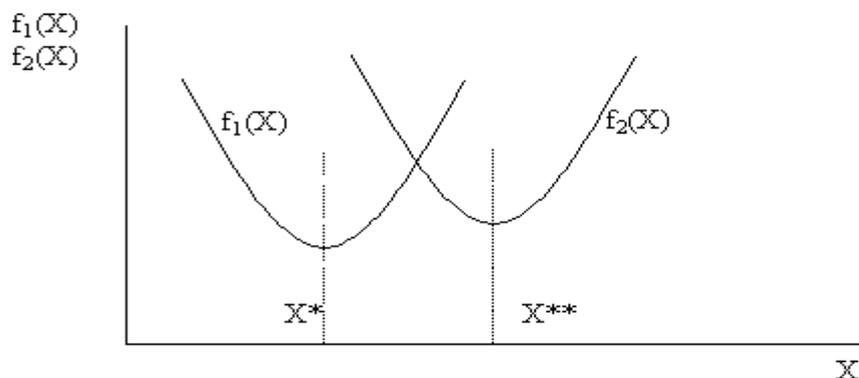


Рис. 2.25. Критерии  $f_1(X)$  и  $f_2(X)$

*Свойства задач принятия решения со многими критериями*

1. Не существует наилучшего результата в абсолютном смысле.
2. Решение может считаться лучшим лишь для конкретного ЛПР с учетом его предпочтений.
3. Для нахождения наилучшего результата должна строиться многокритериальная модель.

Модель создается для уточнения предпочтений ЛПР. Она должна быть логически непротиворечивой и должна включать в себя основные свойства решаемой задачи. Кроме того, модель должна допускать возможность получать информацию от экспертов и ЛПР.

*Формирование множества критериев*

Количество критериев должно охватывать все особенности решаемой задачи. Число критериев считается полным и достаточным, если прибавление нового критерия не изменит результата решения, а отбрасывание критерия этот результат меняет. Все критерии не должны сильно коррелировать друг с другом. Степень корреляции между  $\mu$ - и  $\nu$ -критериями можно определить по следующей формуле:

$$K_{\mu\nu} = \frac{I_{\mu\nu} - I_{\mu}I_{\nu}}{\sqrt{(I_{\mu\nu} - I_{\mu}^2)(I_{\mu\nu} - I_{\nu}^2)}};$$

$$I_{\mu} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f_{\mu}(x_i); \quad (2.29)$$

$$I_{\nu} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f_{\nu}(x_i);$$

$$I_{\mu\nu} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f_{\mu}(x_i) f_{\nu}(x_i),$$

где  $x_i$  – случайная точка,  $i = 1, \dots, N$ ;

$N \rightarrow \infty$ ;

$f_{\nu}(x), f_{\mu}(x)$  – критерии;

$N$  – число случайных испытаний.

Если  $K_{\mu\nu}$  приближается к 1, то это свидетельствует о сильной корреляции, и тогда необходимо рассмотреть вопрос об исключении одного из критериев.

Каждому критерию должна быть поставлена в соответствие своя шкала, которая может быть непрерывной или дискретной, количественной или качественной. Каждую шкалу будем обозначать буквой  $Z$ .

$Z_1 \times Z_2 \times \dots \times Z_n$  – декартово произведение, которое формирует пространство критериев, в котором имеет место множество векторных оценок. Между пространством параметров и пространством критериев существует соответствие (рис. 2.26).

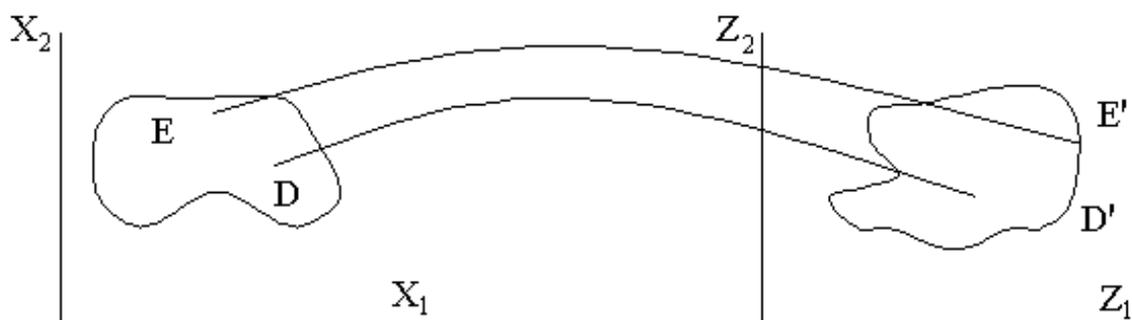


Рис. 2.26. Пространства параметров и критериев

### *Методология решения многокритериальных задач*

Суть процесса при принятии решения при наличии многих критериев заключается в нахождении принципа сравнения векторных оценок и вынесении суждения об их предпочтительности. Этот процесс может быть реализован в словесной форме, в виде алгоритма или аналитического выражения.

Примеры словесных форм.

1. Из двух векторных оценок предпочтительнее та, которая имеет хотя бы одну большие компоненты.

2. Одна векторная оценка предпочтительнее другой, если сумма ее компонент больше (все критерии максимизируются; размерность компонент должна быть одинаковой).

Пусть имеется матрица:

	Z1	Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>
B <sub>1</sub>	5	30	1
B <sub>2</sub>	8	4	2
B <sub>3</sub>	8	1	15
B <sub>4</sub>	8	10	16

Подобные принципы предпочтения называются эвристическими правилами. Согласно первому правилу выбираем B<sub>4</sub>, а согласно второму – B<sub>1</sub>.

Для сравнения векторных отношений используются бинарные отношения.

### 2.11. Свёртка как способ решения многокритериальной задачи

Свёртка – это способ представления нескольких критериев одним интегральным, т.е. общим. Существуют разные виды сверток, например, аддитивная свертка

$$F_1 = \sum_{i=1}^r a_i \times Z_i, \quad (2.30)$$

где  $a_i$  – весовые коэффициенты.

Эти коэффициенты трудно находить из-за разных размерностей критериев. Этому недостатка лишена свертка вида:

$$Q = \sum_{i=1}^r \mu_i \frac{Z_i^* - Z_i}{Z_i^* - Z_i^0}; \quad (2.31)$$

$$Q = \sum_{i=1}^r \rho_i \left( \frac{Z_i^* - Z_i}{Z_i^* - Z_i^0} \right)^2, \quad (2.32)$$

где  $Z_i^*$  – компоненты некоторого оптимального идеального вектора, который указывается ЛПР;

$Z_i^0$  – заведомо плохой вариант;

$\mu_i, \rho_i$  – весовые коэффициенты с тем же смыслом, что и  $a_i$ .

*Пример.* Пусть имеется 2 критерия  $Z_1$  и  $Z_2$ , весовые коэффициенты  $\mu_1 = \mu_2 = 0,5$  и  $\rho_1 = \rho_2 = 0,5$ . Надо найти решение в соответствии с уравнениями 2.31 и 2.32.

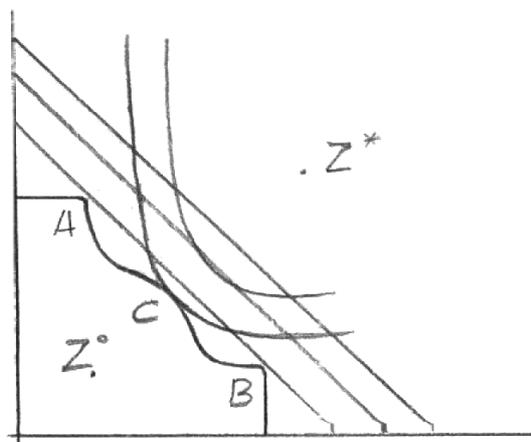


Рис. 2.27.

Наметим оптимальные точки  $Z^*$  и  $Z^0$ . Линии уровня в пространстве критериев для уравнения (2.31) представляют прямые линии, задаваемые уравнениями вида

$$\frac{Z_1^* - Z_1}{Z_1^* - Z_1^0} + \frac{Z_2^* - Z_2}{Z_2^* - Z_2^0} = h.$$

Аналогом такой линии будет прямая АВ и параллельные ей прямые в пространстве критериев.

Для уравнения (2.32) линии уровня представляют дуги окружностей:

$$\left( \frac{Z_1^* - Z_1}{Z_1^* - Z_1^0} \right)^2 + \left( \frac{Z_2^* - Z_2}{Z_2^* - Z_2^0} \right)^2 = e.$$

Центр окружности – в точке  $Z^*$ .

Пользуясь сверткой (2.31), в качестве результата получим две равноценные точки А и В. Пользуясь сверткой (2.32), имеем одну точку С. Изменяя весовые значения критериев, меняем угол наклона прямых для (2.31) или получаем оси эллипса для (2.32).

## 2.12. Моделирование как метод системного анализа

Одной из проблем, с которой часто сталкиваются при проведении системного анализа, является проблема эксперимента в системе или

над системой. Очень редко это разрешено моральными законами или законами безопасности, но сплошь и рядом связано с материальными затратами и (или) значительными потерями информации.

Практический опыт всей человеческой деятельности учит: в таких ситуациях надо экспериментировать не над объектами, интересующими нас, а над их моделями. Под этим надо понимать не обязательно модель физическую, т. е. копию объекта в уменьшенном или увеличенном виде. В частности, в социальных системах (в том числе экономических) приходится прибегать к математическому моделированию.

Допустим, требуется найти площадь прямоугольника со сторонами 2 и 8 метров. Измерение сторон произведено приближенно. Как решить эту задачу? Конечно же, не путем рисования прямоугольника (даже в уменьшенном масштабе) и последующем разбиением его на квадратики с окончательным подсчетом их числа. Да, безусловно, мы знаем формулу  $S = B \times H$  и воспользуемся ею – применим математическую модель процесса определения площади.

Иногда здесь возможна подсказка природы, знание технологии системы; в ряде случаев может выручить эксперимент над реальной системой или ее элементами (т. н. методы планирования экспериментов) и, наконец, иногда приходится прибегать к методу «черного ящика», предполагая некоторую статистическую связь между его входом и выходом.

Конечно, возможны ситуации, когда все процессы в большой системе описываются известными законами природы и когда можно надеяться, что запись уравнений этих законов даст нам математическую модель хотя бы отдельных элементов или подсистем. Но и в этих, редких, случаях возникают проблемы не только в плане сложности уравнений, невозможности их аналитического решения (расчета по формулам). Дело в том, что в природе трудно обнаружить примеры «чистого» проявления ее отдельных законов – чаще всего сопутствующие явление факторы «смазывают» теоретическую картину.

Еще одно важное обстоятельство приходится учитывать при математическом моделировании. Стремление к простым, элементарным моделям и вызванное этим игнорирование ряда факторов может сделать модель неадекватной реальному объекту, грубо говоря, сделать ее неправдивой. Без активного взаимодействия с технологами, специалистами в области законов функционирования систем данного типа, при системном анализе не обойтись.

В экономических системах, представляющих для нас основной интерес, приходится прибегать, большей частью, к математическому моделированию, правда, в специфическом виде: с использованием не только количественных, но и качественных, а также логических показателей.

Из хорошо себя зарекомендовавших на практике можно упомянуть модели межотраслевого баланса, роста, планирования экономики, прогнозистические модели равновесия и ряд других.

Завершая ответ на вопрос о моделировании при выполнении системного анализа, резонно поставить вопрос о соответствии используемых моделей реальности. Это соответствие, или адекватность, может быть очевидным или даже экспериментально проверенным для отдельных элементов системы. Но уже для подсистем, а, тем более, системы в целом существует возможность серьезной методической ошибки, связанная с объективной невозможностью оценить адекватность модели большой системы на логическом уровне.

Иными словами, в реальных системах вполне возможно логическое обоснование моделей элементов. Эти модели мы как раз и стремимся строить минимально достаточными, простыми настолько, насколько это возможно без потери сущности процессов. Но логически осмыслить взаимодействие десятков, сотен элементов человек уже не в состоянии. Именно здесь может сработать известное в математике следствие из знаменитой теоремы Гёделя: в сложной системе, полностью изолированной от внешнего мира, могут существовать истины, положения, выводы вполне допустимые с позиций самой системы, но не имеющие никакого смысла вне этой системы.

То есть, можно построить логически безупречную модель реальной системы с использованием моделей элементов и производить анализ такой модели. Выводы этого анализа будут справедливы для каждого элемента, но ведь система – это не простая сумма элементов, и ее свойства не просто сумма свойств элементов. Отсюда следует вывод, что без учета внешней среды выводы о поведении системы, полученные на основе моделирования, могут быть вполне обоснованными при взгляде изнутри системы. Но не исключена ситуация, когда эти выводы не имеют никакого отношения к системе – при взгляде на нее со стороны внешнего мира.

Но как на основании системного анализа выбранной модели ответить на простейший вопрос: каков вклад каждой из подсистем в полученные фактические результаты? А, если есть числовые описания этих вкладов, то каково доверие к ним? Ведь управляющие воздействия на систему можно производить только через некоторые периоды времени.

Существующие современные методы математической статистики позволяют ответить на вопрос, с каким доверием, использовать данные моделирования. Если эти показатели доверия для нас достаточны, мы можем использовать модель для ответа на поставленные выше вопросы.

### 2.13. Моделирование систем массового обслуживания

Достаточно часто при анализе экономических систем приходится решать задачи массового обслуживания, возникающие в следующей ситуации. Пусть анализируется система технического обслуживания автомобилей, состоящая из некоторого количества станций различной мощности. На каждой из станций (элементах системы) могут возникать, по крайней мере, две типичных ситуации:

- 1) число заявок слишком велико для данной мощности станции: возникают очереди, и за задержки в обслуживании приходится платить;
- 2) на станцию поступает слишком мало заявок, и теперь уже приходится учитывать потери, вызванные простоем станции.

Цель системного анализа в данном случае заключается в определении некоторого соотношения между потерями доходов по причине очередей и потерями по причине простоя станций, такого соотношения, при котором математическое ожидание суммарных потерь окажется минимальным.

Специальный раздел теории систем – теория массового обслуживания – позволяет:

- 1) использовать методику определения средней длины очереди и среднего времени ожидания заказа в тех случаях, когда скорость поступления заказов и время их выполнения заданы;
- 2) найти оптимальное соотношение между издержками по причине ожидания в очереди и издержками простоя станций обслуживания;
- 3) установить оптимальные стратегии обслуживания.

Обратим внимание на главную особенность такого подхода к задаче системного анализа – явную зависимость результатов анализа и получаемых рекомендаций от двух внешних факторов: частоты поступления и сложности заказов (а значит – времени их исполнения).

Но это уже связи нашей системы с внешним миром и без учета этого факта нам не обойтись. Потребуется провести исследования потоков заявок по их численности и сложности, найти статистические показатели этих величин, выдвинуть и оценить достоверность гипотез о законах их распределения. Лишь после этого можно пытаться анализировать то, как будет вести себя система при таких внешних воздействиях, как будут меняться ее показатели (значение суммарных издержек) при разных управляющих воздействиях или стратегиях управления.

Очень редко при этом используется сама система, производится натуральный эксперимент над ней. Чаще всего такой эксперимент связан с риском потерь заказчиков или неоправданными затратами на создание дополнительных станций обслуживания.

Поэтому следует помнить о таком особом подходе к вопросу моделирования систем, как метод статистических испытаний или метод Монте-Карло.

Вернемся к примеру с анализом работы станций обслуживания. Пусть у нас всего лишь одна такая станция и заранее известны следующие показатели:  $\lambda$  – средняя скорость поступления заказов;  $\mu$  – средняя скорость выполнения заказов (штук в единицу времени), и таким образом задана величина  $\beta = \lambda / \mu$  – интенсивность нагрузки станции.

Уже по этим данным оказывается возможным построить простейшую модель системы. Обозначим  $X$  число заказов, находящихся в очереди на обслуживании в единицу времени, и попытаемся построить схему случайных событий для определения вероятности  $P(X)$ .

Событие – в очереди находятся точно  $X$  заказов может наблюдаться в одной из четырех ситуаций:

1) в очереди было  $X$  заказов ( $A_1$ ), за это время не поступило ни одного нового заказа ( $A_2$ ), и за это же время не был выполнен ни один заказ из находящихся в работе ( $A_3$ );

2) в очереди было  $X - 1$  заказов ( $B_1$ ), за это время поступил один новый заказ ( $B_2$ ), и за это же время не был выполнен ни один заказ из находящихся в работе ( $B_3$ );

3) в очереди было  $X + 1$  заказов ( $C_1$ ), за это время не поступило ни одного нового заказа ( $C_2$ ), и за это же время был выполнен один заказ из находящихся в работе ( $C_3$ );

4) в очереди было  $X$  заказов ( $D_1$ ), за это время поступил один новый заказа ( $D_2$ ), и за это же время был выполнен один заказ из находящихся в работе ( $D_3$ ).

Такая схема событий предполагает особое свойство «технологии» нашей системы – вероятность поступления более одного заказа за рассматриваемую единицу времени и вероятность выполнения более одного заказа за то же время считаются равными нулю. Это допустимо, т. к. длительность отрезка времени всегда можно уменьшить до необходимых пределов.

Перемножая вероятности событий  $A_1, \dots, A_3; B_1, \dots, B_3; C_1, \dots, C_3; D_1, \dots, D_3$ , мы определим вероятности каждого из вариантов интересующего нас события – в течение заданного нами интервала времени длина очереди не поменялась.

Несложные преобразования суммы вероятностей всех четырех вариантов такого события приведут нас к следующему выражению для вероятности длины очереди в  $X$  заказов:

$$P(X) = \beta^x (1 - \beta), \quad (2.33)$$

а также для математического ожидания длины очереди:

$$M_X = \beta (1 - \beta). \quad (2.34)$$

Оценить полезность такого моделирования позволят простые примеры. Пусть мы решили иметь половинную (50 %) интенсивность нагрузки станции, то есть вдвое «завысили» ее пропускную способность по отношению к потоку заказов.

Тогда для  $\beta = 0,5$  имеем данные, представленные в табл. 1.

Таблица 1

Очередь	0	1	2	3	4 и более
Вероятность	0,5	0,25	0,125	0,0625	0,0652

Обобщим полученные результаты:

1) вероятность отсутствия очереди оказалась точно такой же, как и вероятность ее наличия;

2) очередь в 4 и более заказа практически не вероятна;

3) математическое ожидание очереди составляет ровно 1 заказ.

ЛПР вправе принять такую интенсивность или отказаться от нее, но все же у него есть определенные показатели последствий такого решения.

Полезно проанализировать ситуации с другими значениями интенсивности нагрузки станции (табл. 2).

Таблица 2

$\beta$	1 / 2	3 / 4	7 / 8	15 / 16
$M_x$	1	3	7	15

Теперь обратим внимание еще на одно обстоятельство: мы полагали известной информацию только о средней скорости (ее математического ожидания) выполнения заказов. Иными словами, мы считали время выполнения очередного заказа не зависящим ни от его содержания (помыть автомобиль или ликвидировать последствия аварии), ни от числа заказов, стоящих в очереди.

В реальной жизни это возможно не всегда, а хотелось бы хоть как-то учесть такую зависимость. И здесь теория приходит на помощь (тому, кто понимает ее возможности).

Если нам представляется возможность установить не только среднюю или ожидаемую скорость обработки заказа ( $\mu$ ), но и разброс этой величины

$D_\mu$  (дисперсию), то можно будет оценить среднее число заказов в очереди более надежно:

$$M_X = (\lambda / \mu) + (0,5 \lambda^2 D_\mu + \beta^2) / (1 - \beta) . \quad (2.35)$$

## 2.14. Моделирование в условиях противодействия, модели торгов

К данному классу относятся задачи анализа систем с противодействием (конкуренцией), игровых по сути, но с одной особенностью: «правила игры» не постоянны в одном единственном пункте – цены того, что продается.

При небольшом числе участников торгов вполне пригодны описанные ранее приемы теории игр, но когда число участников велико и, что еще хуже, заранее неизвестно, приходится использовать несколько иные методы моделирования ситуаций в торгах.

Наиболее часто встречаются два вида торгов:

1) закрытые торги, в которых два или более участников независимо друг от друга предлагают цены (ставки) за тот или иной объект; при этом участник имеет право лишь на одну ставку, а ведущий торги принимает высшую (или низшую) из предложенных;

2) открытые торги, или аукционы, когда два или более участников поднимают цены до тех пор, пока новой надбавки уже не предлагается.

Рассмотрим сначала простейший пример закрытых торгов. Пусть мы (А) и наш конкурент (В) участвуем в закрытых торгах по двум объектам суммарной стоимости  $C_1 + C_2$ . Мы располагаем свободной суммой  $S$  и нам известно, что точно такой же суммой располагает наш конкурент. При этом  $S < C_1 + C_2$ , то есть купить оба объекта без торгов не удастся. Мы должны назначить свои цены  $A_1, A_2$  за первый и второй объекты втайне от конкурента, который предложит за них же свои цены  $B_1, B_2$ . После оглашения цен объект достанется предложившему большую цену, а если они совпали – по жребию. Предположим, что и мы, и наш конкурент владеем методом выбора наилучшей стратегии (имеем соответствующее образование). Можно доказать, что при равных свободных суммах с нашей и с противоположной стороны существует одна, оптимальная для обеих сторон стратегия назначения цен. Сущность ее (скажем, для нас) определяется из следующих рассуждений. Если нам удастся купить первый объект, то наш доход составит  $(C_1 - A_1)$  или же, при покупке второго, мы будем иметь доход  $(C_2 - A_2)$ . Значит, в среднем мы можем ожидать прибыль

$$d = 0,5 (C_1 + C_2 - A_1 - A_2) = 0,5 (C_1 + C_2 - S). \quad (2.36)$$

Таким образом, нам выгоднее всего назначить следующие цены:

$$\begin{aligned} A_1 &= C_1 - d = 0,5 (C_1 - C_2 + S) \\ A_2 &= C_2 - d = 0,5 (C_2 - C_1 + S) \end{aligned} \quad (2.37)$$

Если же одна из них по расчету окажется отрицательной, выставим ее нулевой и вложим все деньги в цену за другой объект.

Но и наш конкурент, имея ту же свободную сумму и рассуждая точно так же, назначит за объекты точно такие же цены. Если конкурент не владеет профессиональными знаниями, мы будем иметь доход больший, чем у конкурента.

*Пример.* Сумма свободных средств составляет по 10 000 рублей у каждого, цена первого объекта равна 7500 руб., второго – 10 000 рублей. Назначим цену за первый объект:

$$0,5 (7500 - 10\,000 + 10\,000) = 3750 \text{ руб.},$$

а за второй:

$$0,5 (10\,000 - 7500 + 10\,000) = 6250 \text{ руб.}$$

Наш доход при выигрыше первого или второго объекта составит 3750 руб. Такой же доход ожидает и конкурента, если он выбрал такую же оптимальную стратегию. Но если он так не поступил и назначил цену за первый объект 3500 руб., а за второй 6000 руб. (пытаясь сэкономить), то в таком случае мы можем выиграть торги по двум объектам сразу и будем иметь доход уже в 7500 руб., приобретая имущество общей стоимостью в 17 500 за цену в 10 000 рублей.

Конечно, если стартовые суммы участников торгов неодинаковы, число объектов и число участников велико, то задача поиска оптимальной стратегии становится более сложной, но все же имеет аналитическое решение.

Рассмотрим теперь второй вид задачи – об открытых торгах (аукционах). Пусть все те же два объекта (с теми же стоимостями) продаются с аукциона, в котором участвуем мы и наш конкурент.

В отличие от первой задачи свободные суммы различны и составляют  $S_A$  и  $S_B$ , причем каждая из них меньше  $(C_1 + C_2)$  и, кроме того, отношение нашей суммы к сумме конкурента более 0,5, но менее 2.

Пусть мы знаем «толщину кошелька» конкурента, и, поскольку ищем оптимальную стратегию для себя, нам безразлично – знает ли он то же о наших финансовых возможностях.

Задача наша заключается в том, что мы должны знать, когда надо прекратить поднимать цену за первый объект. Эту задачу не решить, если мы не определим цель своего участия в аукционе (системный подход, напомним, требует этого). Здесь возможны следующие варианты:

- 1) мы хотим иметь максимальный доход;

- 2) мы стремимся минимизировать доход конкурента;
- 3) мы желаем максимизировать разницу в своих доходах и доходах конкурента.

Наиболее интересен третий вариант ситуации – найти нашу стратегию, обеспечивающую оптимальное решение:

$$D_A - D_B = \max. \quad (2.38)$$

Поскольку объектов всего два, то все решается в процессе торгов за первый объект. Будем рассматривать свой ход в ответ на очередное предложение цены  $X$  за этот объект со стороны конкурента.

Мы можем использовать две стратегии, поступить двумя способами:

- 1) стремиться уступить первый объект конкуренту за наибольшую цену, надеясь купить второй;
- 2) стремиться купить первый объект за минимальную цену, уступив конкуренту второй.

Пусть конкурент назначил за первый объект очередную сумму  $X$ . Если мы не добавим небольшую сумму (минимальную надбавку  $\Delta$ ), то первый объект достанется конкуренту. При этом у конкурента в запасе останется сумма  $S_B - X$ . Доход конкурента составит при этом (без учета  $\Delta$ )

$$D_B = C_1 - X.$$

Мы наверняка купим второй объект, если у нас в кармане

$$S_A = (S_B - X) + \Delta,$$

то есть немного больше, чем осталось у конкурента. Значит, мы будем иметь доход

$$D_A = C_2 - (S_B - X)$$

и разность доходов в этом случае составит

$$D_A - D_B = C_2 - C_1 - S_B + 2X. \quad (2.39)$$

Ясно, что эта разность будет положительной только тогда, когда мы уступим первый объект за цену

$$X > (C_1 - C_2 + S_B) / 2, \quad (2.40)$$

но никак не меньше.

Будем повышать цену за первый объект до суммы  $X + \Delta$  с целью купить его. Наш доход составит при этом  $D_A = C_1 - (X + \Delta)$ .

Второй объект достанется конкуренту за сумму  $S_A - (X + \Delta) + \Delta$ , так как ему придется поднять цену за этот объект до уровня чуть большего, чем остаток денег у нас.

Доход конкурента составит  $D_B = C_2 - (S_A - (X + \Delta) + \Delta)$ , а разность доходов составит (без учета  $\Delta$ ):

$$D_A - D_B = (C_1 - X) - (C_2 - S_A + X) = C_1 - C_2 + S_A - 2X. \quad (2.41)$$

Эта разность будет положительна при условии

$$X < (C_1 - C_2 + S_A) / 2. \quad (2.42)$$

Мы нашли две контрольные суммы для того, чтобы знать, когда надо пользоваться одной из двух доступных нам стратегий – выражения (2.40) и (2.42). Среднее этих величин составит:

$$K = (C_1 - C_2) / 2 + (S_A - S_B) / 4 \quad (2.43)$$

и определит разумную границу для смены стратегий нашего участия в аукционе с целью одновременно получить больший доход, чем у конкурента.

Интересно сосчитать свой доход и разность доходов на этой границе. Если мы уступили первый объект на этой границе, то по (2.39):

$$D_A - D_B = C_2 - C_1 - S_B + 2K = 0,5(S_A - S_B).$$

Если же мы купили первый объект на этой границе, то по (2.42):

$$D_A - D_B = C_1 - C_2 + S_A - 2K = 0,5(S_A - S_B).$$

Для удобства сопровождения числовыми данными зададимся свободными суммами и ценами объектов (по нашему представлению об этих объектах):  $S_A = 100 < 175$ ;  $S_B = 110 < 175$ ;  $C_1 = 75$ ;  $C_2 = 100$ ;

$0,5 < S_A / S_B < 2$ , и примем разрешенную надбавку к цене равной 1.

В этом конкретном случае граница «сражения» за первый объект проходит через сумму

$$K = -12,5 + 52,5 = 40.$$

Если наш конкурент считает, что объекты для него стоят столько же (он знает нашу свободную сумму, а мы знаем его свободную сумму, но другой информации ни мы, ни он не обладаем), то он вычислит эту же границу, и мы будем довольствоваться разностью доходов не в свою пользу:

$$D_A - D_B = C_1 - C_2 + S_A - 2K = 0,5(S_A - S_B) = -5.$$

Но, возможно, наш конкурент (играя за себя) будет считать стоимости объектов совсем иными, и для него граница будет совсем другой. Или же

цель конкурента в данном аукционе совершенно не такая, как наша, что также обусловит другую граничную сумму участия в торгах за первый объект. Иными словами – оптимальная стратегия для конкурента нам совершенно неизвестна.

Тогда все зависит от того, на какой сумме он «отдаст» нам первый объект или, наоборот, до какой границы он будет «сражаться» за него. Табл. 3 иллюстрирует этот вывод.

Таблица 3

Границы торга конкурентов А и В

Граница 1 торга за объект	Владелец 1 объекта	Доход $D_A$	Доход $D_B$	Разность $D_A - D_B$
20	А	55	20	35
30	А	45	30	10
35	А	40	35	5
40	А	35	40	-5
40	В	25	35	-5
45	В	35	30	5
50	В	40	25	15
55	В	45	20	25
60	В	50	15	40
75	В	75	0	75

Заканчивая вопрос об открытых торгах – аукционах, отметим, что в реальных условиях задача моделирования и выбора оптимальной стратегии поведения оказывается весьма сложной. Дело не только в том, число объектов может быть намного больше двух, а, что касается числа участников, то оно также может быть большим и даже не всегда известным заранее. Это приведет к чисто количественным трудностям при моделировании «вручную», но не сыграет особой роли при использовании компьютерных программ моделирования.

Дело в том, что ситуация усложняется неопределенностью, стохастичностью поведения наших конкурентов. Поэтому придется иметь дело не с самими величинами (заказываемыми ценами, доходами и т. д.), а с их математическими ожиданиями, вычисленными по вероятностным моделям или со средними значениями, найденными по итогам наблюдений или статистических данных.

### Контрольные вопросы

1. На каких науках базируется теория принятия решений?
2. Укажите лиц, принимающих участие в процессе принятия решений.
3. Какие факторы усложняют процесс принятия решений?
4. Укажите условия транзитивности.
5. Какие факторы влияют на результат процесса принятия решений?
6. Какие особенности информации учитываются в процессе принятия решений?
7. Какие математические понятия используются в процессе принятия решений?
8. Что такое допустимая область?
9. Как называется функция, экстремальная точка которой обычно определяется в процессе принятия решений?
10. Из анализа графика целевой функции определить количество ее экстремумов (минимумов и максимумов).
11. Рассчитать значение градиента функции  $y = ax_1^n + bx_2^m$  в точке с координатами  $(x_1', x_2')$ .
12. Рассчитать значение градиента функции  $y = ax_1^n + bx_2^m + cx_3^k$  в точке с координатами  $(x_1', x_2', x_3')$ .
13. Методом сканирования найти максимум целевой функции  $y = ax_1 + bx_2$  при ограничениях  $d \geq x_1 \geq c, g \geq x_2 \geq f$ . В методе сканирования использовать  $\Delta x$  по  $x_1$  равный  $\Delta x_1$ ; по  $x_2 - \Delta x_2$ .
14. Методом сканирования найти минимум целевой функции  $y = ax_1 + bx_2$  при ограничениях  $d \geq x_1 \geq c, g \geq x_2 \geq f$ . В методе сканирования использовать  $\Delta x$  по  $x_1$  равный  $\Delta x_1$ ; по  $x_2 - \Delta x_2$ .
15. Как называются линии, где значение целевой функции постоянно:
  - а) биссектрисы;
  - б) медианы;
  - в) линии одного уровня;
  - г) изолинии;
  - д) хорды;
  - е) линии равного уровня?

16. Методом Куна-Таккера найти экстремум целевой функции  $z = ax_1 + bx_2$  при следующих ограничениях:  $x_1 - x_2 \geq 0$ ,  $x_2 - x_1^2 \geq 0$ .

17. Дана платежная матрица  $4 \times 3$  или  $4 \times 4$ . Решая задачу максимизации найти лучший вариант, используя один из предложенных критериев (Максиминна, Байеса-Лапласа (внешние состояния равновероятны), Сэвиджа).

### 3. ПРОЦЕССЫ И ПРОЦЕССНЫЙ ПОДХОД

#### 3.1. Понятия «процессы» и «процессный подход»

Понятие «процессный подход» появилось впервые после выхода в свет новой версии международных стандартов ИСО 9000:2000. Разработка новой версии стандартов о качестве была весьма актуальна, так как прежняя версия стандарта ИСО 9000:94 имела явные недостатки по разработке и внедрению структур «систем качества», связанные с их статичностью, даже застойностью. В старой версии отсутствовали два важнейших компонента, которые создают систему управления качеством перспективы, отражают динамику развития всей структуры системы: улучшение качества и процессный подход. И дело не в том, что элементы прежней системы качества были плохими или неудачными, просто отсутствовали элементы развития. В подавляющем большинстве эти 20 элементов можно увидеть в той или иной форме и в новой версии стандарта. Новый стандарт снял ограничения на свободу выбора такой системы менеджмента качества (СМК), структура которой создается не только для действующей технической документации на продукцию, а с учетом видения новой продукции, способной удовлетворить потребителя в будущем [6].

Под «процессным подходом» в ИСО 9001:2000 понимается такое функционирование организации, при котором она должна «определить и управлять многочисленными взаимосвязанными видами деятельности». При этом «деятельность, использующая ресурсы и управляемая с целью преобразования входов в выходы, может рассматриваться как процесс». Модель, основанная на таком процессном подходе, приведена на рис. 3.1.



Рис. 3.1. Модель системы менеджмента качества, основанная на процессном подходе (ИСО 9000:2000)

В ИСО 9004:96 определено, что всякая работа выполняется как процесс. Существуют две точки зрения на то, что представляет собой процесс:

- 1) организация ресурсов,
- 2) организационная деятельность.

В литературе по управлению качеством достаточно много различных толкований понятия «процесс». Так, например, «процесс – некоторая логическая последовательность связанных действий, которая преобразует вход в результаты или выход» [7], либо «процесс – последовательность исполнения функций (работ, операций), направленных на создание результата, имеющего ценность для потребителя» [8]. Определение по ИСО 9000:2000 звучит несколько шире: «Процесс – совокупность взаимосвязанных или взаимодействующих видов деятельности, преобразующих входы в выходы». Такая деятельность может быть любого рода: планирование, производство, торговля, исследование, администрирование и т. д.

Во всех этих толкованиях процесса появляются понятия «деятельность», «работа», то есть занятие делом. В этом случае, вероятно, удобно применять уже термин «бизнес-процесс» (или деловой процесс). В литературе бизнес-процесс определяется как «цепь логически связанных, повторяющихся действий, в результате которых используются ресурсы предприятия для переработки объекта с целью достижения определенных результатов для удовлетворения внутренних или внешних потребителей» [9]. Это определение очень близко к определению по ИСО 9000:2000. Поэтому принимается, что в процессном подходе к управлению качеством участвуют только бизнес-процессы как процессы деятельности, в связи с чем далее в настоящей работе под термином «процесс» понимается «бизнес-процесс».

При разработке процессов следует руководствоваться основными правилами ведения бизнеса [8, 9, 10].

Процессы должны быть:

- 1) непрерывными, последовательными, документально оформленными;
- 2) нацеленными на создание результата, имеющего ценность для потребителя;
- 3) контролируруемыми, то есть обеспеченными точками, методами и средствами контроля;
- 4) рационально выстроенными, чтобы исключить «возвраты» или лишние и неэффективные операции;
- 5) снабжены каналами передачи информации и пр.

Процесс является объектом управления, для чего необходимо предусмотреть наличие следующих факторов:

- 1) ресурсы, необходимые для функционирования процессов с заданной эффективностью и результативностью;
- 2) средства и способы достижения запланированных результатов и установленных целей;
- 3) процедуры управления изменениями процессов;
- 4) порядок действий и принятия решений в случае появления несоответствия или сбоев в процессе и т. д.

Впервые схему процесса в виде модели «черного ящика», в котором есть вход и выход, предложил известный кибернетик Н. Винер еще в середине прошлого века (рис. 3.2) [11]. При этом входы в общем случае представляют собой сырье, энергию, исполнителей, документацию и информацию, инструменты и оборудование, условия окружающей среды, а выходами служат продукция, услуги, решения, информация и прочее.



Рис. 3.2. Модель процесса в виде «черного ящика»

Понятие «процессная ориентация» впервые было описано М. Портером. Он считал, что взаимодействие между звеньями цепи, в которой создается ценность, – главный принцип деятельности организации. Э. Деминг в процессную ориентацию внес свой вклад, введя понятие поточной диаграммы, отражающей взаимосвязи внутри фирмы – от поставщика до потребителя – как процесс, который может быть измерен и улучшен подобно любому другому процессу [12].

В дальнейшем подход ориентации на бизнес-процессы был оценен известными специалистами в области качества (Т. Девенпорт, Д. Шорт, М. Хаммер) как особо важный шаг для достижения успехов в деятельности организации. М. Хаммер ввел термин «реинжиниринг» для описания развития организации, ориентированной на потребителей и базирующейся на стратегических бизнес-процессах. Он считал, что процессная ориентация поможет организации преодолеть проблемы перехода от функциональной деятельности к перекрестно-функциональной как ключевой деятельности организации. Хаммер также считал, что внутрифирменная культура, ориентированная на бизнес-процессы, базируется на системном мышлении и нацеливает процессы фирмы на потребителя и перекрестно-функциональную деятельность.

Т. Девенпорт расширил это понятие, представив взгляд на процесс как на совокупность элементов, касающихся структуры процесса, его направленности, способов измерения, а также владельцев и потребителей процесса. Он подчеркнул особое значение обязательств по постоянному улучшению процессов и систем сбора информации о них, считая процессы основными компонентами корпоративной (внутрифирменной) культуры.

М. Хаммер описал процессное мышление в виде четырех категорий, базирующихся на перекрестном функционировании и нацеленных на конечные результаты организации: бизнес-процессы, выполняемые работы и структуры, процессы измерения и системы измерения, ценности и убеждения.

Заслуживают внимания также взгляды Б. Андерсена на функциональный и процессный подходы к управлению [см. 7]. Отвечая на свой же вопрос: «Что же представляет собой организация (компания): совокупность отделов или совокупность процессов?», автор отмечает, что с ростом индустриализации, когда появились крупные предприятия со значительным числом работников, стало нецелесообразно содержать универсальных работников для выполнения любой работы. Сама работа стала настолько сложной, что каждый рабочий, чтобы повысить производительность труда, был вынужден специализироваться на выполнение каких-то отдельных операций. Появилась необходимость организовывать отделы, состоящие из работников родственной специальности. Такие отделы стали называть функциональными, а саму структуру управления – функциональной (или линейно-функциональной). Подобная система давала определенные преимущества:

1) сотрудники получили возможность специализироваться в избранной ими профессии и таким образом выработать профессиональные навыки высочайшего уровня;

2) вследствие централизации разных функций затраты организации снизились;

3) труд стал более безопасным, так как каждый теперь знал свое рабочее место, а также ту работу, которую он должен выполнять;

4) стало легче формировать организационную структуру компании и т.д.

Со временем увеличение специализации привело к обособлению функциональных подразделений и ограничению межфункциональных связей. Каждое функциональное подразделение стало оптимизировать деятельность в области своей ответственности, что, в конечном счете, выразилось в подмене стратегической цели компании целевыми функциями подразделений и стало тормозить их развитие.

Недостатки функционального подхода привели к переориентации компаний с функционального управления на процессный подход к управлению организации по следующим причинам:

1) создание ценности по отношению к конечной продукции сосредоточено в процессах;

2) определение границ процесса, а также поставщиков и потребителей, позволит обеспечить лучшее взаимодействие и понимание требований, которые следует удовлетворить;

3) при управлении целостным процессом, который проходит сквозь множество отделов, снижается риск субоптимизации;

4) при назначении владельцев процесса удастся избежать распределения ответственности по фрагментам, что часто бывает на специализированных предприятиях и т. д.

В отечественной литературе также в основном критикуется функциональный подход как не отражающий специфику современного производства [13-16]. Можно выделить и обобщить основные недостатки функционального подхода:

1) обособленность функциональных подразделений друг от друга, приводящая к монополизации решений;

2) возрастающая конкуренция функциональных подразделений внутри организации вместо сотрудничества;

3) высокая степень специализации работников по узкому кругу производственных вопросов, не позволяющая им видеть всю проблему в целом;

4) подмена целевых ориентиров организации на функциональные целевые ориентиры, приводящая к оптимизации функциональных решений вместо оптимизации результатов деятельности предприятия;

5) критерием результативности функционального подразделения является мнение его начальника, а не результаты делового процесса;

6) увеличение информационной энтропии с усложнением иерархии руководства;

7) отсутствие ориентации на внешнего потребителя;

8) неэффективность информационной поддержки процессов жизненного цикла, обусловленная наличием «лоскутной» автоматизации деятельности отдельных подразделений и неудачными попытками внедрения корпоративных информационных систем.

Прежде чем давать оценку неприемлемости функционального подхода, необходимо выявить, на какую экономику этот подход был нацелен изначально. Расцвет функционального управления предприятием приходится на советские времена. Централизованная государственная система планирования предусматривала годовой (и даже пятилетний) выпуск определенного вида продукции с гарантированным спросом в условиях вещевого дефицита. Система производства потребительской продукции была рассчитана на массовый выпуск однородных товаров, так как всякое увеличение ассортимента продукции приводило (в условиях фиксированных цен) к увеличению затрат. Планирование по объемам выпуска не оставляло места для борьбы за качество, экономии средств и удешевления стоимости продукции. На предприятиях действовала плановая «толкающая» система от поставщика к потребителю, в которой были четко определены объемы каждого периода. С целью страховки от риска срыва плана были предусмотрены громадные складские

запасы как товарной продукции, так и комплектующих изделий, что приводило к омертвлению капитала. Специализация производства не требовала высокой квалификации работ и способствовала низкой доле оплаты труда.

В связи с переходом к рыночной экономике изменилось почти все кроме структуры управления предприятиями. Рыночная экономика не имеет вещевого дефицита, ее главный заказчик – потребитель. А перестроились ли структуры управления на новую экономику? Нет, потому что «толкающая» система управления не перешла в «вытягивающую», при которой продукцию должен «вытягивать» потребитель. Большинство российских предприятий по-прежнему выпускают продукцию не по величине заказа, а до тех пор, пока не затоварятся склады. После длительной паузы в производстве наступает очередной период спроса. Для наверстывания упущенного предприятие начинает работать в лихорадочном режиме в условиях сверхурочной работы и пониженных требований к качеству. При этом теряются и финансовые, и материальные, и трудовые ресурсы.

Допустим, что предприятие начнет описывать все процессы, определит их владельцев, установит границы процессов, усилит информационную поддержку процессов. Можно ли это считать, что на предприятии внедряется процессный подход? На наш взгляд, нет, так как это не главное. Процессный подход – это когда процесс «вытягивает» потребитель (внешний или внутренний), т. е. не тогда, когда на входе процесса есть все условия для работы, а только тогда, когда на его выходе есть спрос на результаты этого процесса.

Очень трудно любому российскому автозаводу перейти на процессный подход, когда он не перешел на снабжение по системе «точно во время»; когда он выпускает изделия не для конкретных заказчиков, а на рынок (стихийный); когда его лихорадит затоваривание, омертвление оборотного капитала; когда он перепроверяет качество продукции нескольких сотен своих поставщиков; когда структура предприятия перегружена производственными подразделениями, работу которых давно уже надо было отдать специализированным предприятиям, не имеющим таких громадных накладных расходов, и т. д.

На кого же тогда были рассчитаны новые стандарты качества ИСО 9000:2000, которые безапелляционно требуют процессно-ориентированного управления не только системой качества, но и всей организацией? Нет сомнения, что в основу этих стандартов положен опыт ведущих мировых фирм, компаний и корпораций. За рубежом сегодня активно осваивается концепция «Бережливого производства», зачинателем которой была японская компания «Тойота» со своей системой «Канбан» еще в середине 80-х гг. XX в. Эта концепция не только направлена на максимальное сокращение непроизводительных затрат, но и постоянную реструктуризацию компании с целью сокращения расходов на единицу продукции. Все это сопровождается увеличением качества и повышением степени удовлетворенности потребителей, так как последние получают возможность купить товар именно такой конфигурации, которая им нужна, и

тогда, когда они этого хотят. Бережливое производство, используя ресурсы выделенных продуктовых команд, позволяет проектировать, заказывать и производить товары весьма малыми партиями, не тратясь попусту на увеличение масштабов производства [17].

Учитывая, что ведущие мировые компании уже давно работают по принципам процессного подхода, то с большой долей уверенности можно ответить, что требования новых стандартов качества рассчитаны на подтягивания средних зарубежных фирм к передовым, а для российских предприятий – на перспективу.

Если сегодня потребитель готов приобретать массовый автомобиль, массовый холодильник и т. д., то зачем внедрять процессный подход, когда функциональная система управления с этими справляется достаточно эффективно.

Другое дело, бороться с недостатками функционального управления, которые мешают выпускать более качественную продукцию. Например, надо уходить от обособленности функциональных подразделений, которая не способствует улучшению качества процессов и конструкций, увеличивает время отработки изделий, снижает потребительскую ценность продукции.

Необходимо развивать информационную поддержку процессов жизненного цикла изделия. Особенно с ориентацией на будущее, так как процессно-ориентированный подход требует мощного информационного обеспечения. Несмотря на бурный рост в России исследований и разработок в области информационных технологий, применение их в производстве как важного инструмента реализации процессов менеджмента очень ограничен. Российские предприятия непрерывно сталкиваются с проблемами, связанными с внедрением процессно-ориентированного подхода. Как же внедрять методологию функционального моделирования без должного информационного обеспечения? Необходимо не просто выпускать продукцию, а целиком сориентировать ее показатели на внешнего потребителя, следить за тенденциями спроса на товарном рынке, внедрить «мгновенную переналадку» процессов, учитывать сезонность, больше вкладывать в продукцию интеллектуальной собственности.

На наш взгляд, сегодня процессно-ориентированное управление может принести наибольшую пользу на предприятиях с малой серийностью производства, учитывая, что принципы процессного подхода очень близки к специфике производства по заказу: например, процесс «вытягивает» потребитель; практически весь процесс выполняется на одном рабочем месте и, чаще всего, под руководством одного лица; нет проблем с взаимодействием при управлении процессами; легко очертить границы процесса; входы и выходы процесса имеют четкую обратную связь и т. д.

Необходимо найти методы убеждения руководителей этих предприятий в эффективности применения процессного подхода, разработать региональные программы обучения руководителей современным инструментам качества. Конечно, это должно сопровождаться повальным обучением персонала и беспощадной борьбой с браком и непроизводительными затратами.

Вступление России во Всемирную Торговую Организацию, несомненно, ускорит процесс внедрения стандартов качества с ориентацией на процессный подход. Не надо насильно внедрять прогрессивные методы на предприятиях, выпускающих массовую продукцию, структурно и психологически не готовых к быстрому изменению. Ущерб от скороспелых и неподготовленных новаций может быть чрезвычайно велик.

Важную роль в ускорении применения принципов процессного подхода играет сертификация системы менеджмента качества (СМК). Однако на предприятиях часто сертификация производится не с целью улучшения качества и управляемости процессов, а в силу требований моды или для отчета перед региональными руководителями. В то же время производители конечной продукции обращают внимание не на действительный уровень качества комплектующих изделий у поставщиков, а на наличие у них сертификата на СМК.

Пора спокойно и взвешенно подходить к внедрению процессного подхода, но не как панацеи от всех бед по качеству (чудес не бывает). Требуется создать типовую методологию постепенного перехода от функционального управления к процессно-ориентированному, в которой определить необходимые условия, критерии, наличие соответствующих мощностей и квалифицированного персонала, принципы идеологического обеспечения и т. д. для того чтобы снизить издержки перехода.

### **3.2. Классификация процессов**

Перед началом классификации процессов необходимо провести классификацию элементов, окружающих процесс: входов, управления, ресурсов, выходов. Классифицировать входы процесса – значит определить объекты, подаваемые на входы в процесс; поставщика объектов, поступающих на входы в процесс; категории объектов на входах процесса.

Классифицировать выходы процесса – значит определить объекты, получаемые на выходах процесса; потребителей объектов на выходах процесса; категории объектов на выходах процесса.

Классифицировать управление процесса – значит определить объекты, которые являются носителями управляющих воздействий на процесс; поставщиков объектов управления (т. е. того, кто управляет процессом), категории объектов управления процессом.

Классифицировать объекты, используемые в качестве ресурсов для исполнения процесса, значит определить ресурсы процесса, поставщиков ресурсов, категории ресурсов (человеческие ресурсы, рабочая среда, инфраструктура).

В настоящее время нет общепринятой классификации процессов, и каждый автор работ в области качества высказывает собственные мысли о классификации процессов.

Так, например, в Плимутском университете (США) разработана иерархия бизнес-процессов, которая состоит из пяти уровней, а процессы делятся на три основные группы: «производство», «управление», «поддержка».

В Норвегии предложена структурная схема процессов, по которой процессы (в соответствии с теорией Портера о цепочке ценностей) делятся на «первичные», «поддерживающие» и «развивающиеся». При этом:

а) первичными процессами называются основные и создающие ценности процессы предприятия; эти процессы пронизывают всю компанию, начиная с потребителя и заканчивая поставщиком;

б) поддерживающие (вспомогательные) процессы не создают непосредственно добавленную ценность, они нужны для обеспечения основных процессов (такими вспомогательными процессами могут быть, например, управление финансами и персоналом);

в) развивающиеся процессы – это такие процессы, которые позволяют создать цепочку ценности в основном и вспомогательном процессах на новом уровне показателей (например, разработка продукции).

На основе этих идей Европейской комиссией Евросоюза (ENAPS) была разработана программа, в которой предложена классификация процессов, отраженная на рис. 3.3.

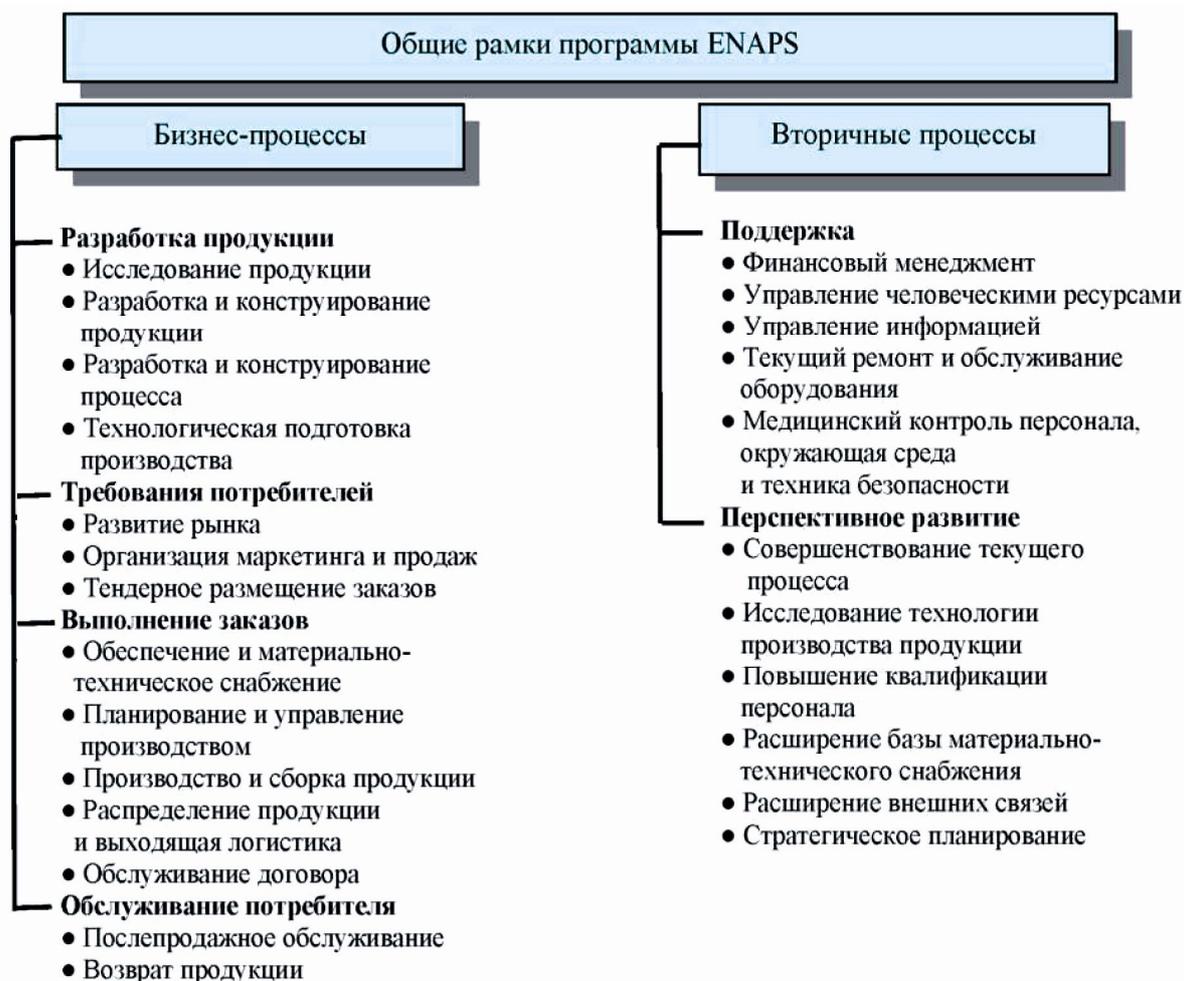


Рис. 3.3. Классификация бизнес-процессов по ENAPS

В этой классификации бизнес-процессы отделены от вторичных процессов, к которым отнесены развивающиеся процессы поддержки.

В России классификация процессов также находится в состоянии поиска. Тем не менее, в многочисленных публикациях можно выделить следующие способы классификации процессов: по уровням значимости, структуре взаимодействия, назначению. Рассмотрим более подробно каждый способ классификации.

По уровням значимости бизнес-процесса делятся на супер-, гипер-, мета-, суб-, макро-, микропроцессы.

На практике чаще всего пользуются двумя последними обозначениями. В системе менеджмента качества организации можно выделить четыре уровня процессов (рис. 3.4).

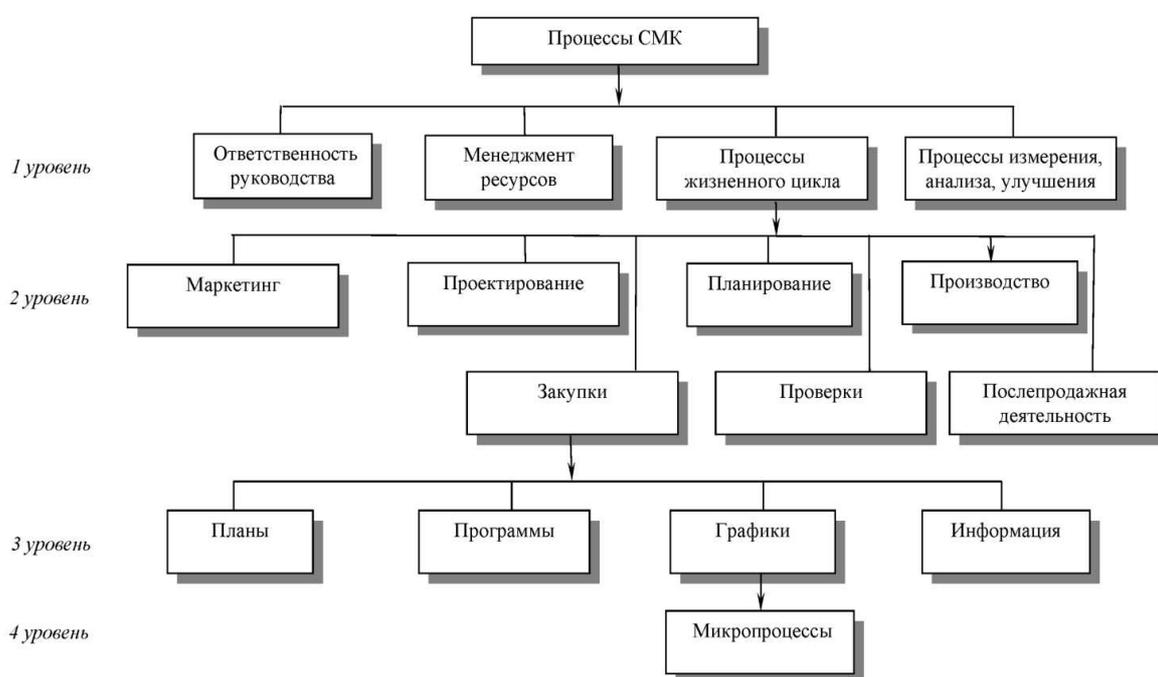


Рис. 3.4. Структура процессов СМК

Процессы первого уровня (метапроцессы): ответственность руководства, менеджмент ресурсов, процессы жизненного цикла, процессы измерения, анализа и улучшения.

Рассмотрим ветвь по процессам жизненного цикла. Тогда процессы второго уровня (субпроцессы) будут представлены маркетингом, проектированием и разработкой продукции, планированием и разработкой процессов, закупками, производством и предоставлением услуг, проверками, послепроизводственной деятельностью.

Рассмотрим ветвь по процессам закупок. Тогда процессы третьего уровня (макропроцессы) – это программа закупок, планы закупок, график закупок, информация о закупках.

Очевидно, что четвертый уровень будет отведен микропроцессам, связанным с реализацией закупок (оформлением заказов, оплатой, транспортировкой, складированием, хранение и т. д.).

Если идти по другой ветви от первого уровня, то получим состав других процессов, иерархически зависящих друг от друга.

По структуре взаимодействия бизнес-процессы можно разделить на вертикальные и горизонтальные.

Существует мнение известных специалистов в области управления качеством о том, что в каждой организации структурно можно выделить не два, а три вида процессов [18, 19]:

- 1) индивидуальный процесс, выполняемый отдельным работником;
- 2) вертикальный, или функциональный, процесс, отражающий взаимодействие руководства организации, ее подразделений и работников;
- 3) горизонтальный процесс, который пересекает по горизонтали деятельность организации и представляет собой совокупность взаимосвязанных интегрированных процессов, обеспечивающих целевые функции организации.

Горизонтальный процесс представляет собой последовательную цепочку интегрированных процессов деятельности организации. Эта цепочка интегрированных процессов, в то же время, представляет последовательную цепочку потребителей (рис. 3.5), когда каждый последующий процесс определяет требования к предыдущему [см. 18]. Горизонтальные процессы, выполняемые в нескольких функциональных подразделениях, называют межфункциональными, или сквозными, процессами. Результаты такого функционального процесса должны быть четко определены.



Рис.3.5. Схема делового (горизонтального) прохождения процесса в организации

В деятельности предприятия, как правило, одновременно выполняется несколько межфункциональных процессов (рис. 3.6).

Для примера приведем схему межфункциональных процессов фирмы «Эрикссон» (Швеция). Фирма одновременно выпускает три продукта. На рис. 3.7 показаны три цепочки процессов [см. 10].

Первая цепочка относится к процессу, который выпускает продукцию, и она есть на складе. Время реализации заказа равно времени продажи.

Вторая цепочка отражает заказы продукции, которой нет на складе, но фирма располагает мощностями по их выпуску. Время реализации заказа (время поставки) в этом случае увеличивается на период, связанный с производством заказанной продукции.



Рис. 3.6. Деловые процессы компании

Третья цепочка соответствует ситуации, при которой организация провела анализ рынка и выявила новые потребности в продукции, которую фирма может выпускать. В этом случае время выхода на рынок с новой продукцией включает в себя время, необходимое на проектирование, подготовку производства, производство и время поставки новой продукции. Для фирмы этот период составил 3 месяца.

По назначению (по степени влияния на получение добавленной ценности) бизнес-процессы подразделяются на:

- 1) основные (базовые) процессы, непосредственным результатом которых является выпуск продукции или оказание услуг;
- 2) обеспечивающие процессы, результатом которых является создание необходимых условий для осуществления основных процессов;
- 3) процессы менеджмента, результатом которых является повышение эффективности и результативности основных и обеспечивающих процессов.

Основные процессы создают выходные (как конечные, так и промежуточные) результаты деятельности организации, непосредственно добавляющие стоимость (ценность) продукции. Эти процессы стратегически важны для успешного бизнеса организации и влияют на удовлетворение потребителей. Основные процессы связаны с созданием продукции и ее реализацией, а также с послепродажным сервисом [см. 16].

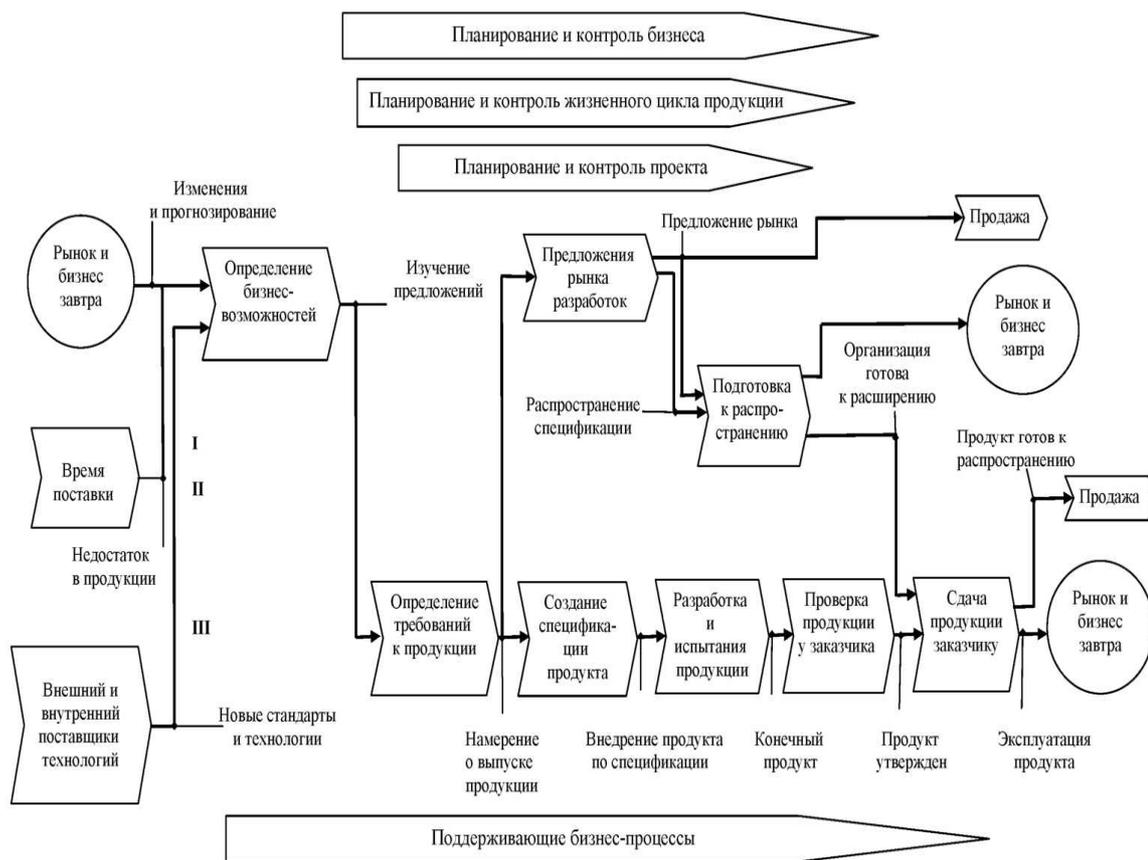


Рис. 3.7. Процессы фирмы «Эрикссон»

Через основные процессы реализуется миссия организации, на их базе формируется организационная структура, определяется набор обеспечивающих процессов и процессов менеджмента. По отношению к последним основные процессы выполняют задающую роль. Эта роль не может быть эффективно реализована (т. е. обеспечена максимальная добавленная ценность), если не будет определен адекватный ей комплекс обеспечивающих процессов и процессов менеджмента, настроенный на решение конкретных задач организации в бизнесе.

В отдельных публикациях понятие добавленной ценности переносят и на процессы менеджмента, объясняя это тем, что умные мысли и решения руководителей могут добавить ценность процессу. Действительно, результат этого процесса будет обеспечен с меньшими затратами, что позволит снизить суммарные затраты на продукт, то есть его себестоимость.

Что же является ценностью для потребителя и производителя? Производитель на этапе маркетинга, проводя исследования рынка аналогичной продукции, определил значение (величину) показателей качества своей продукции и ее продажную цену. Эти два фактора (качество и цена) являются конечной ценностью для производителя и начальной ценностью для покупателя. Добавленной ценностью для работников (значит, и процессов) предприятия является всякая ценность, которая приближает показатели

качества к эксплуатационным показателям, записанным в паспорте на товар. Как и кто выпускает этот товар, делают ли его люди или автоматы, компетентные ли на этом предприятии руководители или конструкторы, сложные ли у них в производстве процессы – все это покупателя не волнует и не интересует. Его интересуют только показатели качества товара, который он приобрел. Таким образом, ценность товара для потребителя связана только с процессами, изменяющими ценность, т. е. процессами жизненного цикла продукции.

А вот добавленная стоимость будет до тех пор совпадать с добавленной ценностью, пока будут соблюдаться нормативные показатели производственного процесса, под которым понимаются все процессы в организации, направленные на производство конкретного товара. При этом, чем меньше ручного труда и процессов менеджмента и обеспечения ресурсов, тем ниже себестоимость.

Среди всей совокупности процессов основные являются наиболее консервативными, так как их перестройка сопряжена с наибольшими стоимостными и временными затратами (например, переход на выпуск новых видов продукции не осуществим за короткий срок и без существенных затрат). Обратная связь основных и обеспечивающих процессов реализуется путем формирования необходимой организационной структуры.

По своему характеру основные процессы являются горизонтальными, так как пронизывают всю производственную деятельность организации и объединяют весь бизнес [20]. В качестве схемы для выделения основных процессов можно воспользоваться петлей качества (схемой жизненного цикла продукции, рис. 3.8). Без основных процессов невозможна целевая деятельность организации.

В отличие от основных обеспечивающие процессы и процессы менеджмента являются по своему характеру вертикальными процессами, так как отражают деятельность организации по вертикали в соответствии с ее структурой и формой взаимодействия руководителей функциональных подразделений. В обобщенном виде признаки процессов, классифицируемых по назначению, приведены в табл. 4.

Таблица 4

Классификация признаков процессов

Тип процессов	Отличительные признаки
Основные	– через них проходит основная продукция (услуги); – добавляют ценность продукту; – результат получает внешний потребитель
Обеспечивающие	– не касаются основной продукции (услуги); – добавляют продукции стоимость; – результат получают внутренние потребители
Процессы менеджмента	– результатом является деятельность всей организации; – результаты получают все заинтересованные стороны

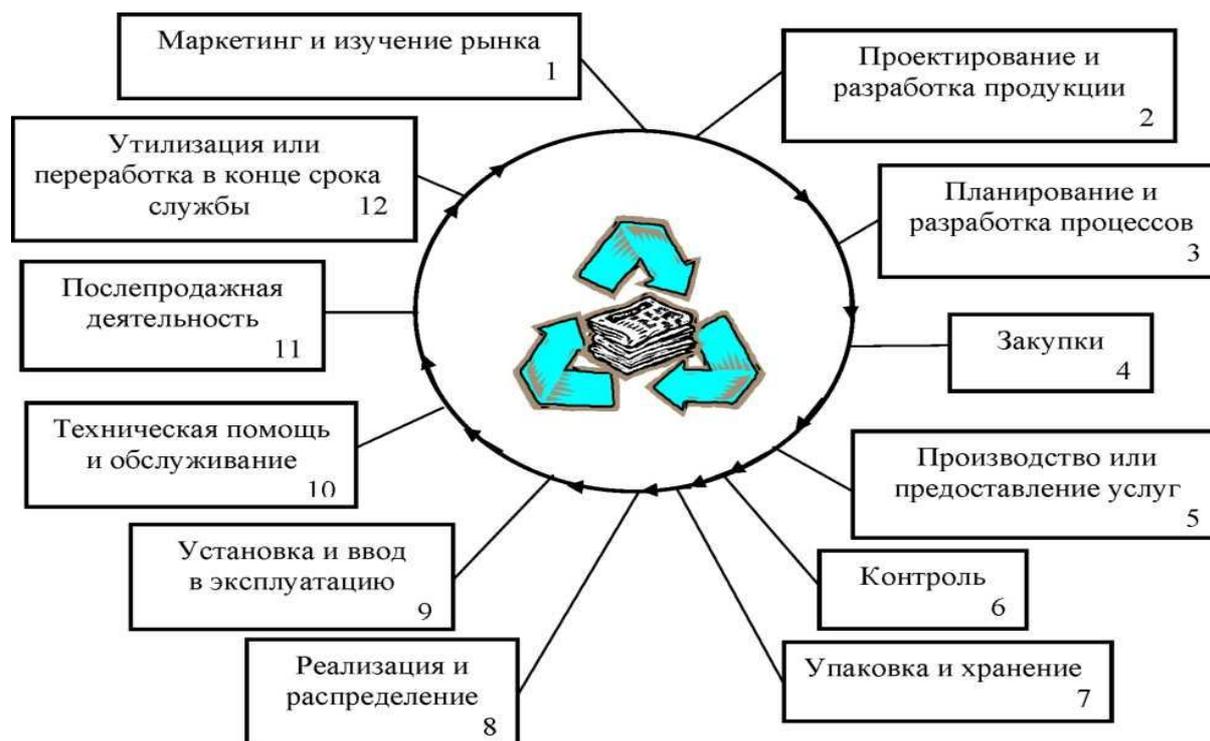


Рис. 3.8. Жизненный цикл продукции [см. 20]

Следует отметить, что процесс и деятельность (функции) организации имеют различную сущность: процесс динамичен и соответствует определенному результату; деятельность организации тесно связана с установленными в обществе нормами и законами, и поэтому ее роль определена обществом, что объясняет ее консервативность и меньшую динамичность, чем процесс.

Не все процессы организации, даже основные, оказывают одинаковое влияние на успех организации в конкретных рыночных условиях. В связи с этим, отдельные организации выделяют ключевые процессы, оказывающие наибольшее (даже решающее) воздействие на достижение главных целей организации. Эти процессы могут быть определены в зависимости от степени их влияния на удовлетворенность потребителей, акционерную стоимость организации, увеличение продаж, расширение рынка реализации продукции, уменьшение издержек и др. Ранжирование ключевых процессов можно производить на основе анализа факторов, влияющих на результативность процессов.

Одновременно с ключевыми процессами можно выделить и критические процессы, ненадлежащее выполнение которых может представлять фактическую или потенциальную опасность для обеспечения качества продукции. По разным причинам в число критических процессов может попасть любой процесс. Выявление критических процессов осуществляется в ходе текущей деятельности или по результатам аудита. Следует отметить, что если ключевые процессы отражают внешние по отношению к

организации воздействия, то критические процессы являются отражением внутренних воздействий.

Отдельного рассмотрения заслуживают классификация процессов СМК (рис. 3.9). Согласно ИСО 9001:2000 организация для поддержания СМК в рабочем состоянии должна определить процессы, необходимые для СМК; определить последовательность и взаимодействие этих процессов; определить критерии и методы, необходимые для обеспечения результативности как при осуществлении, так и при управлении этими процессами; принимать меры, необходимые для достижения запланированных результатов и постоянного улучшения процессов и т. д.

Следует обратить внимание, что, кроме важнейших категорий процессов СМК (процессы высшего руководства, процессы управления ресурсами, процессы жизненного цикла продукции и процессы измерения, анализа и улучшения), в разделе 4 ИСО 9001:2000 предусмотрены процессы управления документацией и управление записями.

Для обеспечения постоянного улучшения СМК можно предложить разработать и внедрить следующие дополнительные процессы:

- 1) планирование, организацию и внесение изменений в СМК;
- 2) анализ со стороны руководства;
- 3) анализ данных;
- 4) постоянное улучшение.

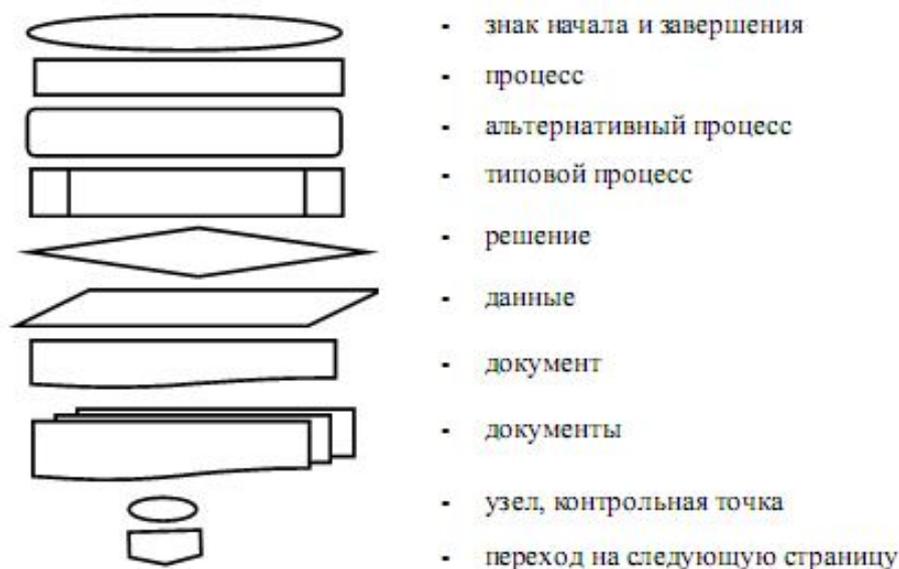


Рис. 3.9. Условные геометрические обозначения [см. 20]

На рис. 3.10 приведена блок-схема процесса принятия решения. В левой части блок-схемы отражен поток процесса, в правой части – методы решения.

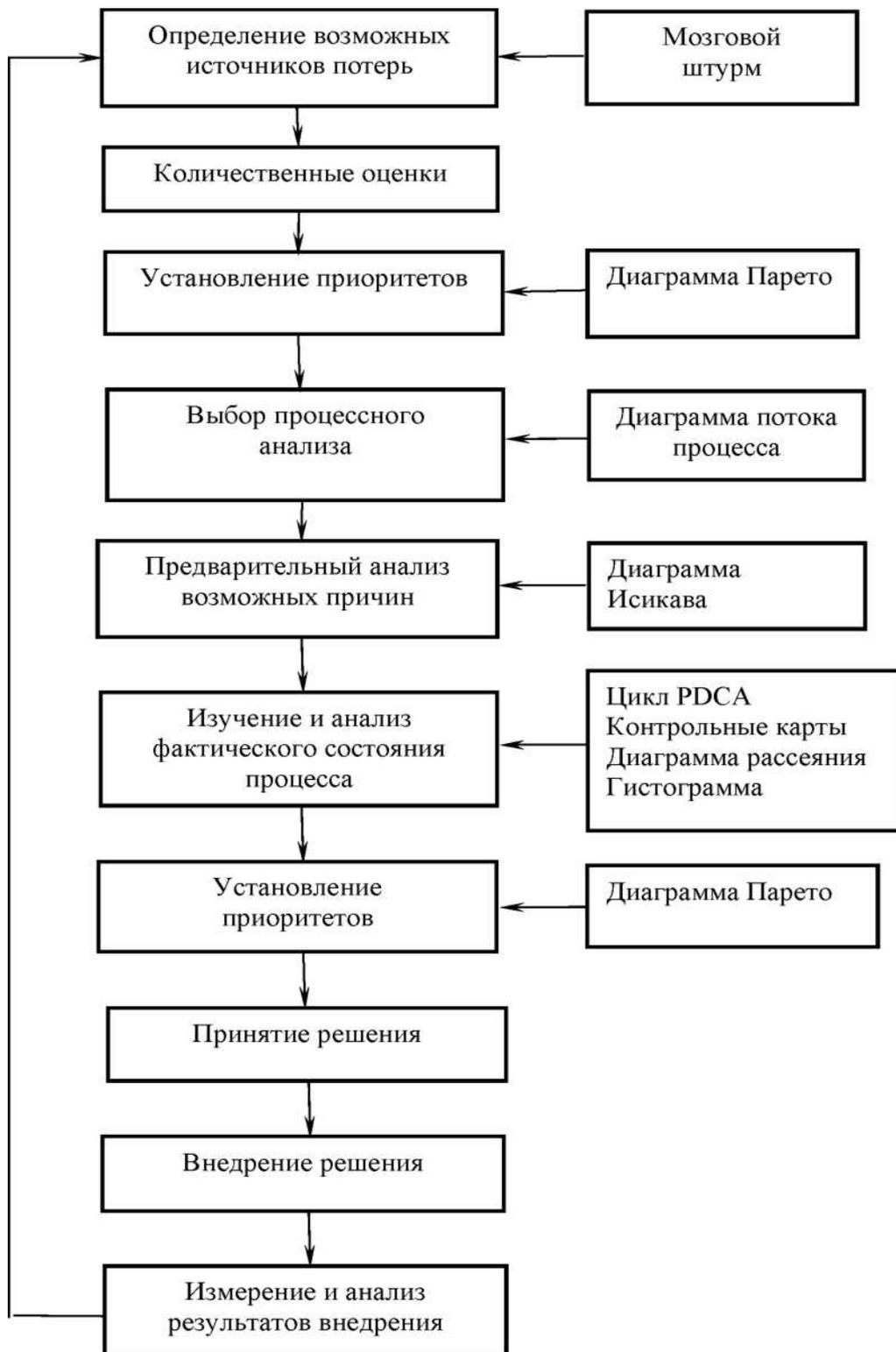


Рис. 3.10. Блок-схема процесса принятия решения

При разработке блок-схемы «процесс поставки комплектующих изделий» (рис. 3.11) для обозначения действий использованы символы.



Рис. 3.11. Блок-схема процесса поставки [см. 7]

Сочетание элементов блок-схемы и матрицы позволило построить блок- схему функционального процесса «выполнение заказа» (рис. 3.12).

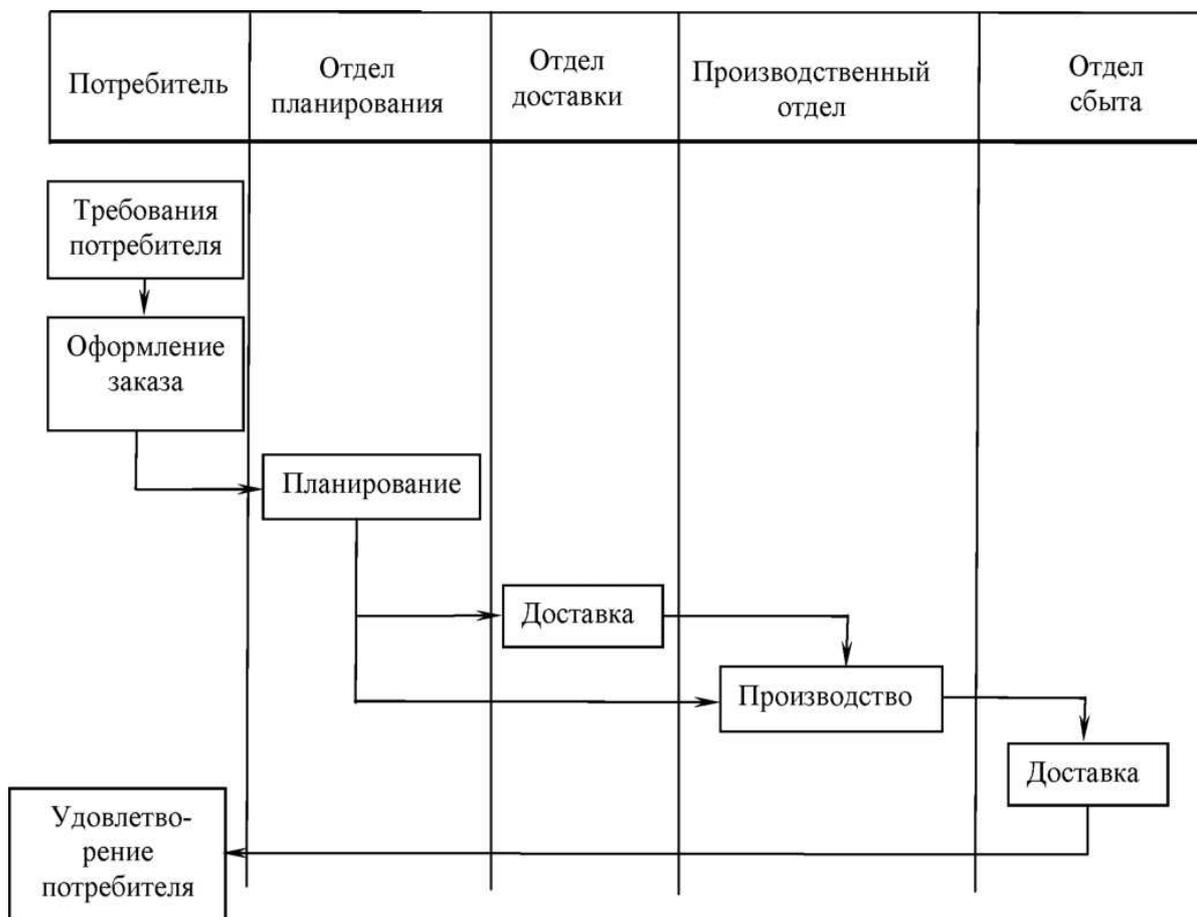


Рис. 3.12. Межфункциональная блок-схема заказа

Пример многоуровневой блок-схемы приведен на рис. 3.13. На этой схеме показаны основные действия процесса, которые обозначаются двузначными номерами: 1.0, 2.0 и т. д. В этом обозначении первая цифра – номер операции, а вторая – номер уровня управления. Декомпозиция (более детальное отображение процесса) многоуровневой блок-схемы по операции 3.0 приведена на рис. 3.14.

Так же часто, как блок-схемы, в практике моделирования процессов применяются диаграммы потока процесса.

Диаграмма потока процесса строится, когда проводится анализ реального процесса на предмет обнаружения брака. Вполне возможно, что причины брака (или несоответствия) могут быть заложены в нарушении последовательности операций или в проектной схеме процесса. На рис. 3.15 отображена диаграмма хода процесса, каждый элемент которой изображен геометрической фигурой.

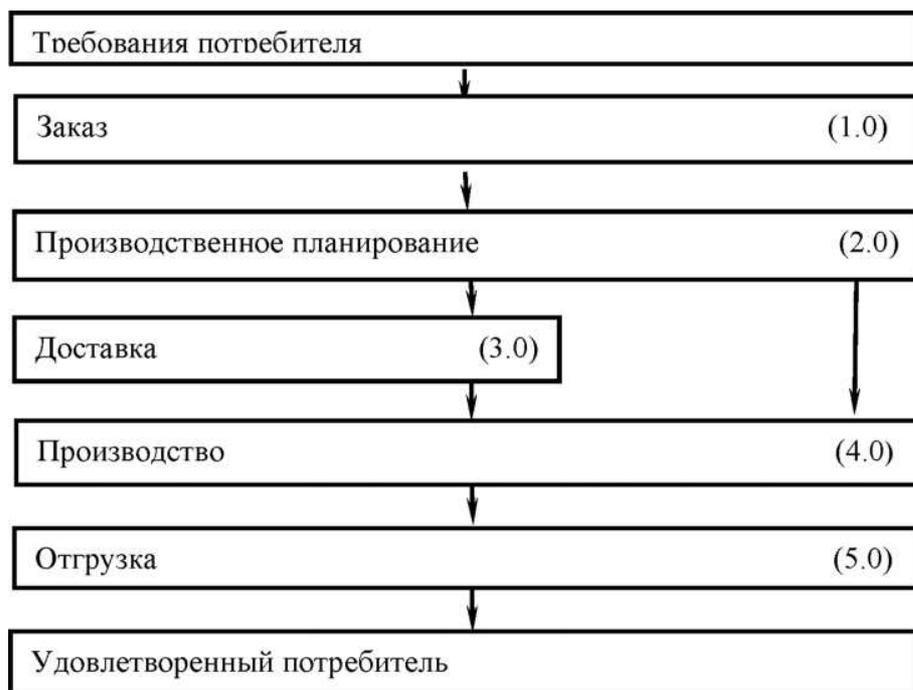


Рис. 3.13. Блок-схема многоуровневого процесса

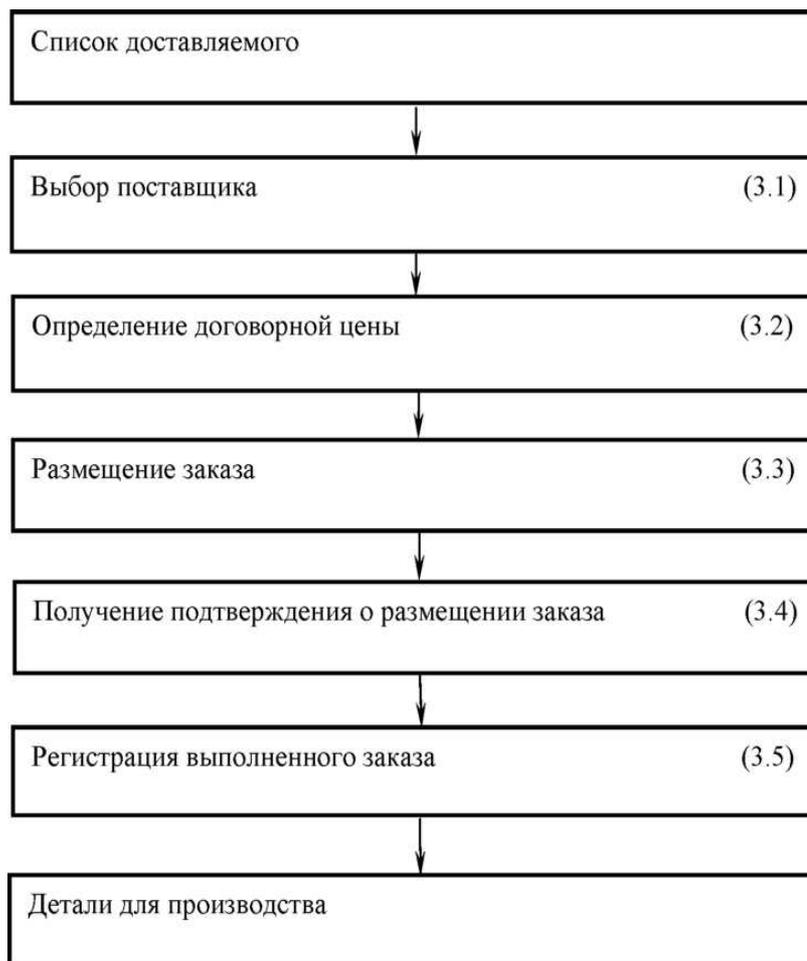


Рис. 3.14. Блок-схема первого уровня для операции «Доставка» (3.0)

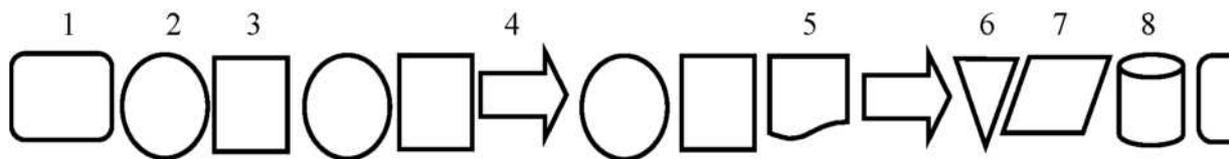


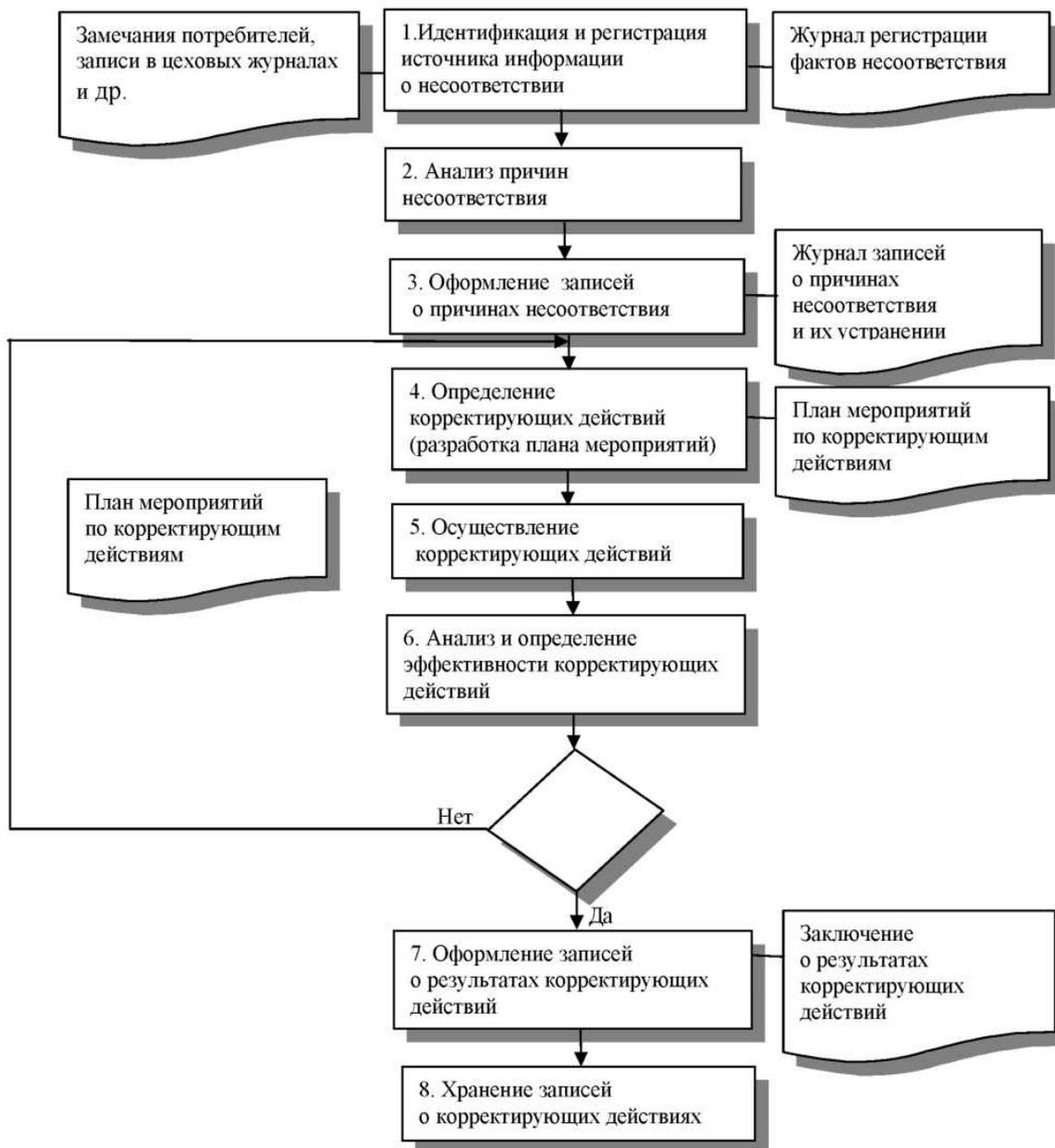
Рис. 3.15. Диаграмма потока процессов: 1 – начало (конец),  
2 – технологические операции, 3 – контроль, 4 – транспортировка в другой цех,  
5 – документ на готовое изделие, 6 – хранение, 7 – электронная копия документа,  
8 – банк данных [22]

На рис. 3.16 приведено более обстоятельное описание процесса с применением диаграммы хода процесса [23]. Для более четкого пояснения рядом с диаграммой приведена матрица ответственности за выполнение и ход работ.

Часто для более полного отображения процесса необходимы не столько последовательные его шаги, сколько взаимосвязи процесса. На рис. 3.17 приведена карта взаимосвязей процесса, на которой отражен как поток заказов, так и поток информации о заказах.

Часто в практике моделирования процессов объединяются элементы алгоритма и блок-схемы. Такая объединенная модель описывает на рис. 3.18 процесс (процедуру) внутреннего аудита качества.

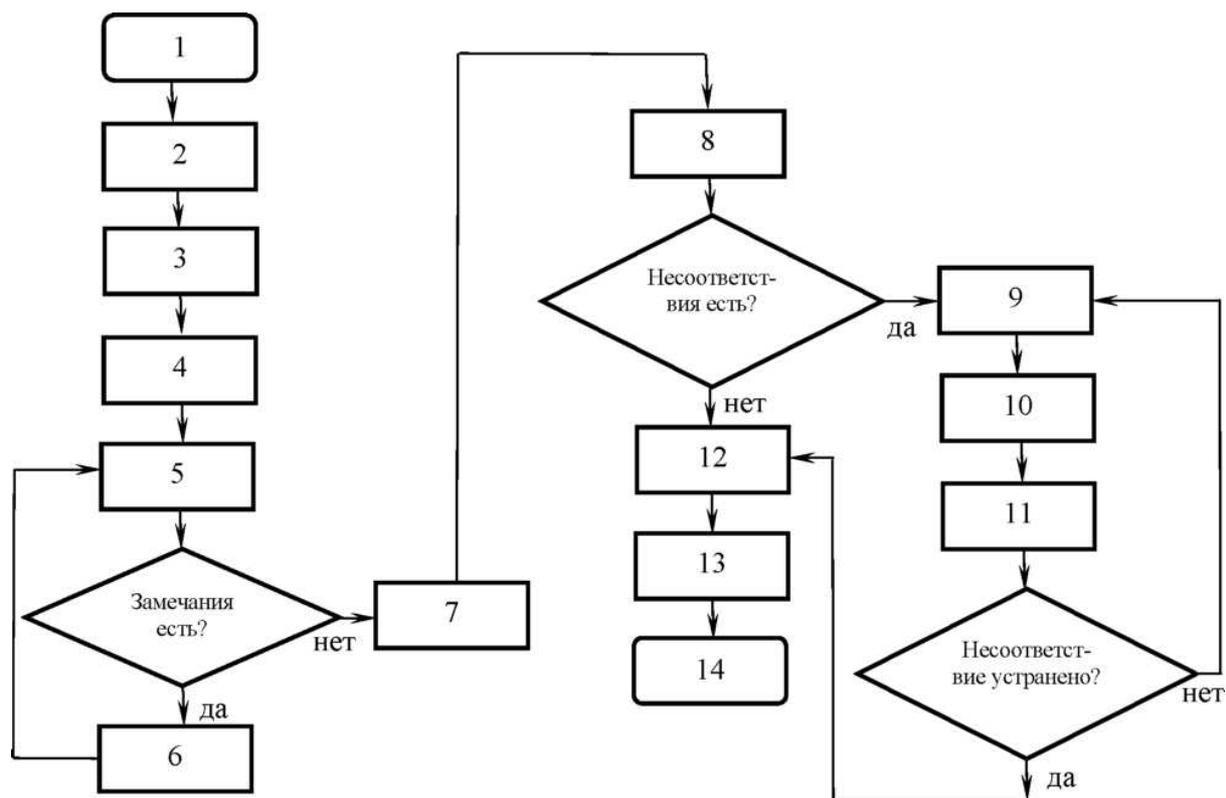
Что служит источником процессов в организации (предприятии)? Откуда они берутся и как возникают? Чтобы ответить на эти вопросы, надо выявить и рассмотреть стороны, заинтересованные в результатах процессов. Принято считать, что с любой организацией взаимодействуют пять групп заинтересованных сторон: потребители, поставщики, персонал организации, общество (государство, коммерческие и общественные организации, международные организации), собственники (акционеры, учредители). Состав этих сторон зависит во многом от формы собственности организации. Можно отметить, что государство выступает в качестве одной из заинтересованных сторон в любом случае: как собиратель налогов, как регулятор общественных отношений, как гарант безопасности. Все заинтересованные стороны важны, но особую роль играет потребитель. Он платит за продукцию и услуги, обеспечивая тем самым предприятие средствами к существованию и возможностью дальнейшего его развития. В стандартах качества удовлетворение потребителя поставлено как высший приоритет.



**Условные обозначения:**

- – этап (шаг) процесса;
- ◇ – альтернативная возможность результата этапа;
- ▭ – документы (входной/выходной) для этапа процесса;
- ↓↑ – направление хода действия;
- ← нет – отрицательный результат;
- да – положительный результат.

Рис. 3.16. Диаграмма хода процесса [см. 21]



1 – проведение вводного совещания;  
 2 – осуществление аудита;  
 3 – проведение заключительного совещания;  
 4 – составление отчета об аудите;  
 5 – представление отчета на утверждение;  
 6 – доработка отчета;  
 7 – рассылка отчета заинтересованным лицам;

8 – регистрация результатов аудита;  
 9 – разработка корректирующих действий;  
 10 – устранение причин несоответствия;  
 11 – инспекционный контроль;  
 12 – регистрация корректирующих действий;  
 13 – информирование заинтересованных лиц об устранении несоответствия;  
 14 – оформление дела об аудите [см.16]

Рис. 3.17. Алгоритм процедуры проведения внутреннего аудита системы качества

Практически нет ни одной организации, связанной с производством продукции и услуг, которая не работала бы с поставщиками. Не случайно важность взаимовыгодных отношений с поставщиками отмечена в принципах менеджмента качества при разработке стандартов ИСО 9000:2000.

Не всегда должное внимание уделяется конкурентам как заинтересованной стороне. В подавляющем числе случаев отношения с конкурентами носят непримиримый характер. Но следует отметить, что за рубежом в последние годы все более развивается партнерский бенчмаркинг, который основан на партнерских отношениях с конкурентами на взаимовыгодных условиях (в равной степени делятся производственными секретами).

Исключительно важны взаимоотношения руководства и персонала организации. Процессы менеджмента на всех уровнях иерархии организации определяют климат отношений в коллективе и коренным образом влияют на эффективность труда.

### 3.3. Описание процессов СМК

Каждая организация, как это предусмотрено ИСО 9001:2000, должна сформировать собственное мнение о степени важности своих процессов:

- какие процессы есть или нужны для организации;
- как их можно соотнести с уровнями управления и ранжирования;
- какие процессы играют главную роль для организации, а какие вспомогательную и т. д.

Для различных по назначению, структуре и уровню процессов требуются свои подходы к управлению, методикам и глубине их описания.

Прежде чем начинать описывать процессы, целесообразно задаться вопросом, как они будут соответствовать той деятельности, которая будет базироваться на процессном подходе. Эти вопросы лучше сгруппировать по различным аспектам деятельности.

*Первая группа* – вопросы, которые помогают выявить процессы, требуемые для СМК:

- 1) какие процессы нужны для СМК;
- 2) кто является потребителем каждого процесса (внутренние или внешние);
- 3) каковы требования этого потребителя;
- 4) кто является владельцем данного процесса;
- 5) есть ли среди процессов такие, которые выполняются на стороне (аутсорсинг);
- 6) каковы входы и выходы данного процесса.

*Вторая группа* – вопросы, которые определяют последовательность и взаимодействие процессов:

- 1) каков общий поток процессов;
- 2) как они идентифицируются;
- 3) каков канал связи между процессами;
- 4) какую документацию надо сделать.

*Третья группа* – процессы, которые способствуют нахождению критериев и методов, требуемых для эффективной работы:

- 1) какие характеристики надо учитывать в результатах данного процесса;
- 2) каковы критерии мониторинга, измерений и анализа;
- 3) как можно объединить их с планированием СМК и процессами жизненного цикла продукции;
- 4) каковы экономические показатели (затраты, время, потери и пр.);
- 5) какие методы годятся для сбора данных.

*Четвертая группа* – вопросы, связанные с ресурсами и информацией:

- 1) какие ресурсы нужны для каждого процесса;
- 2) каковы каналы коммуникации;

- 3) как можно получить внешнюю и внутреннюю информацию о данном процессе;
- 4) как обеспечить обратную связь;
- 5) какие данные надо собирать;
- 6) какие записи надо поддерживать.

*Пятая группа* – вопросы, связанные с измерением, мониторингом и анализом:

- 1) как можно вести мониторинг показателей процесса (воспроизводимость процессов, удовлетворенность потребителей);
- 2) какие измерения нужны;
- 3) как лучше всего проанализировать собранную информацию (статистические методы);
- 4) что покажут результаты такого анализа.

*Шестая группа* – вопросы, связанные с внедрением, результативностью и совершенствованием:

- 1) как можно улучшить данный процесс;
- 2) какие нужны корректирующие или предупреждающие действия;
- 3) внедряются ли эти корректирующие и предупреждающие действия;
- 4) эффективны ли они.

Вероятно, все предъявляемые выше к процессам требования можно разделить на основные и вспомогательные. Основные требования в виде характеристик процесса фиксируются в *карте процесса*.

1. *Наименование процесса* (оно должно быть кратким и, по возможности, выражено отглагольным существительным).

2. *Код процесса*.

3. *Определение процесса* (формулировка, раскрывающая сущность и основное содержание процесса).

4. *Цель процесса* (необходимый или желательный результат процесса).

5. *Владелец процесса* (лицо, ответственное за перспективное планирование, ресурсное обеспечение и эффективность процесса).

6. *Участники процесса* (лица, принимающие участие в выполнении процесса).

7. *Нормативы процесса* (документация, содержащая показатели норм, в соответствии с которыми осуществляется процесс).

8. *Входы процесса* (материальные и информационные потоки, поступающие в процесс извне и подлежащие преобразованию).

9. *Выходы процесса* (результаты преобразования, добавляющие стоимость).

10. *Ресурсы* (финансовые, технологические, материальные, трудовые и информационные, посредством которых осуществляются преобразование входы в выходы).

11. *Процессы поставщиков* (внутренние или внешние поставщики – источники входов рассматриваемого процесса).

12. *Процессы потребителей* (процессы внутреннего или внешнего происхождения, являющиеся пользователями результатов рассматриваемого процесса).

13. *Измеряемые параметры процесса* (его характеристики, подлежащие измерению и контролю).

14. *Показатели результативности процесса* (отражающие степень соответствия фактических результатов процесса запланированным).

15. *Показатели эффективности процесса* (отражающие связь между достигнутыми результатами и использованными ресурсами).

Отдельные позиции карты процесса требуют более детального рассмотрения.

Рассмотрим позиции 5, 14, 15.

*Владелец процесса.*

Процесс, как правило, дело командное. Команда процесса характеризуется определенным составом ролей его участников. В основе эффективности управляемости процесса лежит выбор (назначение) его владельца и наделение его необходимыми полномочиями в рамках выделенных требований к процессу.

Владелец процесса – должностное лицо, несущее ответственность за организацию, надлежащее функционирование и результаты процесса. Можно, с учетом мнений отдельных авторов публикаций, выделить ряд основных качеств, характеризующих владельца процесса [24, 25]. Рассмотрим эти качества.

1. Владелец процесса должен обладать глубокими знаниями процесса. Поэтому владельцем процесса целесообразно назначить одного из работников организации, который в настоящее время руководит или курирует один из ключевых участков процесса.

2. Владелец должен уметь влиять на людей и содействовать изменениям, пользоваться уважением у руководителей и специалистов организации, являться профессионалом в рассматриваемой сфере деятельности, способным решать конфликтные ситуации.

3. Должен быть коммуникабельным и иметь качества лидера перемен. Ценить труд коллектива как свой труд, уметь делиться полномочиями и побуждать к действию работников.

4. Любить свое дело и вызывать энтузиазм у подчиненных. Видеть свой процесс не только в границах, отведенных документацией, но и за их пределами с целью решения проблем на стыках процессов.

5. Находить и создавать моральные мотивации к труду у участников процесса. Совершенствовать методы вознаграждения за счет инновационных стимулов.

6. Непрерывно совершенствовать процесс. Создавать кружки качества и горизонтальные творческие бригады для постановки и решения проблем.

7. Организовать разработку документированных процедур по управлению качеством процесса, обеспечить проведение мониторинга и анализа устойчивости и управляемости процесса.

*Показатели результативности и эффективности процесса.* Процесс – совокупность ресурсов и видов деятельности. По мере реализации процесса затраты на производство продукции увеличиваются, и, соответственно, пропорционально должна возрастать (при выпуске качественной продукции) добавленная ценность продукта. То есть нормативным затратам соответствует нормативная добавленная ценность. Но при выпуске дефектной продукции затраты на процесс растут (превышают нормативные) за счет будущих издержек на переработку или доработку бракованной продукции. В то же время добавленная ценность продукта прирастет прежними темпами. Тогда разница между стоимостью и ценностью постепенно увеличивается. Это показано на рис. 3.18: на первой операции процесс не имел отклонений, на второй и третьей операции отклонения от документации имели место.

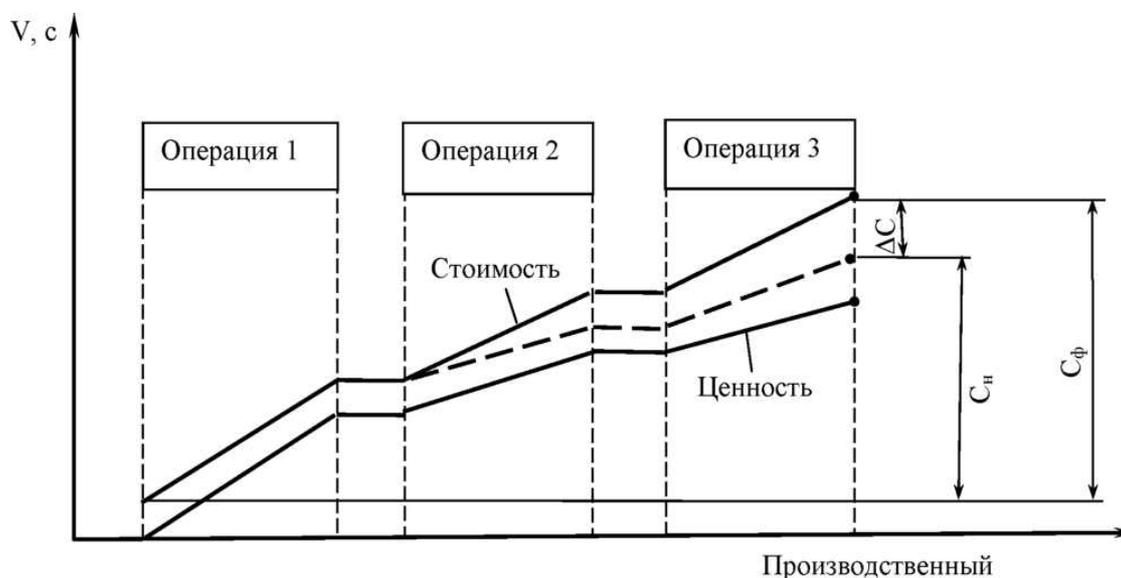


Рис. 3.18. Изменение добавленной стоимости (C) и ценности (v) продукта по мере прохождения производственного процесса:  $C_{\text{ф}}$ ,  $C_{\text{н}}$  – соответственно фактическая и нормативная добавленные стоимости

Таким образом, можно считать, что основная задача производства – нормативное увеличение добавленной ценности продукта при минимальных отклонениях от нормативных затрат на процесс. Оценим результативность процесса. Согласно ГОСТ Р ИСО 9000:2001, *результативность* процесса – это степень реализации запланированной деятельности и достижения запланированных результатов.

При рассмотрении результатов процесса, приведенного на рис. 3.18, можно отметить, что, с одной стороны, цель процесса – достигнуть нормативную добавленную ценность – выполнена, а с другой стороны, – затра-

титель при этом как можно меньше ресурсов, – не выполнено, так как нормативные (плановые) затраты  $C_n$  превышены, то есть фактические затраты  $C_f > C_n$ . Поскольку речь в стандарте идет о степени, то результативность у необходимо привести в относительных единицах (процентах). Тогда получим

$$\psi = 1 - \frac{C_f - C_n}{C_n}. \quad (3.1)$$

*Эффективность* процесса, согласно тому же стандарту ИСО Р 9001:2001, отражает связь между достигнутым результатом и использованными ресурсами. Ее можно оценить как отношение выходных ресурсов процесса к входным. Эффективность производства определяется через затраты времени и ресурсов, которые должны быть минимальными (нормативными). Поэтому эффективность иногда приравнивают к производительности процесса. С другой стороны, эффективность – это максимальное использование выделенных ресурсов. Например, неиспользованный фонд рабочего времени станочного оборудования, простои конвейеров и т. д.

В общем случае для товарного изделия может быть не достигнута добавленная ценность и перерасходованы средства на изготовление изделия. Тогда при оценке эффективности необходимо дополнительно учесть стоимость потерянной доли добавленной ценности.

Ранее, на рис. 3.7, приводился пример сети межфункциональных процессов производства продукции фирмой «Эрикссон». В данном примере наиболее ярко реализуется требование об измерении результативности и эффективности процессов: измеряются и оцениваются затраты времени, продолжительность производственного цикла, заказа и поставки. Именно эти показатели отражают конкурентоспособность фирмы, ее готовность откликнуться на требования потребителя.

### 3.4. Документирование процессов

Документирование является средством закрепления найденных в организации решений по выполнению необходимых действий по идентификации и описанию процессов, а также свидетельствами этих действий и достигнутых результатов. Цель документирования процессов заключается в создании нормативной организационной основы для построения, функционирования и постоянного улучшения как системы менеджмента качества, так и системы управления организацией [26].

Документирование процессов позволяет организации решать следующие задачи:

1) устанавливать требования к осуществлению процессов и деятельности в системе менеджмента качества;

2) обеспечивать правильное понимание требований к процессам и деятельности;

3) обеспечивать воспроизводимость процессов и деятельности;

4) обеспечивать прослеживаемость выполнения процессов, а также оценивание достигнутых результатов;

5) предупреждать и разрешать спорные вопросы, возникающие при выполнении процессов и деятельности в условиях неопределенности;

6) закреплять лучшие традиции и накапливать опыт для выполнения процессов в отдельных видах деятельности.

Прежде чем проводить документацию процессов, необходимо провести анализ потребности в их документировании. Так как процесс можно рассматривать как объект, то при анализе можно воспользоваться методом структурного анализа и техники проектирования сложных систем SADT (Structured Analysis and Design Technique). Этот метод достаточно сложен, поэтому пользуются его упрощенной модификацией, которая имеет название «Анализ необходимой документации (АНД)».

Подход АНД к анализу потребности в документировании напоминает процессный подход, где на входе «анализа» исходная информация, а на выходе – желательные результаты.

При документировании процессов может возникнуть дилемма: документировать процессы последовательно (шаг за шагом по мере реализации проекта) или документировать все разработанные процессы разом, одновременно. В первом случае документирование процесса будет первым действием по реализации проекта. Выбор этого варианта документирования зависит от границ процесса и его длительности. Этот вариант больше подходит для малых организаций с ограниченными ресурсами.

При втором варианте придется документировать все или большинство процессов. Очевидно, что сразу все процессы, протекающие в организации, изучить и документировать невозможно. Скорее всего, в этом варианте придется документировать только самые важные процессы. Это, как правило, процессы жизненного цикла продукции и отдельные процессы менеджмента.

Так, например, согласно ГОСТ Р ИСО 9001:2001, документация СМК должна содержать шесть обязательных документированных процедур: управление документацией, управление записями, внутренние аудиты, управление несоответствующей продукцией, корректирующие мероприятия, предупреждающие мероприятия.

Документирование процессов жизненного цикла продукции рекомендуется проводить аналогично порядку документирования технологических процессов.

На практике необходимость документирования других процессов менеджмента и управления ресурсами чаще всего определяется самой организацией.

Документация по процессам, используемая для последующего эффективного планирования, обеспечения, управления и улучшения, включает перечень процессов и описания процессов. При этом *перечень процессов* содержит:

- 1) записи, позволяющие идентифицировать описания процессов;
- 2) информацию, которая идентифицирует место документа «Перечень процессов» в документации более высокого уровня (например, в руководстве по качеству);
- 3) информацию, позволяющую идентифицировать состояние документа «Перечень процессов» (статус; дату создания документа; дату утверждения; фамилию лица, утвердившего документ; дату изменения; дату сдачи в архив и пр.).

*Описание процесса* включает:

- 1) информацию, описывающую процесс, включая внутреннюю структуру, т. е. элементы, из которых состоит процесс, и взаимосвязи между ними, а также описание взаимосвязей процесса с другими процессами в организации и пр.;
- 2) глоссарий процесса;
- 3) информацию, которая идентифицирует место документа «Описание процессов» в системе документации более высокого уровня;
- 4) информацию, позволяющую идентифицировать состояние документа «Описание процесса».

Некоторые исследователи предлагают при документировании сети процессов организации в каждом структурном подразделении выделять до четырех процессов [см. 14]. Дальнейшая их детализация проводится на основе принципа управленческой целесообразности. В указанной работе также предлагается деятельность, которую рассматривают как процесс, учитывать с помощью документа «Регламент выполнения процесса». Типовая структура такого регламента должна иметь следующую структуру.

Титульный лист

Лист согласования.

1. Общие положения.
2. Используемые нормативные документы.
3. Список терминов и определений.
4. Описание процесса.
  - владелец процесса;
  - описание клиентов и выходов процесса;
  - описание поставщиков и входов;
  - описание ресурсов процесса;
  - технология выполнения процесса;
  - матрица ответственности за выполнение операций, входящих в состав процесса;
  - перечень показателей процессов;

- анализ со стороны владельца процесса;
  - отчетность владельца процесса;
  - анализ со стороны руководства.
5. Документация и архивирование.
  6. Порядок внесения изменений.
  7. Лист регистрации изменений.

### 3.5. Методология функционального моделирования процессов

В последние годы для идентификации и описания процессов большое распространение получила методология функционального моделирования (IDEF), разработанная в США и с 1993 г. применяемая в качестве федерального стандарта. Эта методология значительно расширяет возможности сочетания процессного и функционального подходов к управлению процессов.

#### *История возникновения методологии IDEF*

В начале 70-х гг. XX в. доктор Д. Росс (США) предложил метод структурного проектирования и анализа систем SADT (Structured Analysis and Design Technique). В основе этого подхода лежит графический язык описания (моделирования) систем.

В середине 1970-х гг. в армии США создали программу интегрированной компьютеризации производства ICAM (Integrated Computer Aided Manufacturing). В рамках этой программы были разработаны методы проектирования и анализа сложных производственных систем, а также способы обмена информацией между специалистами, занимающимися такими проблемами.

В настоящее время общая методология IDEF включает ряд частных методологий для моделирования систем, в том числе:

- 1) IDEF0 – функциональное моделирование;
- 2) IDEF1 – информационное моделирование;
- 3) IDEF1X – моделирование данных;
- 4) IDEF3 – моделирование «потока» процессов;
- 5) IDEF4 – объектно-ориентированное проектирование и анализ;
- 6) IDEF5 – определение онтологий (словарей);
- 7) IDEF9 – моделирование требований.

#### *Основные элементы и понятия IDEF0*

Основу IDEF0-методологии составляет простой и понятный графический язык описания процессов, которые базируются на трех понятиях: функциональный блок, интерфейсные дуги, принцип декомпозиции.

*Функциональный блок* графически изображается в виде прямоугольника (рис. 3.19) и представляет собой некоторый конкретный процесс (функцию) в рамках моделируемой системы. Название каждого блока должно быть сформулировано в виде глагольного выражения: глагол +

объект действия + дополнение. Например, «производить продукцию», «обрабатывать записи», «делать закупки» и т. д.

Каждая из четырех сторон функционального блока имеет строго определенное значение:

- левая сторона обозначает входы, т. е. то, что поступает на вход процесса и будет дальше преобразовано;
- правая сторона – выход, это то, что создается на выходе процесса в результате его выполнения;
- верхняя сторона – управление, т. е. при каких условиях процесс исполняется;
- нижняя сторона – механизм, т. е. какие ресурсы необходимы для исполнения процесса.



Рис. 3.19. Функциональный блок процесса «Обработать записи качества»

Интерфейсные дуги – это стрелки, с помощью которых в функциональной модели отображаются взаимодействия между функциональными блоками. Стрелка – графическое представление элемента, который обрабатывается в рамках моделируемой системы или оказывает иное влияние на процесс.

Принцип декомпозиции (структурирования, детализации) применяется при разбиении сложного процесса на составляющие его процессы. При этом уровень детализации процесса определяется целями построения модели. Декомпозиция – это процесс, в ходе которого разработчик как бы заглядывает внутрь функционального блока и рассматривает его внутреннюю структуру.

В процессе декомпозиции функциональный блок А0 подвергается детализации на дочерние диаграммы. Дочерняя диаграмма содержит функциональные блоки, которые представляют процессы, из которых состоит декомпозируемый процесс.

### Определение процессов

На первом этапе описания процесса надо определить деловые процессы в организации. Ключевым элементом в определении делового процесса является формулирование цели, которая отражает причину создания модели (описания) делового процесса и определяет его назначение. Для того, чтобы выделить деловые процессы, необходимо определить потребителей продукции или услуг; продукцию или услуги, производимые в организации; виды сырья и их поставщиков.

На втором этапе определения делового процесса необходимо описать его внутреннюю структуру. Для этого требуется определить, из каких процессов состоит моделируемый процесс, как эти процессы взаимодействуют между собой.

В IDEF0 для описания внутренней структуры процесса используется механизм декомпозиции. Для того, чтобы декомпозировать деловой процесс, необходимо создать диаграмму-потомок, то есть развернуть основные составляющие процесса. Используем для иллюстрации принципов IDEF0 процессы СМК [27].

Отразим на рис. 3.20 деловой процесс «производить продукцию», а на рис. 3.21 его декомпозицию, в котором элементами делового процесса являются следующие subprocesses:

- 1) «реализовать ответственность высшего руководства»;
- 2) «осуществить менеджмент ресурсов»;
- 3) «реализовать процессы жизненного цикла»;
- 4) «осуществить измерения, анализ и улучшение».

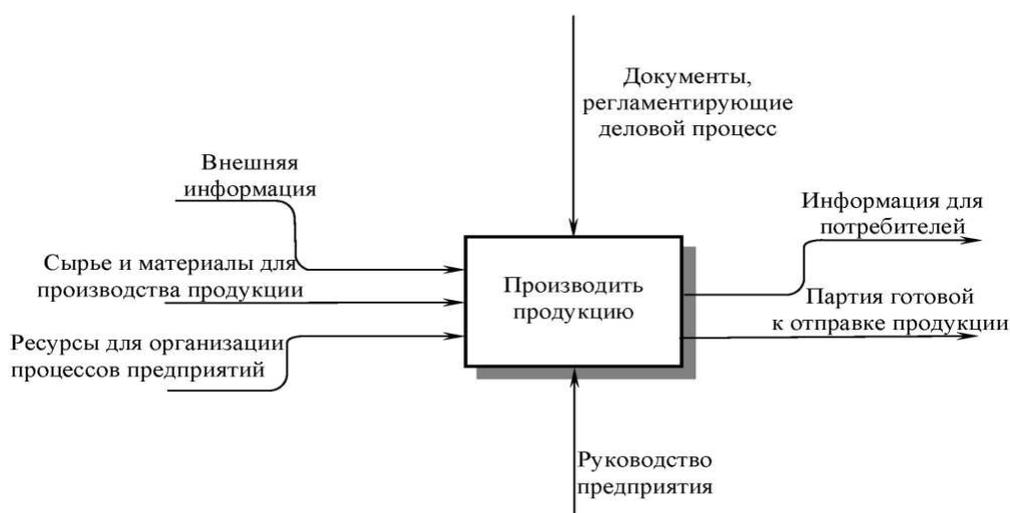
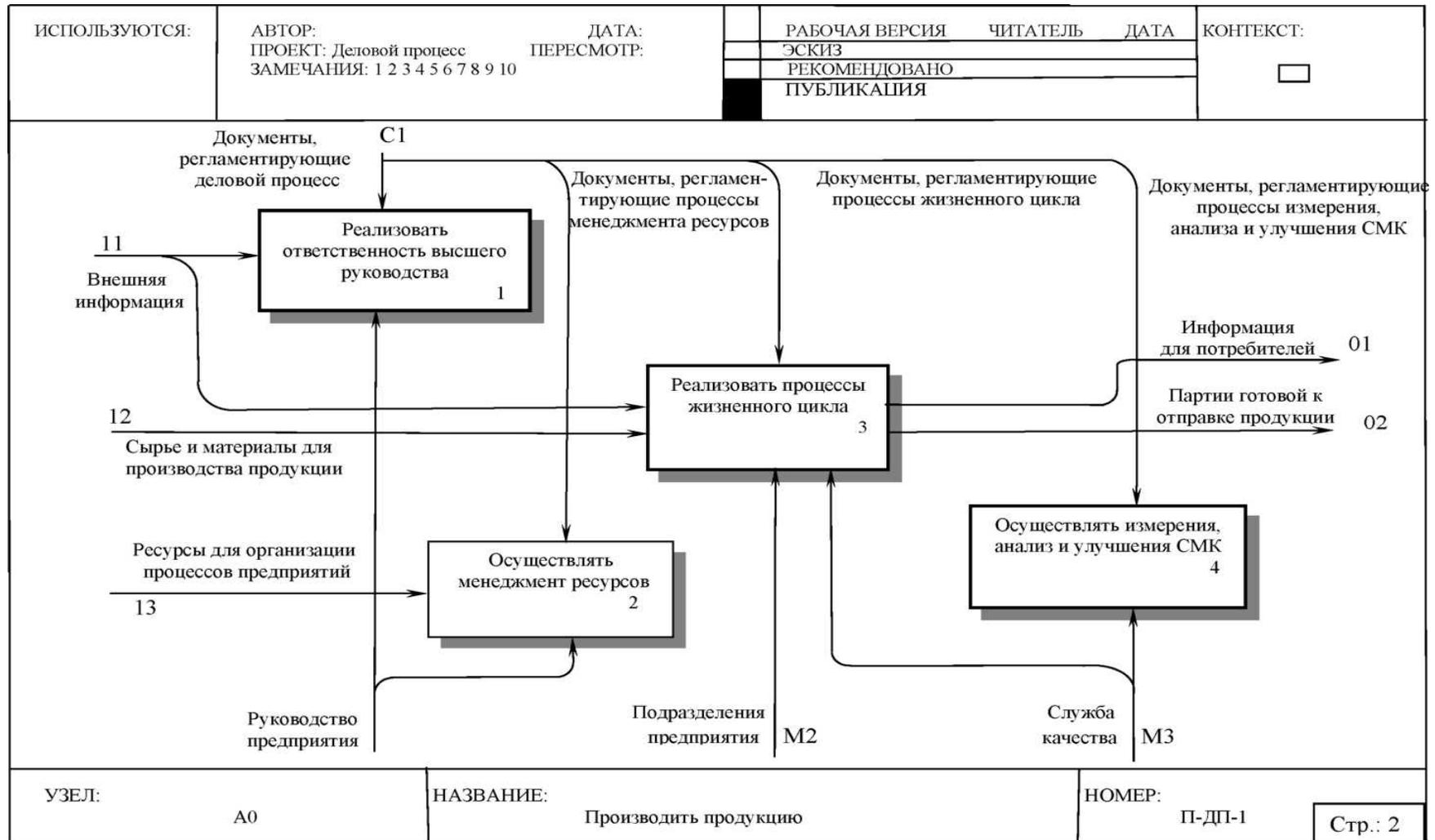


Рис. 3.20. Функциональный блок процесса «Производить продукцию»



150

Рис. 3.21. Декомпозиция процесса «Производить продукцию»  
 Обозначение: 11, 12, 13 – входы; 01, 02 – выходы; С1 – управление; М1, М2, М3 – механизмы

*Описание взаимодействия между процессами.*

Третьим этапом определения делового процесса является описание взаимодействий между процессами. Взаимодействие описывается с помощью интерфейсных дуг и обозначает передачу материалов или информации с выходов одного subprocessа на входы (управление, механизмы) другого subprocessа.

Применяются пять типов взаимодействий между блоками. Эти взаимодействия отражены на рис. 3.22.

В методологии IDEF0 допустимыми являются следующие взаимодействия между блоками в пределах одной диаграммы:

- управление;
- выход-вход;
- обратная связь по управлению;
- обратная связь по входу;
- выход-механизм.

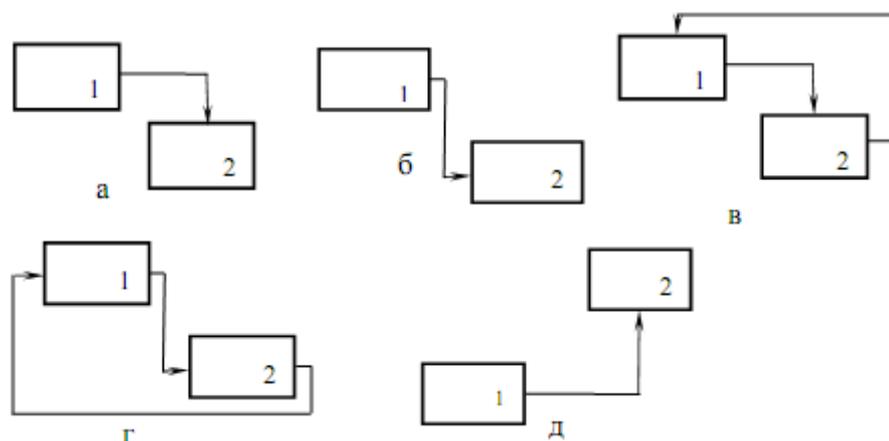


Рис. 3.22. Описание взаимодействия между процессами  
 а – управление; б – выход–вход; в – обратная связь по управлению; г – обратная связь по входу; д) выход–механизм

Взаимосвязь по управлению: выход одного процесса влияет на выполнение другого процесса, т. е. выходная дуга блока 1 является управляющей для блока 2. Такое взаимодействие определяет функцию управления «Ответственность руководителя» по отношению к другим процессам.

Взаимосвязь по входу: выход одного процесса является входом для другого, т. е. выходная дуга блока 1 является входной для блока 2. Это взаимодействие характерно для любых процессов в организации, например, для процессов жизненного цикла.

Обратная связь по управлению: выходы из одного процесса влияют на выполнение других процессов, выполнение которых, в свою очередь, влияет на выполнение исходного процесса. Выходная дуга блока 1 является управляющей для блока 2, а выходная дуга блока 2 является управляющей для блока 1.

Такое взаимодействие может определять как:

- функцию управления «ответственность руководства»;
- функцию управления «Управление процессами жизненного цикла»;
- функцию управления «Измерение, анализ и улучшение».

Обратная связь по входу: выход из одного процесса является входом для другого процесса, выход которого является для него, т. е. выходная дуга блока 2 является входной для блока 1, выход которого является для него входом. Такое взаимодействие может определять функцию управления «управление процессами жизненного цикла».

Взаимосвязь «выход-механизм»: выход одного процесса является механизмом для другого, т. е. выходная дуга блока 1 является дугой механизма для блока 2. Такой тип связи относится, чаще всего, к процессам обеспечения ресурсами. Такое взаимодействие может определять функцию управления «менеджмент ресурсов».

Практика показывает, что перечисленных пяти типов взаимодействий достаточно, чтобы определить взаимодействия между процессами любой сложности.

Отразим на рис. 3.23 диаграмму взаимодействия между процессами. Так, например, выход из блока 1 («Реализовать ответственность высшего руководства») является управляющим воздействием («Политика, цели, руководство по качеству») для всех остальных процессов. Процесс «Осуществлять менеджмент ресурсов» (блок 2) имеет связь «выход-механизм» с процессами «Реализовать процессы жизненного цикла» (блок 3) и процессом «Осуществлять измерения, анализ и улучшение» (блок 4). Здесь в качестве «механизма» выступает руководство предприятия. На диаграмме представлен контур обратной связи: выход процесса «Осуществлять измерения, анализ и улучшение» (блок 4) с входом процесса «Реализовать ответственность высшего руководства» (блок 1).

Четвертым этапом определения процессов является *декомпозиция* (детализация) процесса. Количество уровней детализации определяется целями моделирования и спецификой деятельности организации.

На диаграмме А0 (рис. 3.21) деловой процесс «Производить продукцию» представлен в виде четырех процессов. Диаграмма А0 является первым уровнем декомпозиции для этого процесса. Каждый из четырех процессов, в свою очередь, может быть декомпозирован. На рис. 3.24 представлена декомпозиция процесса «Реализовать процессы жизненного цикла». На диаграмме А3 (рис. 3.24) процесс «Реализовать процессы жизненного цикла» представлен в виде шести процессов, включая «Осуществить закупки», который также может быть декомпозирован.

Пятым этапом определения процесса является разработка *гlossария* процесса. Глоссарий процесса включает перечень процессов, объектов, обрабатываемых в рамках процессов, а также их определения. Глоссарий представляет собой упорядоченный в алфавитном порядке список терминов. Каждому термину из этого списка соответствует определение или

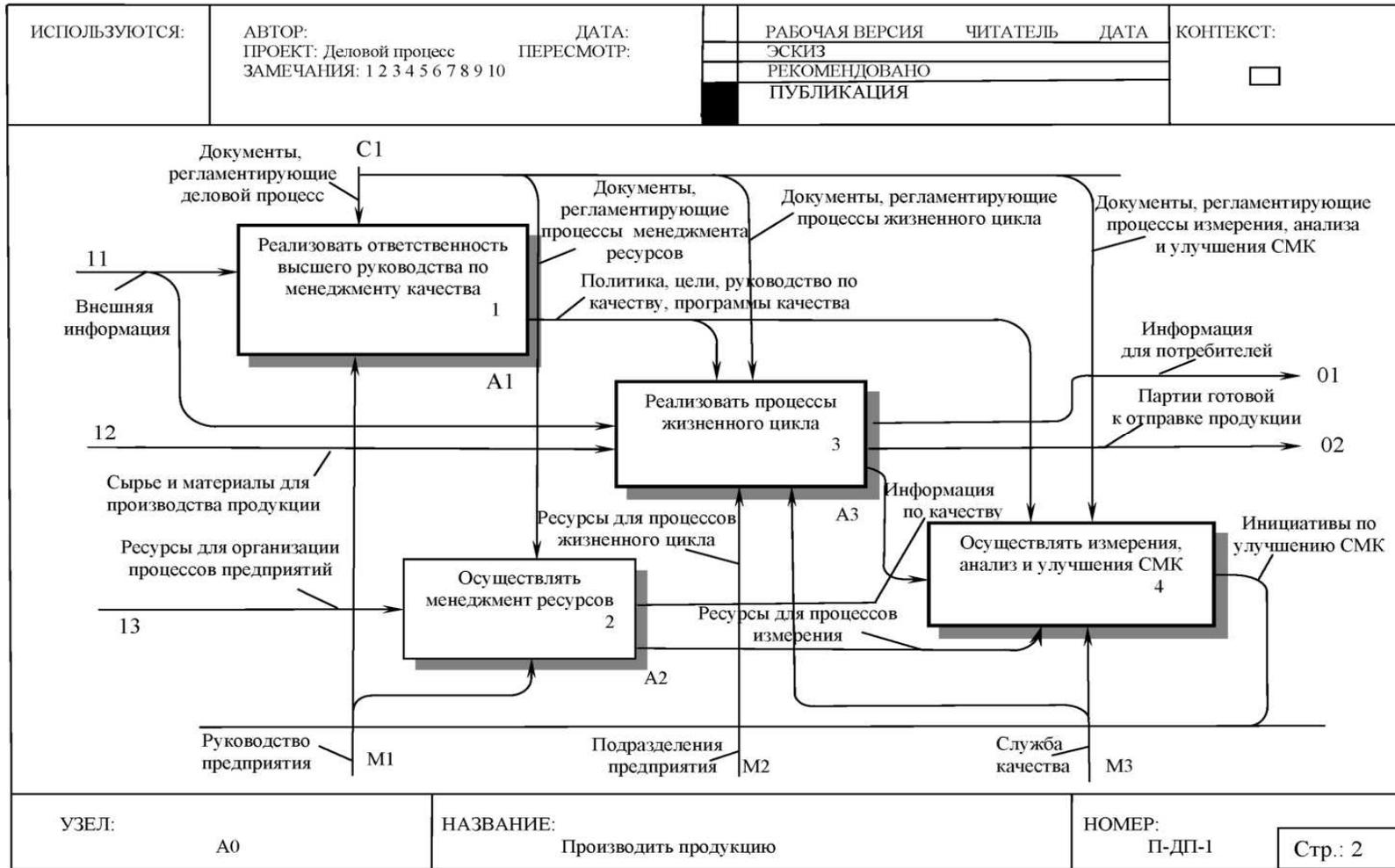
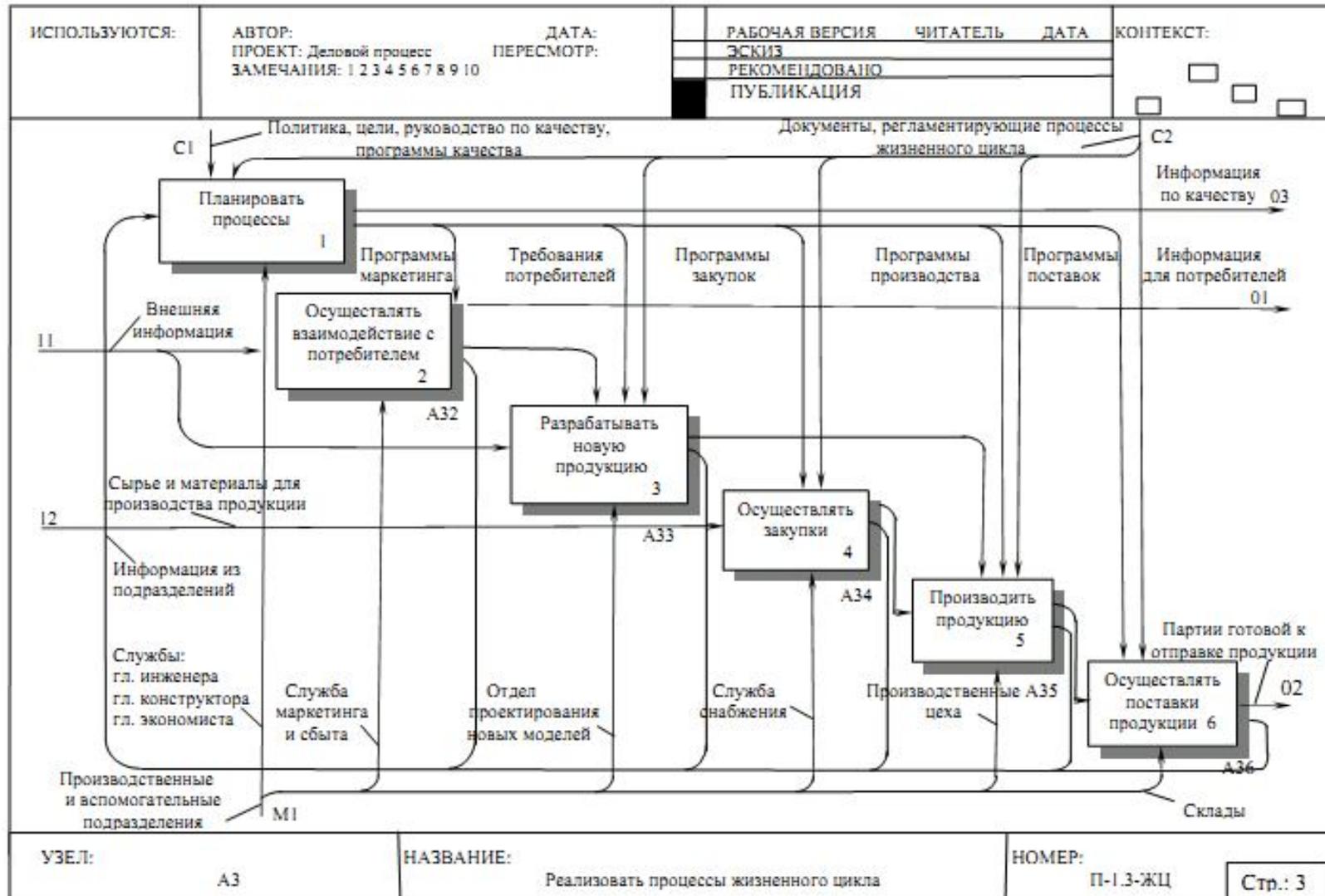


Рис. 3.23. Декомпозиция процесса «Производить продукцию» с учетом иллюстрации взаимодействия между процессами



154

Рис. 3. 24. Декомпозиция процесса «Реализовать процессы жизненного цикла»

ссылка на соответствующее определение, приведенное в нормативных документах организации или вышестоящих органов, регламентах и т.д. Так, например, для диаграммы АЗ рис. 3.2 в глоссарий должно войти каждое определение информации, входящей или исходящей из блоков диаграммы. Дадим определение нескольким из них:

- *программы закупок* – утвержденные руководством перечни партий комплектующих изделий, которые должны быть приобретены к определенным срокам;
- *информация для поставщиков* – пакет документов, содержащий вопросы, интересующие организацию (потребителя) относительно поставщика, его продукции и условий поставки;
- *информация от поставщиков* – пакет документов, содержащий ответы на вопросы, представленные в документации для поставщиков.

### *Классификация процессов*

В соответствии с методологией IDEF0, модель состоит из двух типов элементов: *функциональных блоков*, которые представляют процессы, и *интерфейсных дуг*, которые представляют материальные и информационные объекты, обрабатываемые в рамках процессов. Таким образом, классификация процессов является классификацией функциональных блоков и интерфейсных дуг.

Интерфейсные дуги, в зависимости от их положения на диаграмме, подразделяются на четыре категории: входные, выходные, управления и механизма. Дополнительно дуги могут быть классифицированы на пять категорий в зависимости от типа объектов, которые они представляют на диаграмме. К числу таких категорий относятся (рис. 3.25):

- 1) материалы, сырье, продукция, ресурсы;
- 2) информация, данные о качестве, записи качества, документы;
- 3) распоряжения руководства, планы, графики, распорядительные документы;
- 4) стандарты, нормативные документы;
- 5) ответственные исполнители, сотрудники организации.

Для более четкого изображения воздействий на диаграммах применяются дуги разного цвета: синий – для информации по качеству; красный – для распоряжений, планов, графиков; коричневый – для сырья, материалов, продукции; черный – для ответственных исполнителей; фиолетовый – нормативы, руководство по качеству. Функциональные блоки классифицируются в зависимости от типов процессов, которые они представляют. Типы процессов зависят от задач, решаемых с помощью функциональных моделей. Так, например, процесс «Планировать процессы» относится к типу *управленческих* процессов, в пользу этого вывода свидетельствует также то, что выход этого процесса (блок 1) является управлением для остальных процессов, представленных на диаграмме АЗ. Остальные процессы на диаграмме (блоки 2-6) относятся к категории *процессов жизненного цикла*, так как на входах и выходах этих процессов представлены материальные ресурсы, требования потребителей, информация.



Рис. 3.25. Типовые элементы и категории процесса

### Идентификация процессов

Существует несколько параллельных способов идентификации процессов в рамках IDEF0.

1. *Код вершины процесса.* Этот способ заключается в том, что все функциональные блоки (процессы) имеют идентификационные коды. Каждый идентификационный код начинается с прописной буквы «А», к которой присоединяется номер родительского блока и номер блока на диаграмме. Этот способ позволяет однозначно идентифицировать процесс.

2. *Ссылочный номер процесса.* Способ идентификации, при котором присваиваются ссылочные номера любому процессу. Структура ссылочного номера задается правилами, принятыми организацией.

3. *Наименование процесса.* Каждому процессу дается свое наименование, которое и используется для его идентификации.

Занесем в табл. 5. все способы идентификации рассматриваемого выше процесса «Производство продукции».

Таблица 5

### Идентификация процессов

Наименование процесса	Код вершины	Ссылочный номер
Производство продукции	АО	П-ДП-1
Реализовать ответственность высшего руководства	A1	П-1.1-МК
Осуществить менеджмент ресурсов	A2	П-1.2-В
Реализовать процессы жизненного цикла продукции	A3	П-1.3-ЖЦ

Окончание табл. 5

Наименование процесса	Кол вершины	Ссылочный номер
Планировать процессы	A31	П-1.3.1-М
Осуществлять взаимодействие с потребителем	A32	П-1.3.2-ЖЦ
Проектировать	A33	П-1.3.3-ЖЦ
Осуществлять закупки	A34	П-1.3.4-ЖЦ
Планировать закупки	A341	П-1.3.4.1-М
Подготовить документацию под закупки	A342	П-1.3.4.2-В
Осуществлять закупки и их контроль	A343	П-1.3.4.3-ЖЦ
Осуществлять производственные процессы	A35	П-1.3.5-ЖЦ
Осуществлять измерения, анализ и улучшение	A4	П-1.4-МК

*Документирование процессов*

Состав документов по процессам, используемых для их дальнейшего менеджмента (планирование, обеспечение, управление, улучшение), включает два вида документов: карту процесса и перечень процессов.

Для документирования процессов используется специальный бланк «Карта процесса», который разработан таким образом, что поля, содержащие рабочую информацию о процессе, расположены в верхней части бланка, а поля, содержащие идентификационную информацию, – в нижней части бланка. В средней части бланка расположено поле, в которое заносится описание процесса (в виде графической диаграммы или текста). Бланк «Карта процесса» приведен на рис. 3.26.

Использовано в:	Автор	Дата:		Рабочая	Читатель	Дата	Контекст:
				Черновая			
	Проект:			Рекомендовано			
	Замечания: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10			Публикация			
Вершина	Наименование			С-Номер		Стр.	

Рис. 3.26. Бланк «Карта процесса»

Бланк включает следующие поля:

1) раздел «Рабочая информация»:

- в поле «Автор / Дата / Проект» содержится информация об авторе диаграммы, когда она разработана и к какому проекту относится; в поле «Дата» могут содержаться также даты последующих ревизий диаграммы;

- поле «Замечания» читатель отмечает замечания, которые он вносит в диаграмму; каждому замечанию и комментариям к ним присваивается номер от 1 до 10, соответствующий номер зачеркивается в поле «Замечания», что практически гарантирует, что пользователь и разработчик не пропустят ни одного замечания, сделанного на диаграмме;

- в поле «Статус» отображаются текущие версии (состояние) документа: «рабочая», «черновая», «рекомендовано», «публикация»; новым диаграммам всегда присваивается рабочая версия, которая, как правило, содержит много замечаний в черновой версии диаграмма по сравнению с предыдущей версией мало изменилась; публикация – это статус версии после рассмотрения и утверждения рабочей группой диаграммы;

- в поле «Контекст» указывается графическим или иным образом уровень иерархии данной диаграммы в общей структуре описания процесса;

2) раздел «Идентификационная информация»:

- в поле «Вершина» содержится код родительского блока, декомпозиция которого представлена на диаграмме;

- в поле «Наименование процесса» содержится название процесса, представленного на диаграмме;

- в поле «Ссылочный номер» («Номер») содержится ссылочный номер процесса, представленного на диаграмме;

- в поле «Страница» («Стр.») указывается номер страницы в документе, к которому относится данная диаграмма.

Для документирования перечня процессов используется специальный бланк «Перечень процессов». Бланк содержит набор специальных полей. В поля верхней части бланка заносится информация о разработчике (авторе) документа; о дате его создания; об исправлениях, вносимых в документ; о датах этих изменений и другая информация, необходимая для управления документацией на процессы.

В средней части бланка располагается информация по описанию процессов в организации. Описание процесса представляет собой строку, содержащую следующую информацию:

1) поле «Страница» – номер страницы, на которой находится описание процесса;

2) поле «Вершина» – номер функционального блока;

3) поле «Наименование» – наименование функционального блока, представляющего процесс;

4) поле «Ссылочный номер» – идентификационный номер, присвоенный данному процессу;

5) поле «Статус» – статус описания процесса (Р – рабочий, Ч – черновой, П – публикация).

Нижняя часть бланка содержит информацию о наименовании перечня процессов, а также ссылочный номер перечня процессов.

Пример заполнения бланка «Перечень процессов» приведен на рис. 3.27.

Номер документа УК001		Автор ТК «Управление качеством» Дата 01-окт-2001 Проект № 001			Исправлено	Дата
					Автор	Дата
Стр.	Вершина/Название/С-Номер	Статус	Стр.	Вершина/Название/С-Номер	Статус	
1	A0 «Производить продукцию»	П	13	A343 «Осуществлять закупки и их контроль»	П	
2	A1 «Реализовать ответственность высшего руководства по управлению качеством»	П				
3	A2 «Осуществлять менеджмент ресурсов»	П				
4	A3 «Реализовать процессы жизненного цикла»	П				
5	A4 «Осуществлять измерения, анализ и улучшения СМК»	П				
6	A31 «Планировать процессы»	П				
7	A32 «Осуществлять взаимодействие с потребителями»	П				
8	A33 «Разрабатывать новые модели»	П				
9	A34 «Осуществлять закупки»	П				
10	A35 «Производить продукцию»	П				
	A36 «Осуществлять поставки продукции»	П				
11	A341 «Планировать покупки»	П				
12	A342 «Подготовить документацию для закупок»	П				
<b>Наименование документа/ модели С-Номер</b>						Стр. 5

*Примечание.* Буква «П» в колонке «Статус» обозначает, что соответствующие карты процессов имеют статус «Публикация».

Рис. 3.27. Пример документа «Перечень процессов на производстве»

Порядок проведения работ по определению, классификации и идентификации процессов. Эффективное управление проектом описания процесса представляет собой также процесс, в ходе которого координируется работа разработчиков, экспертов и руководства организации. На рис. 3.28 приведена модель процесса определения, классификации и идентификации процессов, разработанная по методологии IDEF0. Модель процесса включает сбор информации об исследуемом процессе, документирование полученной информации, представление информации в виде модели, классификацию процесса в рамках модели, уточнение модели посредством итеративного рецензирования.

Подготовительный этап. На этом этапе производится:

- формулирование цели, точки зрения о представлении будущих моделей процессов и об их предполагаемом использовании в будущем;
- формирование рабочей группы из числа сотрудников организации и привлеченных специалистов;
- согласование планов и сроков по проекту среди всех участников, назначение ответственных исполнителей по проекту, а также составление и утверждение сроков и бюджета по проекту.

*Порядок создания модели.* На этом этапе проводятся следующие работы:

- сбор информации (обзор документов, опросы, анкетирование, наблюдение за работой сотрудников в подразделениях и пр.)
- документирование полученной информации (проводится работа по созданию моделей процессов); процесс создания модели осуществляется с помощью метода декомпозиции, для документирования информации о процессе создается диаграмма A-0, где процесс представлен одним функциональным блоком, внутри которого разработчик фиксирует название процесса;
- построение диаграмм начинается с вершины A0 (но не A-0); нижние уровни уточняют структуру и содержание моделируемого процесса, детализируют его, но не расширяют границы; при детализации, декомпозируя каждый блок диаграммы A0, необходимо более подробно отражать то, что представлено на родительском (предыдущем в иерархии) блоке; имея неструктурированные перечни объектов и процессов, можно приступить к графическому представлению отдельных блоков и соединению их при помощи дуг;
- проверка корректности модели: построенные модели процессов проходят рецензию, после чего все замечания поступают к разработчику, который их обобщает и вносит изменения.

*Порядок классификации процессов.* Классификация осуществляется в два этапа. На первом этапе разработчик последовательно, диаграмма за диаграммой, осуществляет разметку (маркировку) линий (интерфейсных дуг) в зависимости от категорий объектов. На втором этапе разработчик анализирует функциональные блоки. На основании входов и выходов каждого блока разработчик принимает решение о категории процессов.

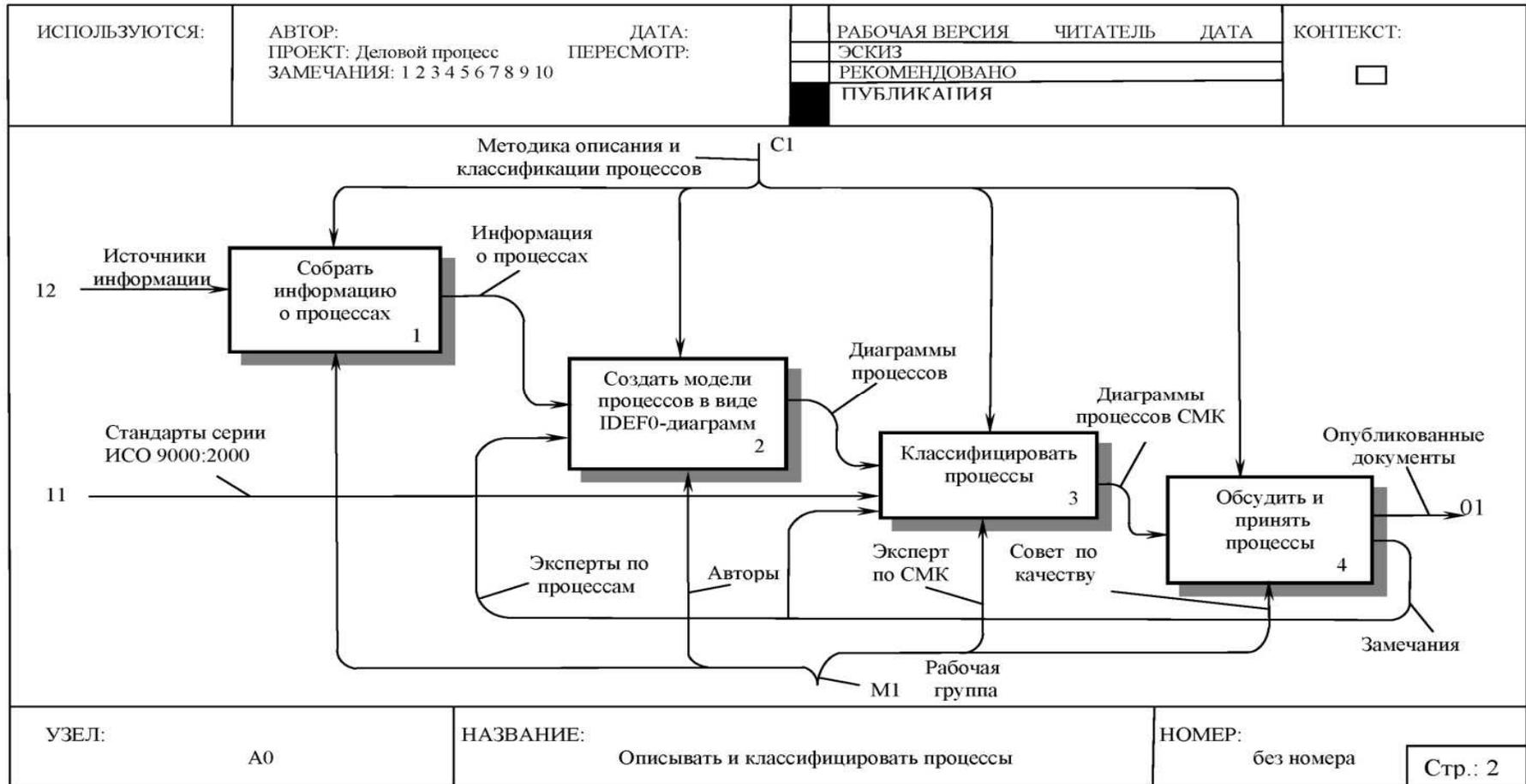


Рис. 3.28. Порядок проведения работ по определению, классификации и идентификации процессов

*Порядок идентификации процессов.* В процессе создания модели разработчик должен присвоить всем функциональным блокам модели наименования, а также коды вершин и ссылочные номера.

*Порядок утверждения моделей.* Каждая модель создается с определенной целью, которая записана на диаграмме А-0 в названии процесса. Эта цель должна быть достигнута. В процессе моделирования создается рабочая группа специалистов, ответственных за то, что создаваемая модель будет точной и соответствующей назначению. Если модель признана рабочей группой применимой, она одобряется и утверждается.

Деятельность по управлению процессами включает в себя последовательность этапов управления, определенных стандартами ИСО 9000:2000: планирование, мониторинг, измерение, контроль, анализ, улучшение. Каждый из этих этапов важен для нормального функционирования системы управления качеством.

*Планирование процесса.* Специфика и методы планирования процесса определяются видом и назначением процессов. В соответствии с их классификацией имеются значительные отличия в планировании процесса, представляющего собой организационную деятельность, или процесса по организации ресурсов.

Очевидно, что как исполнители работ по планированию и разработке процессов, так и состав документов на процесс будут различными. Но в обоих случаях стандарт требует наличия документов, необходимых для обеспечения эффективного планирования, осуществления и управления процессами.

Эффективность планирования будет тем выше, чем яснее целевая функция для исполнителя процесса. Реализация каждого процесса должна быть обеспечена ресурсами, поэтому технико-экономическое обоснование необходимости данного процесса является неотъемлемой частью планирования, так же как и учет затрат, и калькуляция себестоимости процесса.

*Мониторинг процесса.* Процесс, как и любой объект, требует системного наблюдения за его реализацией, для чего необходимо выбрать соответствующий метод мониторинга. Порядок мониторинга процесса должен быть описан в документации на процесс. При этом должны быть определены требования к мониторингу, исполнители и их квалификация, контрольные точки процесса, периоды их проверки (если отсутствует непрерывное наблюдение за ходом процесса). Информация о мониторинге должна систематически обобщаться и по результатам анализа, в случаях несоблюдения требований документации, предпринимаются коррекция и корректирующие действия для обеспечения соответствия.

Мониторинг процессов осуществляется на тех этапах жизненного цикла продукции, на которых эта процедура при планировании процессов предусмотрена документацией.

*Измерения процессов.* Как известно, улучшение процесса можно проводить только в том случае, если характеристики процесса можно измерить. Поэтому измерение процессов является необходимым условием выявления способности процесса достигать запланированных результатов с целью обеспечения качества процессов и продукции.

Для проведения измерений предприятием должны быть выделены необходимые ресурсы и определена информация, обеспечивающая обработку результатов измерения, а именно:

- измеряемые параметры и требования к ним;
- применяемое измерительное оборудование;
- методики проведения измерений;
- журналы по данным измерений;
- графики проведения измерений;
- квалификация персонала, осуществляющего измерения.

Стандартами ИСО 9000:2000 также предусмотрены требования по постоянному улучшению методов, средств и регламентов, используемых для объективного измерения характеристик процесса. Вместе с этим в последнее время ведущие предприятия считают необходимым проводить измерения не только характеристик, но и результативности и эффективности процессов менеджмента.

*Контроль процесса.* При разработке документации на процесс определяется как необходимость контроля, так и его объемы. Если требования к процессу определены, а также налажен контроль выполнения этих требований, результатом этого контроля должны быть соответствующие записи (протоколы), свидетельствующие, что конкретный процесс жизненного цикла продукции соответствует требованиям документации.

*Анализ процесса.* Предприятие должно определить, собрать и проанализировать соответствующие данные, чтобы подтвердить пригодность и результативности системы менеджмента качества. Особое внимание должно быть уделено проблемным процессам, состояние качества которых внушает опасение.

Для каждого процесса соответствующего этапа жизненного цикла продукции должны быть описаны цели и методы анализа, а также возможности проведения предупреждающих и корректирующих действий.

*Улучшение процессов.* Стандарты ИСО 9000:2000, в отличие от стандартов старой версии пронизаны необходимостью улучшения качества как важнейшего фактора конкурентоспособности продукции. Более того, стандарт ИСО 9004:2000 полностью посвящен проблемам улучшения качества. В сочетании с процессным подходом эти факторы придают новой версии стандартов динамичность и гибкость в выборе методов совершенствования продукции и процессов предприятия.

Специфика этапа «улучшение качества процессов» в том, что в этом процессе нет готовых рекомендаций по улучшению. Каждая новая

проблема не похожа на предыдущую проблему и требует своего подхода к ее решению. Именно процессы улучшения определяют сегодня, кто успешнее работает в рынке, чья продукция является конкурентоспособной.

Это и определило введение разделов в настоящем пособии по улучшению качества процессов.

### 3.6. Улучшение процессов

По сегодняшним меркам менеджмента качества улучшение процессов является неотъемлемым этапом управления процессами. Актуальность проблемы улучшения качества процессов может быть вызвана несколькими причинами:

- а) выявление и искоренение причин и последствий брака;
- б) проведения профилактических работ по предупреждению дефектов и отклонений с целью профилактики брака;
- в) постоянное улучшение процессов с целью непрерывного повышения конкурентоспособности продукции и организации.

Разберем каждую из перечисленных причин актуальности и необходимости улучшения процессов.

*Выявление и искоренение причин брака продукции и процессов.* Проблема искоренения брака в производстве продукции может иметь временный характер, когда идет приработка производственных и особенно технологических систем к началу выпуска продукции. Проблема усугубляется, если в серийное производство пошло изделие, не прошедшее полной конструкторской отработки. Тогда увеличивается номенклатура причин брака и объем исследований по выявлению и искоренению конструктивных и техническим причинам или отклонение от технической документации) – налицо, алгоритм выявления причин брака значительно упрощается (рис. 3.29).

Из алгоритма видно, что технология выявления и устранения причин брака имеет два напряженных этапа: подтверждение правильности версии о причине брака, подтверждение правильности мероприятий по искоренению брака.

Эти два напряженных момента связаны с тем, что на этих этапах присутствует *творческий элемент* решения проблемы, связанный с определенной долей вероятности правильности решения.

На остальных этапах технологии (алгоритма) используются методы, которые основаны на детерминированных факторах, то есть имеющие однозначное решение. Рассмотрим эти *методы* (или *инструменты*, как их принято называть в Японии).

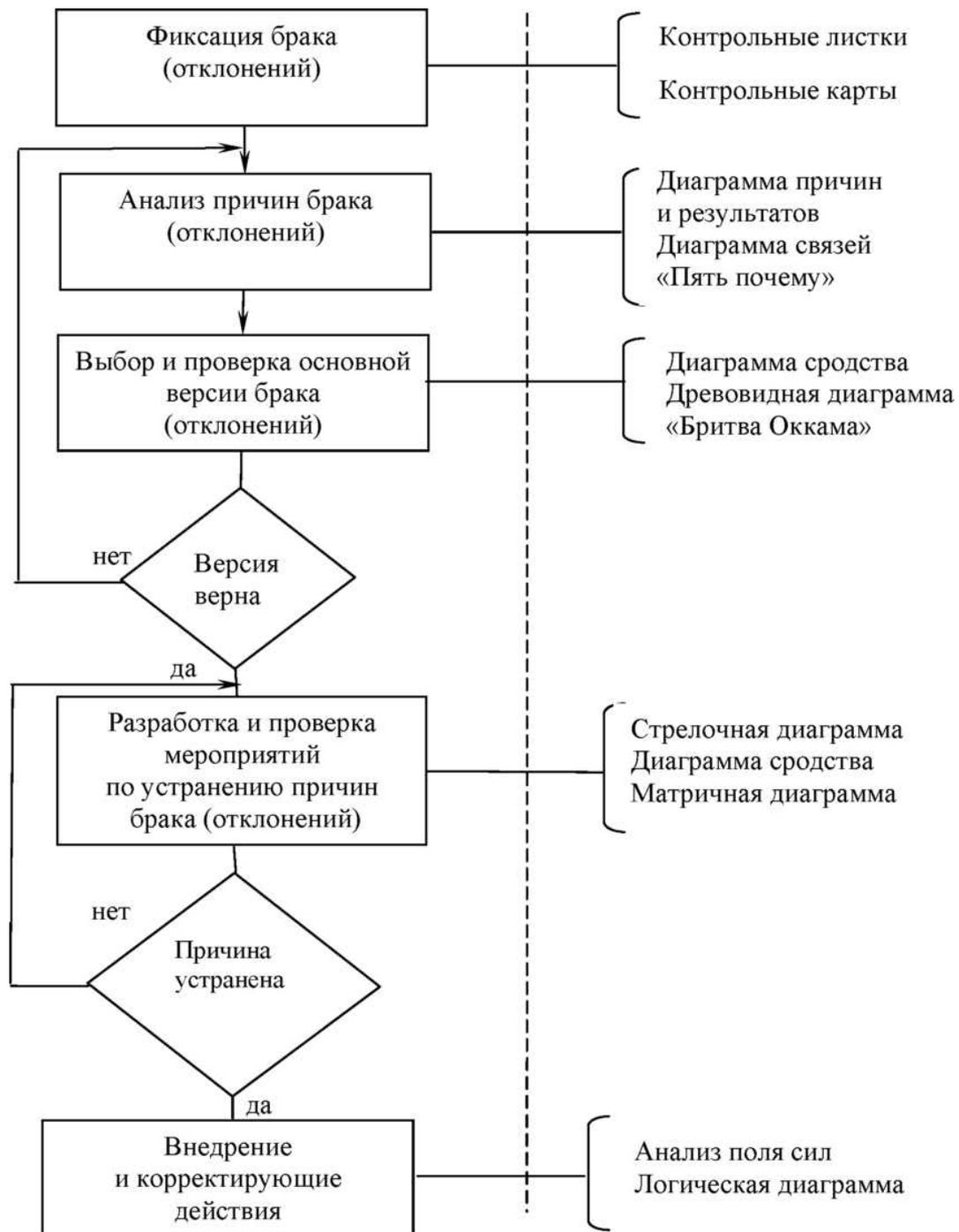


Рис. 3.29. Алгоритм выявления и искоренения причин брака (отклонений)

На этапе «Анализ причин брака» применяются следующие, достаточно распространенные в практике предприятий, методы:

- диаграмма причин и результатов (диаграмма Исикавы);
- диаграмма связей (график связей);
- анализ коренной причины (пять «почему?»).

Краткие описания методов будут приведены ниже, после рассмотре-

ния других вариантов проблемы улучшения качества процессов, так как одни и те же методы применяются практически во всех вариантах.

На этапе «Выбор основной версии причины брака» производится генерация идей по возможной причине брака. Как правило, такая генерация проводится коллективно, с целью психологической активизации творчества. Для повышения эффективности генерации идей разработаны методологические подходы к регламенту проведения, а также обобщения результатов таких коллективных обсуждений проблемы, которые помогают быстрее прийти к цели, то есть к выделению версий причин брака. Такие методологические подходы называются методами «мозгового штурма» или «мозговой атакой». Есть и другие, менее известные на практике методы генерации идей:

- диаграмма сродства;
- древовидная диаграмма;
- матричная диаграмма;
- метод «Бритва Оккама».

Когда выясняется, что выбранная версия причины брака не верна, цикл «анализа причин» и «выбор версии» повторяются.

После выявления основной причины брака разрабатываются мероприятия по устранению этой причины. В меньшей степени, чем на этапе «Выбор версии», здесь возможны недостаточно эффективные и даже ошибочные мероприятия, которые или не искореняют причину брака, или приводят только к сокращению вероятности брака. На этапе «Разработка мероприятий» так же, как и при выборе версии, используются методы «мозгового штурма».

На последнем этапе «Внедрение мероприятий» применяются следующие методы:

- стрелочная диаграмма;
- анализ поля сил;
- логическая диаграмма.

Очевидно, что в принятые мероприятия войдут и шаги по корректировке технологической документации.

*Предупреждение и профилактика брака (отклонений).* Работы по профилактике брака можно проводить как *до начала* производства продукции, так и *после*.

В первом случае профилактика брака называется процессом *идентификации рискованных событий* – установление возможных мест возникновения брака или отказа в планируемом технологическом процессе [28]. Для выявления рискованных событий разработан метод FMEA – процесс, где FMEA (failure modes and effects analysis) – метод анализа причин и последствий отказов. Метод используется для:

1) систематического выявления всех вероятных отклонений в разработанном технологическом процессе;

- 2) оценивания последствий отклонений для потребителя;
- 3) определения возможных причин отклонений;
- 4) анализа мер по предупреждению отклонений.

В результате анализа документации о процессе определяются потенциальные дефекты, потенциальные причины дефектов, потенциальные последствия дефектов для потребителей, возможности контроля появления дефектов, *параметры тяжести последствий (E), параметры частоты возникновения дефекта (A), параметры вероятности обнаружения дефекта (B)*. Решение о целесообразности дальнейшего исследования качества процесса определяется *величиной риска (R)*, который оценивается в баллах (от 1 до 10) по каждому параметру. Если суммарный риск ( $R = E \cdot A \cdot B$ ) не превышает 60 баллов, то процесс (или элемент процесса) считается нормальным. Если суммарный риск больше, то разрабатываются мероприятия по исследованию качества данного процесса или операции.

После начала производства продукции профилактика дефектов (брака) проводится путем систематического наблюдения за ходом и результатами процесса. Этот раздел по предупреждению и профилактике брака называют также *регулированием процессов статистическими методами*.

Технологию процесса профилактики можно отразить алгоритмом управления процессом на основе предупреждающих факторов.

Естественный ход (контролируемые показатели) процесса через определенные промежутки времени (чаще всего ежедневно) фиксируется на контрольной карте и/или в контрольных листках.

*Контрольная карта* является практически идеальным инструментом оценки хода процесса, так как содержит несколько специфических условий процесса, нарушение которых информирует персонал о наличии *предупреждающих* факторов. К этим специфическим условиям относятся:

- 1) выход значения измеряемого параметра (показателя) за пределы контрольных границ;
- 2) наличие тренда (дрейфа) значений;
- 3) наличие серии значений;
- 4) приближение значений к контрольным границам.

Выход значений параметра за пределы контрольных границ означает, что процесс *не отлажен (не отрегулирован)*. Если имеют место разовые выходы, то, возможно, это случайные отклонения, вызванные специальными причинами, то есть не связанными с элементами технологической системы. Если при этом не зафиксированы отклонения от документации, то процесс *контролируемый*, а если имеет место отклонение от документации, то процесс *неконтролируемый*.

Нарушение остальных специальных условий означает также, что процесс находится в *неустойчивом состоянии (нерегулируемый)*. Выявление в процессе *предупреждающих* факторов запускает алгоритм исследования причины их возникновения и последующего устранения (рис. 3.30).

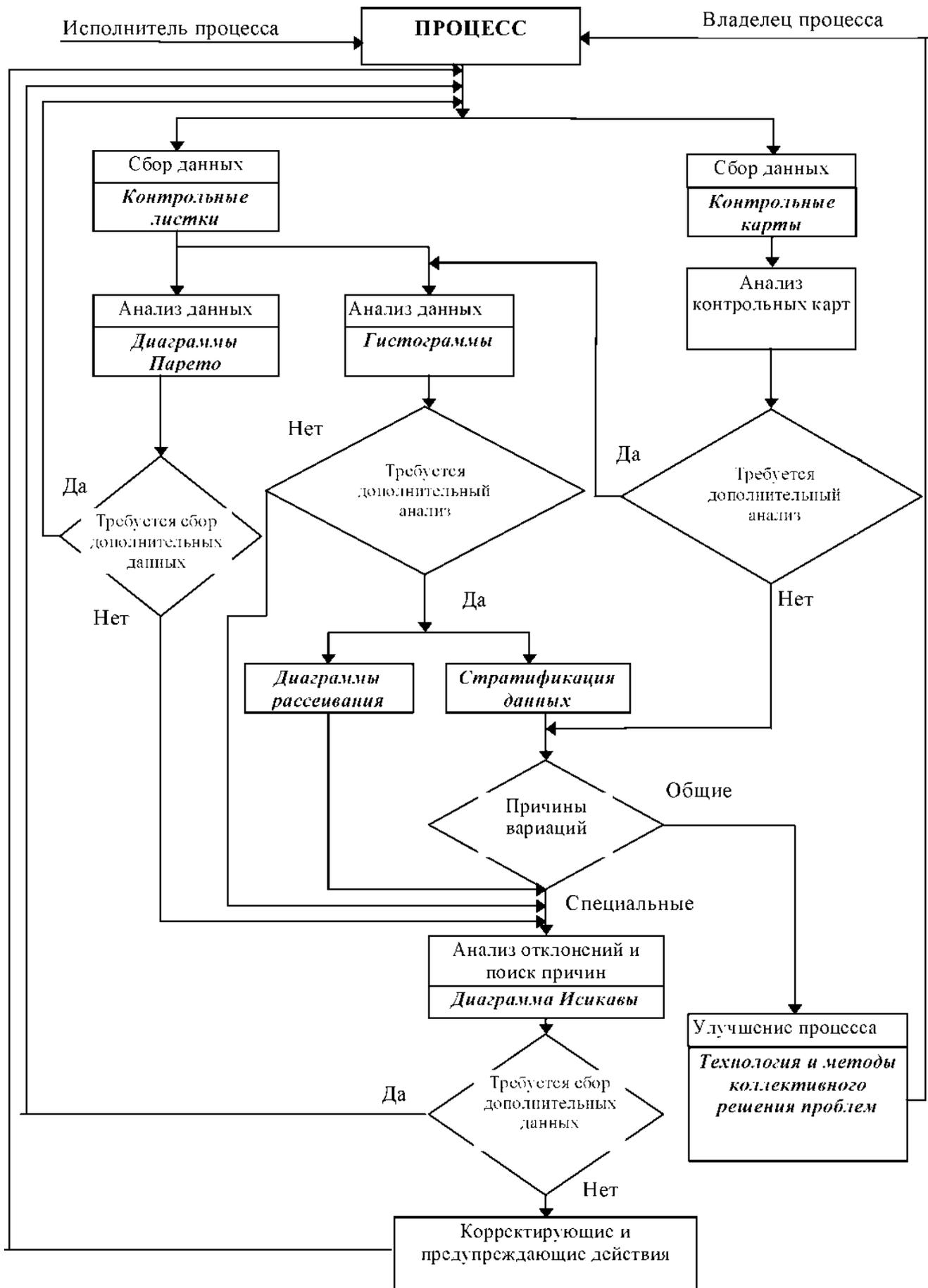


Рис. 3.30. Алгоритм исследования причин дефектов и отклонений [29]

Отметим, что если процесс неконтролируемый, то он исследуется по пункту «а».

*Контрольный листок* – это специальный бланк, предназначенный для фиксации информации о процессе с целью облегчения ее сбора и упорядочения для последующей обработки. Типы контрольных листков:

- 1) для регистрации видов дефектов;
- 2) выявления признаков причин дефектов;
- 3) локализации дефектов;
- 4) регистрации распределения измеряемого параметра.

Алгоритм процесса профилактики состоит из двух ветвей, в основе которых лежат методы фиксации (сбора) информации (контрольные листки и контрольные карты).

В каждой из ветвей имеются этапы «анализ», «выбор версии причины» и «разработка мероприятий по устранению причин». Этап «внедрение мероприятий» соответствует проведению корректирующих действий и изменению документации. На этих этапах используются те же методы, что и в пункте «а» на аналогичных этапах.

Однако на этапе «анализ информации о процессе» появляются новые методы (инструменты): диаграмма Парето, гистограмма, стратификация данных, диаграмма рассеяния.

Следует обратить внимание на то, что алгоритм (рис. 3.31) разработан только с использованием семи простых статистических методов: контрольный листок; диаграмма Парето; гистограмма; стратификация данных; диаграмма рассеивания; диаграмма причин и результатов; контрольная карта.

*Постоянное улучшение.* Системное, а самое главное, непрерывное улучшение качества процессов, в котором задействован не один работник, а весь коллектив организации, требует организационно-методического воздействия, которое направлено не только на улучшение творческого состояния организма работающих, но и на удовлетворение требований потребителя. Практика TQM (Всеобщее управление качеством) показала, что непрерывное многолетнее совершенствование качества может привести к выдающимся результатам. Так, для японской экономики последних десятилетий присущ принцип поиска в управлении качеством новых методов, учитывающих изменение условий в экономике и обществе.

Впервые обоснование концепции непрерывного совершенствования качества дал В. Шухарт в виде замкнутого цикла. Развитие идей Шухарта американским ученым Э. Демингом привело к созданию цикла PDCA, который расшифровывается как Plan Do-Check-Act (планируй – выполняй – проверяй – корректируй), называемого в литературе циклом Шухарта-Деминга (рис. 3.32).

В современной литературе имеется много модификаций этого цикла, но суть непрерывного улучшения за счет последовательных действий от идеи до внедрения остается неизменной.

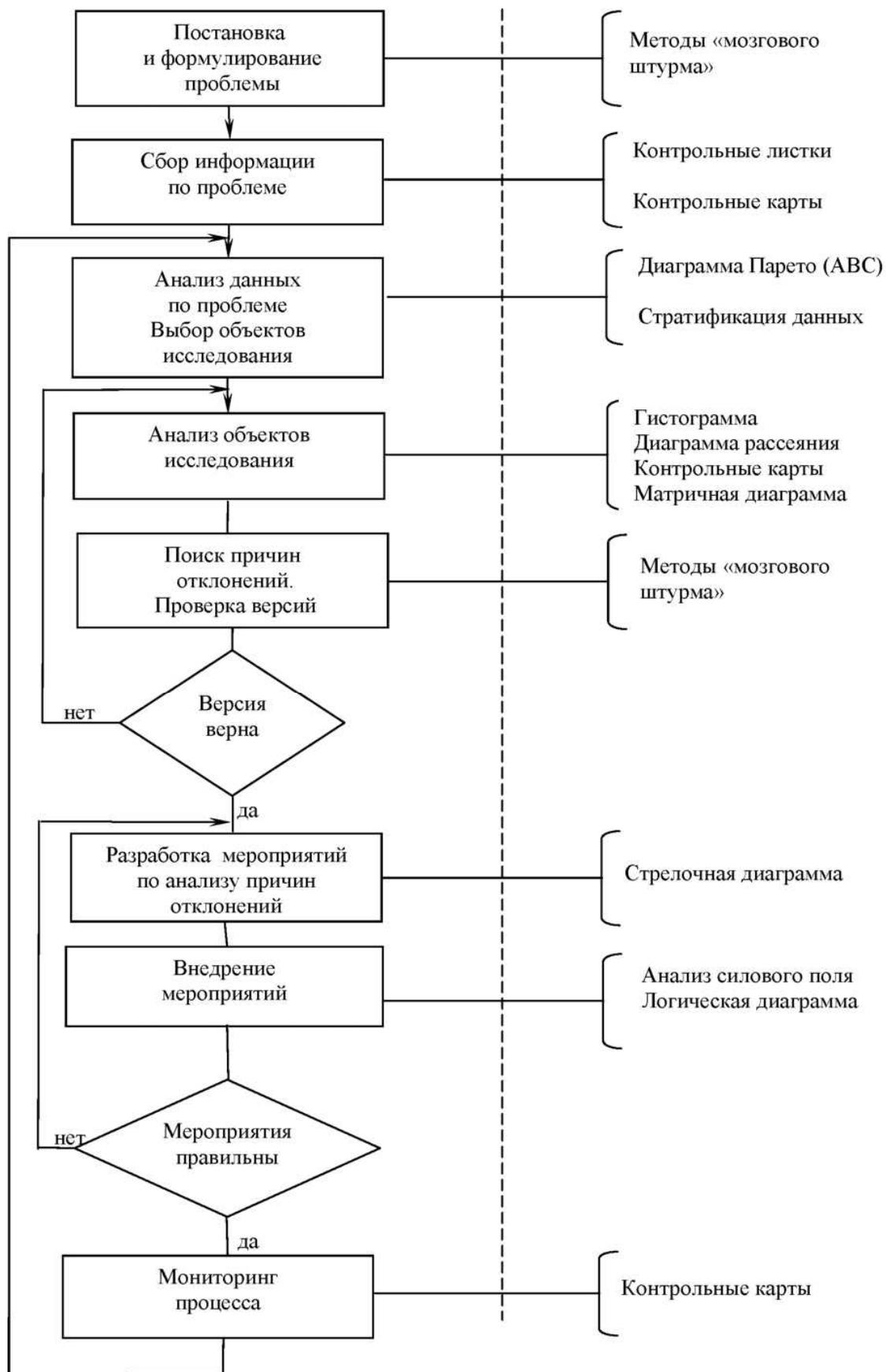


Рис. 3.31. Алгоритм технологии улучшения процессов

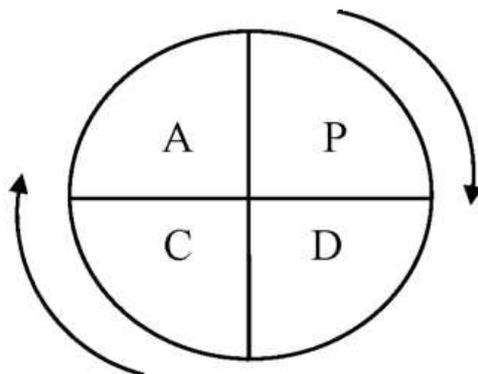


Рис. 3.32. Цикл Шухарта-Деминга

Создание системы постоянного улучшения качества процессов в соответствии с рекомендациями ИСО 9000:2000, желательно вовлечь в эту деятельность всех работников предприятия. Вместе с этим можно выделить ряд лиц и коллективов, для которых постоянное улучшение качества процессов является практически неотъемлемой частью их повседневной деятельности:

- 1) конструкторский персонал, осуществляющий авторский надзор за ведением и изменением конструкторской документации по конкретной выпускаемой продукции;
- 2) технологический персонал, отвечающий за ведение технологической документации по конкретной выпускаемой продукции;
- 3) контрольный персонал, занятый в реализации конкретных процессов;
- 4) инженерный и мастерский состав основного производства;
- 5) кружки качества в цехах и отделах;
- 6) «горизонтальные» творческие бригады;
- 7) межфункциональные творческие бригады;
- 8) заводской актив рационализаторов и изобретателей, высококвалифицированные рабочие и наладчики оборудования.

На наш взгляд, координацию работ по улучшению качества процессов надо возложить на менеджеров по качеству конкретных видов продукции.

#### *Выбор тематики работ по улучшению качества процессов*

Уже сама постановка проблемы исследований, определение задач и объектов исследований является творческой деятельностью, которую необходимо планировать и обеспечивать необходимыми ресурсами.

Постановка проблемы исследований является стратегической задачей как минимум на год вперед. Все перечисленные выше коллективы (бригады, кружки, отдельные группы), конечно, должны работать по конкретной тематике (объектам исследования), а основные направления творческой деятельности должно определить руководство предприятия. Для этого желательно создать команду специалистов из функциональных отделов и

производственных подразделений, которая с использованием методологии «мозгового штурма» должна выявить главные проблемы, решение которых позволит значительно повысить эффективность и результативность работы предприятия, и представить их руководству. В этом случае решение проблемы повышения качества процессов будет одним из возможных приоритетных направлений деятельности.

Попробуем смоделировать работу команды по решению проблем. Поскольку нас интересует улучшение качества процессов, то, прежде всего, выделим главные факторы, влияющие на изменение качества процессов:

- повышение квалификации работников;
- снижение дефектности;
- улучшение метрологического обеспечения качества;
- изменение структуры процессов;
- улучшение методов контроля процессов;
- улучшение менеджмента процессов;
- внедрение новых стимулов мотивации к качеству работы и др.

Преимущество работы в команде заключается в том, что, обсуждая эту проблему коллективно, можно найти еще несколько важных факторов, которые, на первый взгляд, находятся в тени.

#### *Выбор факторов*

Для этого необходимо определить критерии приоритетности по решению проблемы, которая связана с конкретным фактором. Критериями могут быть величина дефектности продукции, минимизация затрат, величина прибыли, снижение численности персонала и др. Выбор фактора можно решить голосованием в команде. Пусть большинство выбрало такой фактор, который приводит к наименьшим затратам при решении проблем. Но при экономическом обосновании оказалось, что решение этой проблемы не приведет к необходимому увеличению доходов предприятия (затраты на решение проблемы больше, чем доходы от внедрения).

Попробуем поставить на первый план имидж (авторитет) фирмы, требующий, чтобы наше предприятие не выпускало бракованную продукцию, то есть выбрали фактор «снижение дефектности». Следует отметить, что этот фактор не только экономит затраты на брак, но и увеличивает удовлетворенность потребителей, которая реализуется в увеличении числа продаж.

Допустим, что мы остановились на проблеме «снижение дефектности». А как снижать дефектность, какими способами? Опять возвращаемся к методам «мозгового штурма». Не будем искать все факторы, способствующие снижению дефектности, а выберем, как нам кажется, наиболее приоритетный (важный) – снижение вариабельности технологических систем.

Итак, проблема исследований сформулирована: улучшение качества процессов за счет снижения вариабельности технологических систем.

Но сформулировать общую проблему – не значит определить место и методы ее решения.

*Выбор объектов (технологических систем), на которых будет улучшено качество за счет снижения вариабельности*

Очевидно, что в качестве объектов исследования необходимо отобрать, прежде всего, технологические системы тех процессов, при реализации которых есть проблемы с качеством. Для этого нужно собрать информацию о таких процессах и, естественно, о соответствующих технологических системах. Если такой информации нет, то необходимо ее найти путем отслеживания хода процессов. Информацию нужно отражать или на контрольных картах или в контрольных листках.

Собранную информацию с контрольных листков необходимо обработать с помощью диаграмм Парето. В информации о дефектах (отказах) нужно отразить данные о стоимости дефекта (отказа). Кумулятивную кривую диаграммы Парето надо строить по суммарным потерям по каждому виду дефектов (отказов). Построение стоимостной диаграммы Парето называется *методом ABC*. На основании правила 80/20 необходимо отобрать те виды дефектов (а, значит, и технологических систем), которые приносят наиболее значимые потери в стоимости процесса.

*Анализ вариабельности технологических систем (ТС)*

Для оценки вариабельности (полей рассеяния) измеряемого параметра процесса при изготовлении партии продукции на основании информации о процессе строятся *гистограммы*. Как правило, принимается, что распределение случайных значений параметра подчиняется нормальному закону распределения, что позволяет поле рассеяния выразить через  $6\sigma$ . Далее определяется *индекс воспроизводимости процесса*  $C_p$ :

$$C_p = \frac{T}{6\sigma}, \quad (3.2)$$

где  $T$  – допуск на параметр,

$\sigma$  – среднеквадратическое отклонение распределения.

В практике российских предприятий еще в 1990-х годах технологический процесс считался контролируемым, если индекс воспроизводимости  $C_p$  был равен 1. Процесс контролируемый, если значения параметра не выходят за поле допуска. Из теории вероятности известно, что при  $C_p = 1$  в поле допуска находится 99,73 % всех значений параметра. Значит, находящиеся вне поля допуска остальные 0,27 % значений параметра являются браком. Учитывая, что это достаточно малая величина, на предприятиях считали процесс нормальным, то есть контролируемым.

А вот американская фирма «Моторола» посчитала, что такой брак является неприемлемым для потребителей, так как на каждый миллион вы-

пущенных изделий фирма производила 2700 бракованных. Такое производство для этой фирмы не могло называться бездефектным. Более того, эта фирма предложила новую стратегию «Шесть сигм», направленную на радикальное снижение вариабельности процессов.

Необходимость повышение точности ТС стали понимать и в России. Сегодня уже многие российские предприятия переходят на оценку брака в размерности «ppM» – число отказов на миллион событий. Но, в какой бы размерности не оценивали брак, результаты улучшения оцениваются в отношении «было/стало». Так вот, отдельные ведущие зарубежные фирмы довели допустимый брак до величины 4-10 отказов на миллион событий, то есть снизили дефектность продукции примерно в 300 раз, которая достигается при  $C_p = 1,5$ .

Если проводить анализ по информации, зафиксированной на контрольных картах, то, прежде всего, процесс нужно вывести в статус регулируемого (когда отсутствуют выходы значений параметра за пределы контрольных границ), далее – в статус контролируемого (не выходить за поле допуска), а затем снижать вариабельность до индекса  $C_p = 1,3$  и ниже.

Таким образом, мы показали, что нужно делать, но не ясно, каким образом снизить вариабельность технологической системы.

#### *Выявление причин вариабельности и пути их снижения*

Определение суммарной погрешности технологической системы.

Выявление путей снижения погрешностей производится методами «мозгового штурма» в команде:

- диаграмма причин и результатов (диаграмма Исикавы);
- метод «Бритва Оккама»;
- диаграмма сродства;
- древовидная диаграмма;
- диаграмма связей;
- матричная диаграмма.

Результаты «мозгового штурма» оформляются отчетом, в котором, кроме перечисления вероятных путей снижения вариабельности, изложены и мотивы, приведшие членов команды к определенным выводам.

#### *Разработка мероприятия по снижению погрешностей ТС*

Имеются определенные методы по планированию работ и минимальным срокам их проведения (метод «Стрелочная диаграмма» или «Критический путь»). Но самая важная часть работы должна содержать экономическое обоснование именно тех мероприятий, которые с минимальными затратами приведут к максимальному снижению погрешностей ТС.

В процессе реализации мероприятий (этап «Внедрение») выявляется их эффективность и оценивается правильность расчетов по объему финансирования на реализацию. Возможно потребуется корректировка части мероприятий. Алгоритм технологии улучшения процессов см. рис. 3.31.

#### 4. СОВЕТЫ ПО УЛУЧШЕНИЮ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССОВ

В настоящем разделе показан системный подход к улучшению качества процессов. Формализация системного подхода жесткими рамками алгоритмов улучшения качества процессов не дает возможности рассмотреть организационные и психологические аспекты улучшения процессов. Вместе с этим зачастую дружеские советы коллег иначе посмотреть на процесс и его результаты, обратить внимание на отдельные особенности процесса, использовать новые способы активации творчества и т.д., могут помочь при анализе процессов или при разработке мероприятий по их улучшению.

На многих предприятиях нет стратегии улучшения процессов, что определяет проведение работы по их улучшению путем использования опыта, своего или ветеранов прошлых лет, а также деятельности на других предприятиях.

Если предприятие вновь создано или перешло на производство другого вида продукции, большим подспорьем в улучшении процессов может быть бенчмаркинг процессов. Еще лучше использовать опыт конкурентов на основе партнерского соглашения о взаимном обмене информацией о процессах.

В литературе приводятся советы-уроки, которые можно использовать в разработке программы компании (фирмы) по улучшению процессов [30].

*Урок 1. Вы не доберетесь до цели, не зная направления.* Отсутствие четкой цели при реализации программы по улучшению процессов может привести как к потерям времени, так и материальных ресурсов. Без цели нет основы для создания приоритетов, объединения усилий, оценки успеха.

Советы:

- 1) убедитесь в том, что руководители правильно понимают цели вашей программы;
- 2) установите и определите ключевые проблемы, связанные с уровнем производительности и качества организации;
- 3) постройте карту бизнес-процессов организации для того, чтобы показать ваши ключевые процессы, выявить взаимосвязи между ними и роль каждого из них в создании ценности для потребителя;
- 4) создайте методику измерения уровня производительности и качества процессов организации для оценки суммарного прогресса и планирования.

*Урок 2. Знания в области улучшения процессов должны накапливаться постепенно.* Отнеситесь скептически к методикам, содержащим обещания быстрого успеха. Они обычно сочетают в себе нереальные перспективы и недостаточную компетентность. Лучше всего начните с конкретной и реальной цели: накопить знания и добиться вовлечения в программу наиболее знающих людей.

Советы:

- 1) убедитесь, что исполнители имеют необходимую компетентность и поддержку для решения поставленных задач;

2) установите реальные цели по улучшению процессов и временные рамки, исходя из ваших возможностей;

3) непрерывно поддерживайте, поощряйте и выражайте признательность первым участникам.

*Урок 3. Процесс постоянного улучшения должен быть самоподдерживающимся.* Желание и умение поддерживать программы по улучшению процессов должны быть напрямую связаны с желанием осуществлять эти изменения. Изменения намного проще осуществить на «периферии» системы, где каждый занимается непосредственно производством продукции. Программы, помогающие добиваться изменений посредством прямого обращения к содержанию работы, обычно более эффективны при осуществлении изменений в поведении и мышлении работников.

Советы:

1) работники должны иметь время и место, необходимые для проведения работы в области улучшений;

2) работники должны обладать навыками, необходимыми для того, чтобы воспользоваться стратегиями и инструментами улучшения;

3) работники должны понимать и принимать необходимость процесса улучшения, который требует активного руководства и соответствующих знаний.

*Урок 4. Локальные улучшения не равноценны улучшению всей системы.* Успех процесса улучшений может быть оценен только в контексте всей системы. Локальные улучшения часто оптимизируют отдельные части системы. Следовательно, это будет требованием для всех планируемых и измеряемых улучшений всей системы.

Советы:

1) получите базовые сведения обо всей системе до начала проведения улучшений;

2) выберите инициативы в области улучшений, базирующиеся на результатах деятельности всей системы;

3) оцените улучшения с точки зрения изменения уровня производительности процессов организации.

*Урок 5. Деятельность не переносится на результаты.* В программе по улучшению процессов упор делается на средства улучшения, а не на результаты. Акцент на деятельности может привести к тому, что большее внимание будет уделяться второстепенным областям. Очень важно, чтобы инвестиции были направлены в те области, которые приносят существенную экономическую отдачу.

Советы:

1) при установлении инициатив определите те направления деятельности, которые требуют улучшения;

2) признавайте деятельность, но вознаграждайте за результаты;

3) когда возможно, используйте показатели уровня производительности системы.

*Урок 6. Перед тем как стать лучше, будет еще хуже.* Известно, что прежде чем получить реальные «плоды», нужно изрядно потрудиться: усилия, направленные на совершенствование процессов, требуют незамедлительных затрат, в то время как адекватная отдача приходит намного позже.

Советы:

1) избегайте чрезмерных или преждевременных ожиданий на ранних этапах. Ваши первоначальные цели – создать приверженность программе и набраться необходимого опыта, вознаградить не только усилия и рост компетенции персонала, но и результаты;

2) обеспечьте чистоту результатов. Публично объявленные ложные выводы подрывают ту корпоративную культуру, которую вы хотите создать.

*Урок 7. Без четкой ответственности – никто ни за что не отвечает.*

С самого начала усилия в области улучшения процессов наталкиваются на проблему ответственности. Большинство предприятий организованы вертикально по функциям, в то время как процессы производства продукции протекают горизонтально. При таком построении организации нет четкой ответственности за качество потока процессов.

Советы:

1) установите цели процесса и связанные с ними показатели деятельности для ключевых процессов;

2) развертывайте эти цели горизонтально для организационных единиц, которые участвуют в процессе. Создайте систему управления деятельностью организации, которая устанавливает четкую ответственность за соответствие целей и результатов деятельности.

*Урок 8. Закрепляйте результаты.* Менеджмент должен быть вовлечен в первоначальное планирование, а также постоянное контролирование реализации инициатив в области улучшений и непрерывного управления ключевыми процессами.

Советы:

1) подготовьте полные (исчерпывающие) планы по развертыванию всех проектов в области улучшений;

2) установите четкую ответственность за развертывание улучшений и непрерывное управление процессами;

3) создайте систему аудитов проектов в области улучшений, чтобы гарантировать постоянное соответствие и эффективность улучшений.

Еще больше советов по процессно-ориентированному управлению предприятием изложено в статьях, приведенных в библиографическом списке данного пособия.

## 5. МЕТОДЫ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССОВ

Многолетняя постоянная борьба за качество привела к созданию значительного числа методов его улучшения, как на этапах создания нового изделия, так и в процессе его производства. Для удобства поиска и применения необходимых методов улучшения качества процессов, в зависимости от вида проблемы, целесообразно привести классификацию методов по мере усложнения задач исследования.

Двенадцать простых методов улучшения качества:

- 1) пять «S»;
- 2) пять «почему?»;
- 3) наглядность производства;
- 4) групповой метод;
- 5) инструменты качества;
- 6) «рока-уока»;
- 7) семь видов потерь;
- 8) поддержание работоспособности оборудования;
- 9) мгновенная смена модели;
- 10) упорядочение рабочих действий;
- 11) рациональное планирование;
- 12) движение по одному.

Эти методы названы «простыми», учитывая, что они, как правило, не требуют высокой квалификации персонала, в основном выполняются в цеховых условиях с малыми затратами на подготовку и т. д.

Цикловые методы постоянного улучшения качества:

- 1) метод PDCA (планируй – выполняй – проверяй – корректируй) – цикл Шухарта – Деминга;
- 2) цикл Швеца (определяй требования – планируй – организуй – выполняй процесс – проверь и выяви несоответствия – анализируй несоответствия – выполняй корректирующие действия – используй мотивацию);
- 3) цикл RDMACSI (определяй – измеряй – анализируй – улучшай – управляй – стандартизируй – интегрируй);
- 4) метод «Кайдзен».

Цикловые методы – самые распространенные сегодня в мире методы постоянного улучшения качества (особенно цикл Шухарта-Деминга). Они достаточно просты в применении, но эффективны в результатах.

Семь простых статистических методов:

- 1) контрольные листки;
- 2) диаграммы Парето;
- 3) диаграммы причин и результатов (диаграмма Исикава);
- 4) гистограммы;
- 5) диаграммы рассеяния;
- 6) контрольные карты;

7) диаграммы потока процессов.

Эти методы предложены японскими специалистами. Широко используются в управлении процессами для анализа и выявления причин отклонений от документации.

Семь методов планирования:

- 1) метод фокус-группы;
- 2) опрос покупателей;
- 3) анализ потенциала выпускаемой продукции;
- 4) метод ТРИЗ – творческие решения и изобретения;
- 5) системный анализ (интегрирующие технологии);
- 6) структурирование функции качества (QFD);
- 7) планирование эксперимента.

Методы планирования используются при планировании и разработке новых изделий, а также для коллективного решения творческих проблем.

Семь стратегических методов:

- 1) оценка привлекательности бизнеса;
- 2) бенчмаркинг;
- 3) исследование рынка растущих отраслей;
- 4) оценка способности бизнеса к диверсификации;
- 5) анализ портфеля заказов;
- 6) SWOT-анализ;
- 7) оптимизация ресурсов.

Стратегические методы применяются в стратегических исследованиях предприятий и организаций по развитию бизнеса.

Семь новых методов проектирования:

- 1) диаграмма сродства (диаграмма связей);
- 2) граф связей;
- 3) иерархическая структура («дерево»);
- 4) матричное представление данных;
- 5) анализ матричных данных;
- 6) блок-схема процесса принятия решений;
- 7) сетевой график.

Эти методы применяются при создании новых изделий и выборе наилучших проектных решений, как правило, с применением принципов «мозгового штурма».

Статистические методы высокого уровня:

- 1) метод «Шесть сигм»;
- 2) метод FMEA (выявление и оценка потенциальных дефектов);
- 3) метод Тагути (функция потерь качества);
- 4) функционально-стоимостный анализ (ФСА);
- 5) функционально-физический анализ (ФФА);
- 6) метод «Внутренняя функция потерь качества».

Эти методы применяются на отдельных этапах процессов жизненного цикла изделий. Метод Тагути пока не доведен до практического применения.

Пять методов организации творческого процесса:

- 1) сложные аналогии;
- 2) разрушение стереотипов;
- 3) переформулирование проблемы;
- 4) простые аналогии;
- 5) морфологический анализ.

Эти методы применяются при решении творческих проблем.

Методы направленного поиска:

- 1) метод эвристических приемов;
- 2) оптимизация ресурсов;
- 3) комплексный метод поиска новых технических решений;
- 4) система поиска нестандартных решений (Idea Finder).

Эти методы близки к алгоритмическим, когда решение проблемы определяется правильным порядком этапов решения.

Методы систематизированного поиска:

- 1) метод поэлементного экономического анализа;
- 2) метод проектирования Э. Метчела;
- 3) метод организующих понятий;
- 4) метод синтеза изделий;
- 5) метод контрольных вопросов;
- 6) метод «матриц открытия»;
- 7) дельфийский метод.

Эти методы позволяют упорядочить перебор вариантов и увеличить его число, основанное на использовании различных аналитических подходов.

Методы психологической активации творчества:

- 1) идеальный конечный результат (ИКР);
- 2) оператор РВС (размер, время, стоимость);
- 3) метод «маленьких человечков» (ММЧ);
- 4) метод фокальных объектов;
- 5) метод каталога;
- 6) метод семикратного поиска;
- 7) синектика;
- 8) метод музейного эксперимента;
- 9) метод гирлянд, ассоциаций и метафор;
- 10) конференция идей;
- 11) корабельный совет;
- 12) теневая «мозговая атака»;
- 13) обратная «мозговая атака»;
- 14) прямая «мозговая атака».

Эти эвристические методы основаны на принципе предпочтения количества идей их качеству на этапе группового генерирования. Методы требуют максимальной концентрации интеллектуальной энергии.

*Условия и правила «мозгового штурма».* В условиях рыночной экономики предприятия должны непрерывно создавать новые модели и конструкции изделий, чтобы остаться в рынке. Создание нового требует наработки идей и решений, которые, в основном, могут быть получены за счет применения методов, основанных на принципах «мозгового штурма». К сожалению, методы психологической активизации творчества недостаточно известны на предприятиях, и для их проведения необходимо готовить квалифицированных специалистов. Рассмотрим кратко условия и правила проведения «мозгового штурма».

Для решения проблем создаются творческие бригады или группы. Оптимальный состав таких групп – от 6 до 12 человек. Рекомендуется формировать смешанные группы (из мужчин и женщин). Желательно, чтобы в группах участники были примерно одного возраста и с минимальной разницей служебного положения. Вместе с этим целесообразно проводить ротацию членов группы с целью привлечения новых активно мыслящих участников.

Для проведения «мозгового штурма» желательно использовать отдельные комнаты или аудитории вдали от постороннего шума. Процесс работы нужно записывать на магнитофон. Аудитория должна быть оборудована доской, которую участники используют для отображения своих идей, а также их связей между собой.

Продолжительность проведения «мозгового штурма» – в пределах 40–60 минут. Наиболее подходящее время проведения – утро (с 10 до 12 ч.) или после обеда (с 15 до 18 ч.).

Темы «мозгового штурма» раскрываются участникам заранее (за несколько дней до обсуждения). Это сокращает время основного заседания.

Правила проведения «мозгового штурма» достаточно жесткие:

1) запрещается всякая критика идей, высказываемых во время проведения «мозгового штурма» даже самых «смелых и безумных»;

2) желательно выдвигать как можно больше идей, но в течение установленного времени;

3) все идеи должны быть зафиксированы, и все участники должны о них знать;

4) после выдвижения идей и началом обсуждения их связей необходимо выдержать определенный промежуток времени (инкубационный период) для снятия усталости, возможности подумать в тишине, переключения внимания с одного процесса на другой (решение проблемы).

Результаты работы группы оформляются в виде отчета для представления или презентации его руководителю предприятия или заказчику.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе рассмотрены разные аспекты системного подхода, представлены и обобщены различные понимания сложных и весьма неоднозначных вопросов теории систем. Полученные вами знания о системах после прочтения учебного пособия только тогда будут эффективны, когда они найдут применение в вашей практической деятельности.

Первым условием успеха системного анализа является применение его там, где он действительно нужен. Сам характер системного исследования сложных объектов требует высокого уровня знаний, привлечения на той или иной стадии анализа высококвалифицированных специалистов.

Кроме того, не может быть успешного системного исследования в случае недобросовестного отношения к нему руководства фирм и самих исследователей. В памфлете на современный «менеджеризм» – если менеджеры не знают, как организовать работу, то закономерно спросить, что же они тогда знают и за что получают деньги ...

Условиями успеха системного анализа следует считать наличие трех элементов:

- 1) осознанной потребности, цели или назначения;
- 2) источника идей, накопленной информации, опыта и представления о предмете;
- 3) ресурсов – опытных специалистов, а также оборудования, материалов и денежных средств.

Системный анализ сам по себе является инструментом обеспечения наличия всех этих трех элементов: выявления и детализации целей, соответствующей информации, ресурсов и их увязки с целями. Таким образом, специалисты по системному анализу должны знать условия успеха своей работы и приступать к ней только при их выполнении.

Для начала надо научиться видеть мир в свете системных представлений. Это многое даст. Но это лишь багаж созерцающего выпускника.

По-настоящему ценен системный подход, если он превращается из подхода к явлениям природы и общества, из мировоззренческой парадигмы в инструмент познавательной и практической деятельности. Речь идет об овладении системным подходом как методом научного исследования. Здесь важно научиться применять системную методологию к своей специальности, к проблемам, возникающим в практической жизни.

Следует помнить несколько позиций относительно знания о системах. Прежде всего, это не только наиболее эффективный инструмент мышления и действия, средство достижения успеха в профессиональной деятельности, но и одно из самых динамичных явлений, постоянно и быстро обновляющееся. Поэтому для поддержки в боеготовности системного арсенала специалисту необходимо постоянно обновлять его, читая новую литературу. Немаловажно помнить, что системное знание развивается не только

вширь, давая системную интерпретацию тем явлениям, которые им ранее не освещались, но и вглубь, раскрывая все новые аспекты и уровни системного видения, нарушая привычные представления об объектах и процессах.

Умение увидеть в хаосе действительности системообразующий фактор и вычленить систему, а потом дать ее системный анализ – высший пилотаж в овладении системным подходом. Рассмотренные в учебном пособии вопросы показывают, системный анализ – это специализированный способ подхода к получению знаний и данных, который является пошаговым набором действий, направленных на создание структурных соединений, связывающих два элемента и переменные в системе, которая подлежит изучению. Основой для подобного рода анализа являются математические, статистические и естественнонаучные методы.

Современный этап развития производства, экономики и промышленности в нашей стране описывается многоуровневыми связями, интересами и отношениями, установленными между объектами экономико-социальной сферы. В данных обстоятельствах плодотворная и высокоэффективная работа фирм, предприятий, корпораций не может быть обеспечена без столь необходимого анализа внешней и внутренней деятельности данных объектов.

Существующие объекты экономики и промышленности обладают многопрофильными и сложными структурами и строениями, которые отличаются достаточным количеством связей. Полноценный анализ подобных систем с дальнейшим выносом продуманных и точных решений, которые необходимо принимать своевременно и быстро, нуждается в использовании компьютерного и математического моделирования, а именно – в полноценном и комплексном подходе к системному анализу.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Месарович, М., Такахара, Я. Общая теория систем: математические основы. М.: Мир, 1978.
2. Адлер, Ю.П., Щепетова, Е.С. Что нам стоит процесс построить? // Методы менеджмента качества. – 2002. – № 6. – С. 4–8.
3. Андерсен, Б. Бизнес-процессы. Инструменты совершенствования М.: РИА «Стандарты и качество», 2003.
4. Булатович, М. Проектирование продукции на основе метода декомпозиции // Методы менеджмента качества. – 2002. – № 6. – С. 29–31.
5. Волкова В.Н., Денисов А.А. Теория систем: учеб. пособие. М.: Высш. шк., 2006.
6. Всеобщее управление качеством: учебник для вузов. М.: Горячая линия – Телеком, 2001.
7. Вумек, Дж. Бережливое производство. М.: Альпина Бизнес Букс, 2004.
8. Гарднер, Р. Десять уроков по улучшению процессов для руководителей // Методы менеджмента качества. – 2003. – № 7. – С. 16–21.
9. Голубев, М.П., Маклаков, С.В. Эффективное управление компанией: создание организационной структуры на основе анализа бизнес-процессов // Машиностроитель. – 2003. – № 9. – С. 38–44.
10. Гончаров, Э.Н. Как разработать систему менеджмента качества в соответствии с процессным подходом // Стандарты и качество. – 2003. – № 12. – С. 64–68.
11. Ефимов, В.В. Спираль качества. Ульяновск: УлГТУ, 2002.
12. Ефимов, В.В. Улучшение качества проектов и процессов. Ульяновск: УлГТУ, 2004.
13. Зворыкин, Н.М. Реализация процессного подхода на промышленном предприятии // Методы менеджмента качества. – 2004. – № 1. – С. 35–40.
14. Крейг, Дж. Документирование системы качества // Стандарты и качество. – 2001. – № 3. – С. 75–78.
15. Корольков, В.Ф., Брагин, В.В. Процессный подход к управлению организацией // Стандарты и качество. – 2001. – № 9. – С. 80–82.
16. Левшина, В.В. Обучение разработке и внедрению систем менеджмента качества в образовательных учреждениях // Стандарты и качество. – 2004. – № 8. – С. 98–100.
17. Маккормик, К. Ориентация на бизнес-процессы. Есть ли она у вас? // Стандарты и качество. – 2002. – № 2. – С. 86–88.
18. Адлер, Ю.П. Чего нет в восьми принципах, но без чего нет смысла в стандартах ИСО 9000:2000 // Стандарты и качество. – 2001. – № 5-6. – С. 49–61.
19. Новосельцев, В.И. Системный анализ: современные концепции. Воронеж: Изд-во «Кварта», 2002.

20. Острейковский, В.А. Теория систем. М.: Высшая школа, 1997.
21. Полоцкий, Ю.И., Виноградов, А.В. Идентификация и описание процессов // Методы менеджмента качества. – 2002. – № 11. – С. 7–9.
22. Репин, В.В. «Сквозные» процессы в системе управления: миф или реальность? // Методы менеджмента качества.– 2003. – № 6. – С. 4–8.
23. Полховская, Т.М. Роль документации при создании эффективной системы менеджмента качества // Стандарты и качество. – 2004. – № 6. – С. 66–72.
24. Самсонова, М.В. Алгоритм управления процессом с позиции статистического мышления: материалы н.-т. конференции «Улучшение качества проектов и процессов». Ульяновск: УлГТУ, 2004. – С. 113–115.
25. Сапрыкина, Н.Е. Инструкция как договоренность // Методы менеджмента качества. – 2002. – № 2. – С. 22–26.
26. Свиткин, М.З. Процессный подход при внедрении систем менеджмента качества в организации // Стандарты и качество. – 2002. – № 3. – С. 74–77.
27. Флейшман, Б.С. Основы системологии. М.: Радио и связь, 1982.
28. Цугель, Т.М. Внедрение процессно-ориентированных систем менеджмента качества // Все о качестве. Процессный подход и стандарты ИСО 9000:2000. – 2004. – № 1 (28). – С. 3–18.
29. Черняк, Ю.И. Системный анализ в управлении экономикой. М., 1975.
30. Шадрин, А.Д. Некоторые аспекты практической реализации процессного подхода // Стандарты и качество. – 2003. – № 6. – С. 52–57.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1. ОСНОВЫ ТЕОРИИ СИСТЕМ .....	5
1.1. Введение в теорию систем.....	5
1.2. Определение понятия «система» .....	6
1.3. Состав и составные части системы.....	7
1.4. Система и внешняя среда.....	10
1.5. Связи, отношения и взаимодействия в системе .....	11
1.7. Состояние и поведение системы .....	28
1.8. Цель и проблемы её согласования .....	30
1.9. Закономерности функционирования и развития систем .....	32
1.9.1. Закономерности взаимодействия части и целого.....	33
1.9.2. Закономерности коммуникативности и иерархичности систем.....	38
1.9.3. Закономерности осуществимости систем .....	39
1.9.4. Закономерности развития систем .....	42
1.10. Закономерности целеобразования .....	45
1.10.1. Закономерности возникновения и формулирования целей .....	45
1.10.2. Закономерности формирования структур целей .....	47
1.11. Классификация систем.....	49
1.11.1. Классификация систем по виду отображаемого объекта .....	50
1.11.2. Классификация систем по предсказуемости поведения.....	51
1.11.3. Классификация систем по характеру взаимодействия с внешней средой....	53
1.11.4. Классификация систем по сложности структуры и поведения .....	54
1.11.5. Классификация систем по степени организованности .....	58
1.11.6. Классификация систем по организации структуры .....	59
1.11.7. Классификация систем по характеру развития .....	61
1.11.8. Классификация систем по компонентному составу .....	62
1.11.9. Классификация систем по способу существования .....	63
2. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ .....	69
2.1. Системный анализ и теория принятия решения.....	69
2.1.1. Процесс принятия решения .....	71
2.1.2. Дерево судьбы.....	71
2.1.3. Участники процесса принятия решения.....	73
2.1.4. Альтернативы принятия решения.....	73
2.1.5. Критерии принятия решения.....	74
2.1.6. Характеристика проблем принятия решений .....	74
2.1.7. Понятие информации .....	75

2.2. Понятие допустимой области.....	77
2.3. Линии равного уровня.....	79
2.4. Условие стационарности.....	80
2.5. Условия Куна-Таккера .....	81
2.6. Преобразование задачи условной оптимизации в задачу безусловной оптимизации (метод штрафных функций).....	83
2.7. Задача об оптимальном рационе .....	84
2.8. Методы однокритериальной оптимизации .....	86
2.8.1. Градиентный метод .....	86
2.8.2. Метод сканирования (перебора) .....	85
2.8.3. Метод Гаусса-Зейделя (покоординатного спуска).....	87
2.9. Оптимизация в условиях неопределенности .....	89
2.9.1. Графическая интерпретация.....	90
2.9.2. Максиминный критерий (ММ).....	91
2.9.3. Критерий Байеса-Лапласа (BL).....	92
2.9.4. Максимумный критерий .....	92
2.9.5. Критерий Сэвиджа (S).....	92
2.9.6. Пример использования классических критериев .....	93
2.9.7. Понятие слабого и сильного доминирования .....	94
2.9.8. Производные критерии .....	95
2.9.9. Риск при принятии решения.....	96
2.10. Многокритериальная оптимизация.....	101
2.11. «Свёртка» как способ решения многокритериальной задачи.....	104
2.12. Моделирование как метод системного анализа .....	105
2.13. Моделирование систем массового обслуживания .....	108
2.14. Моделирование в условиях противодействия, модели торгов .....	111
3. ПРОЦЕССЫ И ПРОЦЕССНЫЙ ПОДХОД .....	118
3.1. Понятия о процессах и процессном подходе.....	118
3.2. Классификация процессов .....	125
3.3. Описание процессов .....	141
3.4. Документирование процессов .....	145
3.5. Методология функционального моделирования процессов .....	148
3.6. Улучшение процессов .....	165
4. СОВЕТЫ ПО УЛУЧШЕНИЮ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССОВ.....	176
5. МЕТОДЫ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССОВ .....	179
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	183
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	185

Учебное издание

*Сергей Николаевич Боярский*  
*Леонид Александрович Чернышев*

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ФИРМЫ

Редактор Е.А. Назаренко

Компьютерная верстка Е.В. Карпова

---

Подписано в печать

Плоская печать

Заказ

Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>

Печ. л. 11,16

Тираж 100 экз.

Усл. печ. л. 11, 62

---

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет»

620100, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37.

Тел. 8 (343) 262-96-10