

**А. В. Заболеева-Зотова,  
С. А. Фоменков,  
Ю. А. Орлова**

**ОСНОВЫ  
СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА**

УДК 001.51(075)

**Рецензенты:**

Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Волгоградского государственного технического университета

**Заболеева-Зотова А. В.**

Основы системного анализа: Учебное пособие/ С. А. Фоменков, Ю. А. Орлова. –  
Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2012. – 230 с.

ISBN

Пособие содержит все основные разделы базового курса общего системного анализа и написано в полном соответствии с программой направления 230100 «Информатика и вычислительная техника».

Пособие написано на основе многолетней практики преподавания курса системного анализа на кафедре «Системы автоматического проектирования и поискового конструирования» в Волгоградском государственном техническом университете для студентов старших курсов.

Теоретический материал излагается с использованием традиционных терминов системного анализа, иллюстрируется примерами построения моделей систем на прикладных задачах концептуального проектирования принципиально новых технических систем и программного обеспечения и их развития. Даны вопросы для закрепления материала и упражнения, которые могут быть использованы для проведения практических занятий по данному курсу. Изложенный материал дает возможность изучить курс общего системного анализа самостоятельно.

Пособие адресуется студентам, аспирантам и преподавателям.

ISBN

© Волгоградский государственный технический  
университет, 2012

© Заболеева-Зотова А. В., Фоменков С. А., Орлова Ю.А.,  
2012

## Содержание

<b>Введение</b> .....	6
<b>Глава 1. Предпосылки развития системных представлений</b> .....	6
1.1. Потребности научного познания.....	6
1.2. Потребности проектирования, создания, эксплуатации и управления сложными объектами .....	9
<b>Глава 2. Предмет и метод теории систем</b> .....	13
<b>Глава 3. Терминология теории систем</b> .....	18
<b>Глава 4. Функциональность систем</b> .....	46
4.1. Понятие функции системы. Классификация функций сложной системы .....	46
4.2. Дерево функций системы.....	48
4.3. Взаимосвязь функций и структуры сложной системы .....	49
<b>Глава 5. Классификация систем</b> .....	53
<b>Глава 6. Аспекты системного подхода (принципы)</b> .....	60
6.1. Системно-интегративный аспект (принцип целостности) .....	60
6.2. Системно-компонентный аспект.....	61
6.3. Системно-коммуникационный аспект (принцип коммуникативности) .....	62
6.4. Системно-исторический аспект (принцип историчности) .....	63
6.5. Принцип иерархичности .....	64
6.6. Принцип множественности описаний любой системы.....	66
6.7. Дополнительные принципы .....	66
<b>Глава 7. Теоретико-множественное описание систем</b> .....	72
7.1. Качественные и количественные методы описания систем.....	72
7.2. Предположения о характере функционирования систем .....	74
<b>Глава 8. Система как отношение на абстрактных множествах</b> .....	75
<b>Глава 9. Временные системы в терминах «вход – выход»</b> .....	79
9.1. Множество моментов времени .....	79
9.2. Входные сигналы системы.....	79
9.3. Выходные сигналы системы.....	82
9.4. Пространство состояний системы.....	82
9.5. Пример теоретико-множественного описания системы.....	83
<b>Глава 10. Семейство операторов переходов и выходов детерминированной системы без последствия</b> .....	87
<b>Глава 11. Детерминированные системы без последствия с входными сигналами двух классов</b> .....	92
<b>Глава 12. Детерминированные системы с последствием</b> .....	95
<b>Глава 13. Стохастические системы</b> .....	96
<b>Глава 14. Агрегативное описание систем</b> .....	98
14.1. Понятие «агрегат» в теории систем .....	98

14.2. Операторы переходов и выходов агрегата .....	99
14.3. Пример представления систем в виде агрегатов .....	103
14.4. Кусочно-линейные агрегаты.....	107
<b>Глава 15. Неформализуемые этапы системного анализа .....</b>	<b>112</b>
15.1. Разнородные знания и системный анализ .....	112
15.2. Некоторые подходы к построению теории систем .....	114
15.3. Объективные общие системные закономерности как средство управления и переноса знаний .....	116
15.3.1. Закономерность возрастания и убывания энтропии или негэнтропии в системе.....	118
15.3.2. Закономерность зависимости потенциала системы от характера взаимодействия ее структурных элементов или степени организованности системы .....	131
15.3.3. Фоновый принцип и фоновая общесистемная закономерность.....	133
15.3.4. Закономерность четырехэтапного эволюционного развития системы на каждом витке эволюционной спирали .....	136
15.3.5. Закономерность объединения («склеивания») противоположностей (антагонистов) и их распада («расщепления»).....	145
15.3.6. Колебательный и циклический характер функционирования систем, приводящий к поочередному объединению и распаду систем .....	147
15.3.7. Закономерность «лестничного» характера развития систем .....	152
15.3.8. Закономерность системы, заключающаяся в стремлении сохранить равновесие за счет противодействия внешнему возмущению.....	155
15.3.9. Закономерность «наиболее слабых мест» .....	158
15.3.10. Закономерность расхождения темпов жизненных функций элементов системы.....	159
15.3.11. Закономерность перевода системы из одного качественного состояния в другое минимальным воздействием в критической точке фазового перехода .	161
15.3.12. 20%-я закономерность .....	162
15.3.13. Закономерность прохождения всех этапов эволюционного развития, или закономерность эволюции .....	163
15.3.14. Закономерность «пирамиды».....	163
15.3.15. Закономерность неравномерного развития составных частей системы .....	164

15.4. Примеры использования переноса системных знаний и методологий из области живых организмов в область общественных систем при глубокой аналогии и значительном изоморфизме.....	166
15.5. Системные и когнитивные подходы к решению слабоструктурированных и плохо формализованных задач...	171
<b>Глава 16. Роль измерений в создании моделей систем.....</b>	<b>178</b>
16.1. Измерительные шкалы .....	179
16.2. Шкалы наименований.....	179
16.3. Шкалы порядка.....	180
16.4. Шкалы интервалов .....	182
16.5. Шкалы отношений .....	182
<b>Глава 17. Задачи системного анализа .....</b>	<b>184</b>
17.1. Характеристика задач системного анализа .....	184
17.2. Особенности задач системного анализа .....	188
<b>Лабораторные работы .....</b>	<b>196</b>
1. Система .....	196
2. Описание системы .....	198
3. Сложность и связность систем .....	202
4. Управление в системе и системой.....	206
5. Управление в системе.....	209
<b>Контроль знаний .....</b>	<b>212</b>
1. Теоретические вопросы.....	212
2. Задачи .....	213
3. Тестовый контроль.....	214
<b>Библиографический список.....</b>	<b>225</b>

## **Введение**

Одной из характерных особенностей развития науки и техники во второй половине XX века является повсеместное распространение идей системных исследований, системного подхода, общей теории систем. Систему и системность сегодня усматривают буквально во всем (любой объект научного исследования – система, процесс познания таких объектов характеризуется системностью, современная техника создает системы большого масштаба). Человек в современном мире действует, оперируя многочисленными системами – лингвистическими, логическими, психологическими, он входит в окружающие его производственные, организационные и тому подобные системы.

Это явление несет на себе оттенок моды. Но за ним стоит научное и практическое осознание системности как одного из важных свойств окружающего нас объективного мира и осмысление ее в качестве особого измерения действительности.

Основная цель: ознакомление с научно-прикладными проблемами системного подхода к решению разнообразных задач в проектировании и управлении. В результате изучения системного анализа необходимо знать: принципы системного подхода; основы теории и технологии системного анализа.

### **Глава 1. Предпосылки развития системных представлений**

#### **1.1. Потребности научного познания**

Во времена натуральной философии универсализм ученых создавал предпосылки для всестороннего подхода к физическим явлениям. Это был прежде всего философский подход, основанный на глубокой вере во взаи-

мосвязь всего сущего. Стихийный материализм ученых той эпохи, их огромный энтузиазм, способность к диалектическому обобщению довольно ограниченного набора фактов позволили им сделать великие открытия, не смотря на примитивность экспериментальных средств. И все же каждый шаг давался ценой невероятных усилий.

Наступила эпоха специализации. Современная наука чрезвычайно дифференцирована. Специализация принесла огромную пользу, но вызвала и большие трудности. Главная из них – сложность всестороннего рассмотрения научных факторов, их объединение и интерпретация. Сложные физические явления, в которых большое число учитываемых переменных, не имеют адекватного описания. Люди до сих пор вынуждены объяснять принципиальные свойства живой материи особыми биологическими законами, которые оказываются оторванными от физических законов и не имеют строгих формулировок. На современном этапе узкоспециальная ограниченность недопустима: слишком много возможностей остается скрытыми и слишком велики потребности растущего человечества. Фундаментальные представления о строении вещества, энергетических преобразованиях, сущности развития, отличии живого от неживого следует пересмотреть с позиций единства и целостности мира. Современная наука требует не только накопления знаний в специальных областях, но и интеграции наук на основе концепции, которая сохраняла бы преемственность и открывала перспективы, устанавливая взаимосвязь между структурой, устройством, организацией и свойствами, действием, поведением.

**Пример 1.** Контакт с инопланетным миром – наглядная иллюстрация проблемы столкновения с новым. Допустим, что группа космонавтов, состоящая из физика, химика, биолога, геолога, инженера и медика, осуществила удачную посадку на другую планету, где нашла объект длиной 1 м, неправильной формы, темного цвета. Физик определил удельный вес, произвел спектральный анализ, обнаружил два десятка элементов в необыч-

ных пропорциях. Выявил, что структура гомогенна и схожа с кристаллической. Имеются поверхностные электронные потенциалы. Собственного внешнего электрического или магнитного поля нет. Обнаружить внутреннее поле без разрушения объекта невозможно.

Химик установил, что вещество, скорее всего, неорганическое и нашел несколько десятков характеристик с помощью микропроб.

Геолог высказал ряд предположений о возможных вариантах образования подобного конгломерата, главным из которых является то, что он не знает, что это такое.

Инженер не обнаружил движущихся частей и заявил, что это не машина, далее пользуясь определенным профессиональным иммунитетом, высказал ряд гипотез: это горная порода, искусственный строительный материал, электронная конструкция неизвестного назначения, остаток метеорита, неизвестно что.

Биолог заявил, что объект не находится в его компетенции, но в принципе не исключено, что это живое существо с кристаллической микроструктурой клеток и электронно-ионным обменом веществ. Ничего подобного на Земле нет. Наконец, медик заявил, что он не знает, опасен ли объект для жизни людей.

Затем возникает вопрос: что делать? Дать геологу раздробить объект и предпринять исследование кусков. Для физика и химика это приемлемо, но что если прав инженер и найденный объект – электронное устройство (например, на интегральных схемах), тогда будет потеряно величайшее открытие. Или прав биолог, и будет уничтожено инопланетное живое существо, единственное в своем роде, или целая колония живых существ.

Дискуссию можно продолжать долго, но ясно одно: никакая разнородная группа узких специалистов не в состоянии справиться с проблемой, требующей особого подхода, особой методологии, которая в настоящее время разрабатывается с большой интенсивностью и энтузиазмом.



Относясь в равной мере и к объективному миру, и к отражающему его знанию, и к практической деятельности людей, системные методы исследования при их глубоком понимании и выявлении их сущности способны значительно обогатить познавательные возможности человека.

## **1.2. Потребности проектирования, создания, эксплуатации и управления сложными объектами**

Сложные технические конструкции все в большей мере проектируются и работают по законам целостности функциональных систем. Разработка современной военной техники, создание средств комплексной автоматизации, конструирование крупных производственных объектов с автоматизированным управлением, различного рода вычислительных систем проводятся таким образом, что в качестве реального объекта проектирования и конструирования выступает теперь не изделие само по себе, а изделие со всем комплексом условий – технических, человеческих, социальных, необходимых для успешного функционирования.

Еще большая потребность в системной методологии обнаруживается в управлении народным хозяйством, при создании крупных проектов освоения природы, стремящихся предвидеть близкие и далекие последствия вмешательства человека в баланс природного взаимодействия. Сложные системы любого вида не поддаются адекватному описанию в рамках одной традиционной научной дисциплины. Процесс создания сложной технической системы, например, «человек – машина», нельзя разбить на множество непересекающихся технических, психологических, экономических и других проблем, все они взаимосвязаны в единой системе. Только междисциплинарный подход к ним, с самого начала ориентированный на системную связанность подлежащих решению проблем, в состоянии привести к успеху.

**Пример 2:** АСУ. Экономисты, математики, социологи, управленцы, инженеры. Никто не представляет систему в целом, в масштабе региона, области. Чтобы разрешить данную ситуацию, нужно выработать единый, общий для всех специалистов язык. Каждый знает только свою сторону: экономическая система, техническая система и т. д. Описание системы, сложной для привычных средств каждого из привлеченных к делу специалистов, приходится начинать с выяснения философского по сути вопроса независимо от той или иной сферы его применения: что же такое система, что представляет собой системный подход вообще?

С развитием промышленной технологии, коммуникаций, глобальной и космической деятельности человеку приходится иметь дело со все более сложными целенаправленными системами. Объем техносферы возрастает с огромной быстротой. Это сооружения, машины, приборы, аппараты, вещества, транспортные средства, энергосистемы. Взаимодействие техносферы с биосферой приобретает глобальный характер. Сооружение и применение новых технических систем высокого энергетического уровня и высокой управляемости требует всестороннего анализа функций, возможностей и последствий. Перспективы развития техники (как и науки) требуют глубокого знания организации систем и процессов, умения так изменить организацию, чтобы направить развитие по желаемому пути.

**Пример 3.** По зарубежным данным, от 30 до 50 % больных от общего числа тех, кто лежит в больнице или сидит у врача в поликлинике – «мнимые больные», «хронические ходоки по врачам», «заблудившиеся, проблемные» и т. д.

Психосоматика. Фактически это здоровые люди, нуждающиеся в известной коррекции эмоционального состояния. Свыше ста лет назад крупнейший немецкий ученый Р. Вирхов выдвинул принцип анатомического мышления: врач обязан найти в теле место, где гнездится болезнь. Жесткая привязка каждой жалобы больного к определенному органу или физиоло-

гической системе практически исключали саму возможность функциональных расстройств. Именно анатомическое мышление повинно в том, что личность больного не воспринимается врачом как некое физиологическое единство с теснейшей функциональной взаимосвязью всех органов и систем, а превращается в простую арифметическую сумму тех же органов, тканей и клеток, где каждое слагаемое монополизируется своим лечебным ведомством. За множеством симптомов и жалоб полностью скрывается и как бы размывается личность больного человека. Практическая медицина все больше занимается лечением болезни, а не больного. Анатомическое мышление, все более узкая специализация врачей и неизбежное при этом сужение представления о больном человеке означают в итоге все большую дегуманизацию медицины.

Еще недавно новые факты были редким явлением и входили в компетенцию ученых. Развитие науки привело к столкновению к новым частым явлениям. В специальных исследованиях современной науки преобладают два метода: функциональный и анатомический. Оба связаны с вмешательством в исследуемый объект и могут нарушить его деятельность. Или изменить свойства. В любом случае существует опасность зафиксировать не то, что происходит в нормальных условиях.

Отношение исследователя к объекту может быть трех видов: созерцательное, экспериментальное и потребительское. Одно из условий эффективного эксперимента – проведение не возмущающего эксперимента.

Таким образом, можно сделать вывод, что на современном этапе узкоспециальная ограниченность не допустима. Фундаментальное строение вещества, энергетические преобразования, сущности развития, отличие живого от неживого следует пересмотреть с позиции единства целостности мира. Современная наука требует интеграции наук на основе концепции, которая сохраняла бы преемственность и открывала перспективы, устанавливая взаимосвязь между стратегией, устройством, организацией с свойст-

вами, действиями и поведением. Многосвязность явлений в природе требует единого подхода к исследованию разнообразных объектов. Создавать устройства с неизвестными ранее свойствами труднее, чем исследовать готовые. Выделяют два способа создания новых устройств: копирование природы и создание новых идей. Первый способ не приносит никакого особого господства. История техники свидетельствует, что очень много человек открыл после того, как сам изобрел.

В технике наблюдается следующая картина:

1. Отраслевые достижения требуют интеграции и обобщения.
2. Фундаментальное усложнение системы техносферы связано с учетом влияния тысяч, иногда миллионов факторов.
3. Сооружение и применение новых технических систем высокого энергетического уровня и высокой управляемости требуют всестороннего анализа функций, возможностей и последствий.
4. Перспективы развития техники, науки требуют глубокого знания системных процессов, умения так изменить организацию, чтобы направить развитие по желаемому пути.

Итак, *базисом развития системных идей и системного подхода можно назвать следующие три фактора:*

*– современные научные фундаментальные и прикладные исследования с подходом целостности, организованности объектов исследования, как, например, кибернетика, биология, психология, лингвистика;*

*– современная сложная техника и программное обеспечение, в которой системный подход представляет ведущий принцип разработки и проектирования сложных объектов;*

*– организация производства и управления и социально-экономическая сфера общества, когда к анализу процессов приходится привлекать экономические, экологические, социологические, организационные, психологические, правовые и этические соображения.*

## Глава 2. Предмет и метод теории систем

Определить предмет научной дисциплины – значит установить круг вопросов, которые данная дисциплина изучает. Главным в предмете «теория систем» является понятие системы. Под системой в первом приближении понимается множество взаимосвязанных элементов, выступающих как единое целое. Принцип системности предполагает возможность исследования большого класса объектов как систем.

Совершаемый современной наукой и техникой переход к анализу своих объектов как систем означает по сути важное преобразование научного знания. Теория сложных систем как методология все шире распространяется и глубже проникает в различные науки и области деятельности. Возникнув как область кибернетики, эта теория получила концептуальное обоснование, развитие и приложение прежде всего в технике, экономике и промышленности. В дальнейшем под давлением практических потребностей системный подход расширился и завоевал популярность в физике, химии, биологии и военном деле.

Формальный аппарат должен быть конструктивным (практически результативным) и в то же время весьма общим (применимым для исследования систем различного назначения).

Одна из форм теоретического осознания системности – общая теория систем – междисциплинарная область научных исследований, ставящая своей задачей выявление и теоретическое описание закономерностей строения, поведения, функционирования и развития систем.

Философские идеи о системе, внутренней сложности и взаимной обусловленности сторон, частей и различных аспектов исследуемых объектов и т. д. были восприняты естествознанием и получили в его рамках конкретную естественно-научную разработку. Системные исследования убедительно продемонстрировали свою междисциплинарную природу.

Различными формами конкретной реализации теории систем являются кибернетика, исследование операций, системотехника и инженерная психология. Общая теория систем и системный подход не решают общепсихологические проблемы, они дают целостное конкретное представление о методах и средствах исследования систем в современной науке и технике. В этом их основная цель и главная функция.

В процессе познания и практической деятельности люди ставят перед собой определенные цели, выдвигают те или иные задачи. Теперь надо найти правильные пути к цели, эффективные приемы решения задач.

**Пути достижения цели, совокупность определенных принципов, приемов теоретического исследования и практического действия составляют метод.**

Без определенного метода невозможно решать никакие научные и практические задачи. Химический состав вещества – необходимо овладеть методом химического анализа, т.е. уметь воздействовать на вещество нужным химическим реактивом, разложить его на составные части, выяснить их химические свойства и т. д. Выплавить металл – овладеть технологией плавки, т.е. теми практическими приемами, которые выработаны людьми в процессе металлургического производства. Определенные методы необходимы при исследовании физических, биологических и других явлений.

Метод не есть механическая сумма тех или иных приемов исследования, выбираемых самими людьми по своему желанию, вне связи с самим исследуемыми явлениями. В значительной степени сам метод обусловлен природой этих явлений, присущим им закономерностям. Поэтому каждая область науки выбирает свои особые методы (физика, химия, биология).

Метод теории систем – системный подход (анализ). Он базируется на познании некоторых всеобщих черт реальной действительности и представляет собой познавательный инструмент для их адекватного изучения. Данный подход является одним из современных общенаучных направле-

ний исследований. Он ориентирован на выявление представлений о целостности системных объектов.

Системный подход использует материал, добываемый всеми науками в виде конкретного материала анализа, а сам он обобщает данные познавательного процесса и разрабатывает свои специфические приемы и процедуры:

- вычленение общего в частно-методологическом знании о системах;
- описание и классификация типичных системных форм и механизмов действия тех или иных системных аспектов;

- выработка наиболее рациональных схем научного анализа системных явлений применительно к сферам органической и неорганической природы, явлениям общественной жизни, естественным и искусственным системам, особенностям системных форм в статике, динамике и развитии, использование системных приемов в синтезе научных знаний. Задачей системных исследований является прежде всего выработка соответствующей теоретико-познавательной технологии изучения явлений как систем и познание системности самого мира.

В системном подходе центральное место занимают вопросы, связанные с различением уровней структурной и функциональной организации исследуемых систем, критериями их выделения, рассмотрением связей и взаимодействий, а также их взаимопереходов, раскрытием механизмов образования более высоких уровней структурной и функциональной организации.

Системный подход представляет собой многофункциональное методологическое направление, отражающее тенденцию к синтезу научного знания и характеризующееся взаимодействием общефилософских, общенаучных и специально научных аспектов в изучении объектов. Одной из основных задач системного подхода является разработка методологии конкретных научных исследований.

Следует помнить, что системный подход не является единственным средством изучения систем. Науки естественные и общественные изучают бесчисленное множество различных объектов – систем, специфические закономерности структуры и функционирования целостных явлений природы и общества, причем изучают свои системные предметы, чаще всего не употребляя никакой системной терминологии. Системный подход не может подменить конкретные науки в изучении конкретных систем, он призван помочь специалистам лучше изучать системы, используя в сконцентрированном методологическом виде все достижения научного познания этого рода.

Системные исследования – особый научный феномен, обладающий специфическими свойствами, отличающими его от других типов и форм научного познания. Системный подход отказывается от односторонне аналитических, линейно-причинных методов исследований и основной акцент делает на анализе целостности, интегративных свойств объекта, выявлении его многообразия связей и отношений, имеющих место как внутри исследуемого объекта, так и в его взаимоотношениях с внешним окружением. Знание о предмете должно состоять из многих разнопорядковых знаний: микро-, мезо-, макромасштабы реальной действительности.

При системном исследовании описание элементов анализируемого объекта проводится не само по себе, а лишь в связи и с учетом их места в целом. Элементы рассматриваются как относительно неделимые – только в рамках конкретной задачи и данного объекта. Свойства объекта как целого определяются не только и не столько свойствами его отдельных элементов, сколько свойствами его структуры, особыми интегративными связями рассматриваемого объекта. Исследование объекта как системы в методологическом плане не отделимо от анализа условий его существования и от анализа среды системы. Сложность и многообразие элементов, связей и отношений объекта как системы обуславливают иерархическое строение



системы – упорядоченную последовательность ее различных компонентов и уровней взаимосвязи между ними. Говоря о системном подходе, имеют в виду также выработку средств соединения, синтеза в теоретическом знании отдельных представлений о сложном объекте – исследуемой системе.

*Итак, системный подход представляет собой совокупность методов и средств, позволяющих исследовать свойства, структуру и функции объектов, явлений или процессов в целом, представив их в качестве систем со всеми сложными межэлементными взаимосвязями, взаимовлиянием элементов на систему и на окружающую среду, а также влиянием самой системы на ее структурные элементы.*

*Системный подход при исследовании любого сложного объекта, явления или процесса базируется на их целостном видении. Главной особенностью системного подхода является наличие доминирующей роли целого над частным, сложного над простым. Поэтому в отличие от традиционного подхода, когда мысль движется от простого к сложному, от части к целому, от элемента к системе, в системном подходе, наоборот, мысль движется от целого к составным частям, от системы к элементам, от сложного к простому.*

*Системный подход делает акцент на анализе целостных, интегративных свойств объекта, выявлении его структуры и функций. Однако существенное значение также имеют протекающие в системах процессы управления, требующие исследования систем в плане циркулирующей в них информации, поведения и выбора цели.*

### Глава 3. Терминология теории систем

Пока отсутствует строгое однозначное и корректное определение системы какого-либо рода. Понятие «система», которое используется в самых разных видах деятельности, является очень широким, размытым понятием. Поэтому затруднительно дать определение, которое относилось бы ко всем видам систем без исключения и вместе с тем четко выделяло бы их из объектов другого рода. Сложности в выработке общего понятия системы рассматривались еще Ю. А. Урманцевым и В. Н. Садовским, известными специалистами по созданию и развитию общей теории систем. Ими был проведен анализ множества имеющихся определений системы и сделана интересная попытка найти общий методологический подход к построению различных (в силу необходимости) определений систем. С тех пор появилось немало новых определений. Разнообразие определений в одних случаях обусловлено ориентацией на разные типы систем, в других – на разные задачи. В качестве существенных выделяются различные признаки систем. Практически любое определение системы, встречающееся в литературе, или является слишком узким – не охватывает каких-то типов объектов, которые принято называть системами, или, хотя и позволяет более или менее отличить системы от других объектов, но является слишком упрощенным – характеризует системы недостаточно полно для понимания их сути.

Для системных исследований ключевой является проблема общности и универсальности понятия системы. Возражение по поводу всеобщности этого понятия строится на положении формальной логики об обратном отношении между содержанием и объемом, а именно: расширение объема понятия системы – это расширение области ее применения, но одновременно с этим происходит обеднение его содержания, что на самом деле представляет *парадокс универсальности*. Чем универсальнее понятие, тем

беднее его содержание и меньше характерных признаков. Парадокс универсальности требует отказа от использования общего определения системы и выделения отдельных классов объектов, в каждом из которых общие понятия и свойства, в том числе и такие, как система, структура, состояние и другие, наполняются своим специфическим содержанием. Так, в частности, в системологии Дж. Клира выделяются классы систем, базирующиеся на определенных типах как элементов, так и отношений между ними.

Наиболее значительная группа определений дает определение системы через понятия элемента, отношения, свойства, связи, целое (целостность). Эта группа понятий выступает как базовая в определении понятия системы. Внесение в нее дополнительных понятий (например, входа, выхода, управления и т.п.) приводит к конкретизации базового определения и задает определенные классы систем.

Определение 1. *Система* – множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, которое образует определенную целостность, единство.

Определение 2. Под *системой* обычно понимают совокупность взаимосвязанных элементов, объединенных единством цели (или назначения) и функциональной целостностью. При этом свойство самой системы не сводится к сумме свойств составных элементов.

В настоящее время, как было сказано выше, отсутствует общепринятое и достаточно корректное определение системы, имеются лишь различные ее толкования. Анализ различных определений и толкований показывает, что существуют, по крайней мере, четыре основных признака, которыми должен обладать объект, явление или их отдельные грани (срезы), чтобы их можно было считать системой.

Первая пара признаков – это признаки **целостности и членимости** объекта. С одной стороны, система – это целостное образование, представляющее целостную совокупность элементов, а, с другой стороны, в систе-

ме четко можно выделить ее элементы (целостные объекты). Для системы главным является признак целостности, т.е. она рассматривается как единое целое, состоящее из взаимодействующих или взаимосвязанных частей (элементов), часто разнокачественных, но совместимых.

Второй признак – это наличие более или менее **устойчивых связей** (отношений) между элементами системы, превосходящих по своей силе (мощности) связи (отношения) этих элементов с элементами, не входящими в данную систему.

В системах любой природы между элементами существуют те или иные связи (отношения). При этом с системных позиций определяющими являются не любые связи, а только лишь существенные связи (отношения), которые определяют интегративные свойства системы.

Третий признак – это наличие **интегративных** свойств (качеств), присущих системе в целом, но не присущих ее элементам в отдельности. Интегративные свойства системы обуславливает тот факт, что свойство системы, несмотря на зависимость от свойств элементов, не определяется ими полностью. Из этого следует, что простая совокупность элементов и связей между ними еще не система, и поэтому, расчленяя систему на отдельные части (элементы) и изучая каждую из них в отдельности, нельзя познать все свойства нормально (хорошо) организованной системы в целом. Интегративное свойство (качество) – это то новое, которое формируется при согласованном взаимодействии объединенных в структуру элементов и которым элементы до этого не обладали.

Четвертый признак – это **организация** (организованность) развивающихся систем. Этот признак характеризует наличие в системе определенной организации. Организация возникает в том случае, когда между некоторыми исходными объектами (явлениями) возникают закономерные устойчивые связи или/и отношения, актуализирующие какие-то свойства элементов и ограничивающие иные их свойства. Организация связана с

упорядоченностью и согласованностью функционирования автономных частей системы и проявляется прежде всего в снижении энтропии по сравнению с энтропией системоформирующих факторов. Организация проявляется в структурных особенностях системы, сложности, способности сохранения системы и ее развития. На практике пользуются такими понятиями, как «степень организованности», «сложность организации» и «совершенство организации». Степень организованности обычно связывают с информацией или **негэнтропией** системы. Считается, что чем выше степень организованности, тем выше негэнтропия системы и ниже ее энтропия.

Существует еще один подход, различающий понятие «система» и «системный комплекс».

Ряд специалистов вводят понятие «**системный комплекс**» как совокупность взаимодействующих систем, например, человеко-машинного типа. Источником функционирования системного комплекса является необходимость осуществления взаимодействия между системами. Именно взаимодействие между системами определяет и объясняет активность отдельных систем и задает многовариантность действий. Различная направленность этой активности обуславливает характер и динамику развития системного комплекса. Межсистемные взаимодействия неоднозначно обуславливаются индивидуальными целями каждой из систем, в зависимости от того, совпадают или не совпадают эти цели между собой. В человеко-машинных и социальных системных комплексах эти межсистемные взаимодействия могут определяться также и общими, иногда неопределенными, целями, ценностями и нормами различного вида, например профессиональными, нравственными, этическими.

Определение 3. *Система* – это объект, представляющий собой некоторое множество элементов, находящихся в рациональных отношениях и

связях между собой и образующих целостность, единство, границы которого задаются пределами управления.

При таком определении системы понятия «система» и «системный комплекс» становятся взаимодополняющими. Причем понятие «взаимодействие» нельзя использовать в качестве основного системного признака, так как просто взаимодействие между большим количеством элементов неизбежно приводит к хаосу, если не содержит дополнительных факторов, которые его упорядочивают и приводят к взаимосодействию. Рациональные отношения – это предсказуемые, упорядоченные, целесообразные, устойчивые отношения. Под понятием «иррациональность» понимается неупорядоченность, нецелесообразность, неопознаваемость, непредсказуемость, парадоксальность.

Определение 4. *Система* – есть нечто целое:  $S=A(1, 0)$ . Оно выражает факт существования и целостности. Двоичное суждение  $A(1, 0)$  отображает наличие или отсутствие этих качеств.

Определение 5. *Система* – есть организованное множество:  $S=(M, O)$ , где  $O$  – оператор организации,  $M$  – множество.

Определение 6. *Система* – есть множество объектов, свойств и отношений между ними:  $S=({m}, {n}, {r})$ , где  $m$  – свойства системы,  $n$  – объекты системы,  $r$  – отношения между элементами системы.

Определение 7. *Система* – есть множество элементов, образующих структуру и обеспечивающих определенное поведение в условиях взаимодействия с внешней средой:  $S=(\varepsilon, s, b, e)$ ,  $\varepsilon$  – элементы системы,  $s$  – структура системы,  $b$  – поведение системы,  $e$  – среда.

Определение 8. *Система* – есть множество входов, выходов и состояний, характеризующихся операторами входов и выходов:  $S=(X, Y, Z, H, G)$ ,  $X, Y$  – входы и выходы системы,  $Z$  – состояния системы,  $H$  – оператор переходов,  $G$  – оператор выходов. Это определение лежит в основе

большинства математических моделей, которые используются в имитационном моделировании.

Определение 9. Система представляется в виде:  $S=(GN, KD, MB, EV, FC, RP)$ , где GN –генетическое родство, KD – условие существования, MB – обменные явления, EV – развитие , FC – функционирование, RP – репродукция. Это определение соответствует уровню биосистем.

Определение 10. Система представляется в виде:  $S=(F, SC, R, FL, FO, CO, JN)$ , где F – модель, SC – связи, R – пересчет, FL – самообучение, FO – самоорганизация, CO – проводимость связи, JN – возбуждение моделей. Данное определение используется для нейрокибернетических исследований.

Определение 11. Если определение 7 дополнить фактором времени и функциональными связями, то получим определение системы, которым обычно оперируют в теории автоматического управления:

Система – это множество  $S=(T, X, Y, Z, \Omega, V, \eta, \varphi)$ , где T – время, X, Y – входы и выходы системы, Z – состояния системы,  $\Omega$ – оператор переходов, G – оператор выходов.

Определение 12. Для организационных систем удобно следующее определение:

Система – это множество  $S=(PL, RO, RJ, EX, PR, DT, SV, RD, EF)$ , где PL – цели и планы организации, RO – внешние ресурсы, RJ – внутренние ресурсы, EX– исполнители, PR – процессы, DT – помехи, SV – контроль, RD – управление, EF – эффект.

Таким образом, последовательность определений можно продолжать бесконечно. В любом определении учитывается такое количество элементов, связей и действий в реальной системе, которое необходимо для решения задачи и достижения поставленной цели.

Рабочее определение. Система – это множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, которое образует определен-

ную целостность и единство, устойчивостью связей, интегративными качествами и организованностью.

Среди специалистов по системному подходу используется, по крайней мере, два – три способа выделения систем. Первый, наиболее распространенный, когда сложный объект, явление или процесс расчленяется на множество составных элементов и между ними выявляются системообразующие межэлементные связи и отношения, придающие этому множеству целостность. При таком представлении окружающий нас мир можно разделить на системы различной природы.

Другой способ – это представление не всего исследуемого объекта, явления или процесса как системы, а только лишь его отдельных сторон, аспектов, граней, разрезов, которые считаются существенными для исследуемой проблемы. В этом случае каждая система в одном и том же объекте выражает лишь определенную грань его сущности. Например, единый объект государство имеет много различных граней, которые составляют военную, политическую, экономическую, образовательную, научную, культурную и другие системы. Такое применение понятия «система» позволяет досконально и целно изучать разные аспекты или грани единого объекта. Эти системы взаимосвязаны между собой, а при необходимости, целиком рассмотрев сложный объект как общую систему, в котором уже выделены системы соответственно его разным граням, их можно представить как подсистемы общей системы.

Таким образом, при структурировании сложного объекта в целях его анализа можно выделить в нем подсистемы или элементы как путем расчленения на части, так и путем выделения его различных граней или аспектов.

Известен из литературы еще один способ выделения систем в сложном объекте без его расчленения на части. Гранями там служат существенные процессы, протекающие в сложном объекте, а системы принимают



участие в этих процессах. Например, могут выделяться процессы сохранения устойчивости колебаний между объединением и разъединением, процессы изменения уровня организованности, процессы эволюции.

С понятием «система» тесно связан целый круг общенаучных и философских понятий, относящихся к описанию внутреннего строения системы. В эту группу входят понятия: «свойства, отношение, связь, подсистема, элемент, окружающая среда, часть – целое, структура, организация» и некоторые другие. Следует особо подчеркнуть взаимозависимость названных понятий, приводящую в частности, к круговому характеру их определения (каждое из этих понятий определяется на основе других и в свою очередь способствует уточнению их синтеза).

По мере развития различных вариантов теорий систем и системного подхода в целом возрастает роль установления строгих определений системных понятий. Это возможно лишь в рамках специальных формальных языков, построенных для системных теорий. Пока успехи в этом отношении весьма скромные.

Рассмотрим на качественном уровне основные понятия, характеризующие строение и функционирование систем.

- **Элемент.** Под элементом принято понимать простейшую неделимую часть системы. Элемент – предел членения системы с точки зрения решения конкретной задачи и поставленной цели.

Элементом можно назвать некоторый объект (материальный, энергетический, информационный), обладающий рядом важных свойств, но внутреннее строение (содержание) которого относительно цели рассмотрения значения не имеет.

- **Подсистема.** Подсистемы представляют собой компоненты более крупные, чем элементы и в то же время более детальные, чем система в целом. Возможность деления на подсистемы связана с вычленением совокупностей взаимосвязанных элементов, способных выполнять относитель-

но независимые функции, подцели, направленные на достижение общей цели системы. Названием подсистемы подчеркивается, что такая часть должна обладать свойствами системы. Этим подсистема отличается от простой группы элементов, для которой не сформулирована подцель, не выполняется свойство целостности и т.д. Для такой группы используется название **компонент**.

- **Внешняя среда.** Под внешней средой понимается множество элементов, которые не входят в систему, но изменение их состояния вызывает изменение поведения системы. Ближайшее окружение системы, во взаимодействии с которым система формирует и проявляет свои свойства.

- **Связь.** а) Общее определение. Внутри системы и между системами важную роль выполняют связи, которые соединяют элементы между собой в систему. Предполагается, что связи существуют между всеми системными элементами, между подсистемами и системами. В частности, элементы (подсистемы) считаются взаимосвязанными, если по изменению происходящего в одном из элементов можно судить об изменениях, происходящих в других элементах. Два и более различных предмета связаны, если по наличию или отсутствию некоторых свойств у одних из них можно судить о наличии или отсутствии тех или иных свойств у других из них.

б) Более технологичное определение. Связью называется важный для целей рассмотрения обмен между элементами веществом, энергией, информацией. Единичным актом связи выступает воздействие. Обозначая все воздействия элемента  $M_1$  на элемент  $M_2$  через  $x_{12}$ , а элемента  $M_2$  на  $M_1$  – через  $x_{21}$ , можно изобразить связь графически (рис.1).

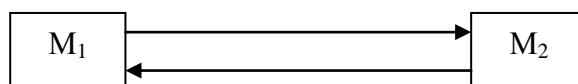


Рис.1. Связь двух элементов

Для данного элемента можно выделить: а) все те воздействия, которые он испытывает со стороны других элементов и внешней среды; б) воз-

действия, которые он оказывает на другие элементы и внешнюю среду. Первую группу воздействий принято называть *входами* (воздействия на элемент), а вторую – *выходами* (воздействия от элемента).

Язык входов и выходов переносится на произвольную совокупность элементов, включая и всю систему целиком. И здесь можно говорить обо всех входящих и выходящих воздействиях. Это не просто удобный, но весьма плодотворный подход к рассмотрению системы, поскольку, характеризуя группу элементов только входами и выходами, появляется возможность оперировать этой частью системы, не вникая, как связаны и взаимодействуют между собой ее элементы. Таким образом, происходит уход от детализации в описании при сохранении основных особенностей системы.

Группа элементов системы, описываемая только своими входами и выходами и обладающая определенной цельностью, называется *модулем*. Система может представляться набором модулей и сама рассматриваться как модуль. Деление системы на модули – это удобный и наиболее распространенный прием работы с искусственными системами, включая их создание (проектирование), проверку, настройку, усовершенствование. Именно модульное строение системы в сочетании с принципом введения все более крупных модулей при сохранении обозримого объема входов и выходов позволяет рассматривать в принципе сколь угодно сложные системы.

Связь характеризуется направлением (направленные, ненаправленные), силой (сильные, слабые) и характером (связи взаимодействия, связи порождения (генетические), связи управления, связи функционирования, связи развития и т. д.). Различают также связи по месту приложения (внутренние и внешние), по направленности процессов в системе в целом и в отдельных ее подсистемах (прямые, обратные).

• **Состояние.** Мгновенная фотография, срез системы, остановка в ее развитии. Состояние – это совокупность значений существенных свойств системы в определенный момент времени.

Более полно состояние можно определить, если рассмотреть сами элементы  $\varepsilon$ , определяющие состояния, и разделить входы на управляющие  $u$  и возмущающие  $x$ :  $z_t=f(\varepsilon_t, u_t, x_t)$ . Можно учесть, что входы зависят от элементов. В зависимости от задач состояние может быть представлено несколькими способами:  $\{\varepsilon, u\}$ ,  $\{\varepsilon, u, x\}$ ,  $\{\varepsilon, u, x, z\}$ ,  $\{u, x\}$ ,  $\{u, x, z\}$ .

Таким образом, *состояние* – это множество свойств системы, которыми система обладает в данный момент времени  $t$ .

- **Поведение.** Если система способна переходить из одного состояния в другое (например,  $z_1 \rightarrow z_2 \rightarrow z_3$ ), то говорят, что она обладает поведением. *Поведение* – множество последовательных во времени состояний системы. Этим определение пользуются, когда не известны закономерности переходов из одного состояния в другие. Поведение системы можно представить как функцию:  $z_t=f(z_{t-1}, u_t, x_t)$ .

- **Равновесие** – это способность системы в отсутствие внешних возмущающих воздействий (или при постоянных воздействиях) сохранять свое состояние сколь угодно долго.

- **Устойчивость.** Под устойчивостью понимается способность системы возвращаться в состояние равновесия после того, как она была из этого состояния выведена под влиянием внешних возмущающих воздействий. Эта способность обычно присуща системам при постоянном внешнем воздействии, если только отклонения не превышают некоторого предела.

Существует и такое определение. *Устойчивость системы* – это способность сохранять динамическое равновесие со средой, способность к изменению и адаптации. Увеличение устойчивости кибернетических систем иногда прямым образом связано с повышением сложности систем (резервированием), с усложнением реакции на внешние воздействия. Нередко сравнительно более устойчивой, при прочих равных условиях, оказывается система, содержащая больше число элементов. Известно, что при ухудшении климатических условий небольшие экосистемы страдают больше, чем

крупные. Аналогично, при высыхании водоемов в одних и тех же климатических условиях скорее высохнут небольшие пруды, чем крупные озера. Во многих случаях общая устойчивость системы повышается с ростом числа элементов только тогда, когда увеличение числа элементов не приводит к уменьшению структурной устойчивости системы. Так, при землетрясении многоэтажные здания разрушаются скорее, чем малоэтажные постройки. В общем случае устойчивость системы зависит не только от количества ее элементов, но и от характера самих элементов, способов их сочетания и вида их структурных связей. К примеру, хорошо организованная небольшая армия может быть боеспособнее и устойчивее, чем значительно превосходящая ее по численности, но слабо организованная.

Структурная устойчивость системы бывает статической и динамической.

Если устойчивость разных элементов системы по отношению к внешним воздействиям различна, то общая устойчивость системы определяется наименее устойчивым или слабым элементом. Это явление представляет собой реализацию принципа *наименьших сопротивлений* – где тонко, там и рвется. Закон наименьших сопротивлений формулировался независимо в разных областях науки, на разном конкретном материале и в разных формах.

- **Внешняя среда** – множество элементов, которые не входят в систему, но изменение их состояния вызывает поведение системы.

- **Модель системы** – описание системы, отображающее определенную группу ее свойств. Углубленное описание есть детализация моделей. Создание модели системы позволяет предсказать ее поведение в определенном диапазоне условий.

- **Модель функционирования системы** – это модель, предсказывающая изменение состояния системы во времени.

- **Структура** (строение, расположение, порядок). Следует отметить следующее обстоятельство: как нет единого определения понятия системы, так нет и единого определения понятия структуры.

Наиболее типичными определениями структуры являются следующие:

1) структура – это устойчивая упорядоченность в пространстве и во времени ее элементов и связей между ними, определяющая функциональную компоновку системы и ее взаимодействие с внешней средой;

2) структура – это множество всех возможных отношений между подсистемами и элементами внутри системы;

3) структура – это то, что остается неизменным в системе при изменении ее состояния, при реализации различных форм поведения, при совершении системой операции.

4) структура – это совокупность элементов и связей между ними.

В совокупности эти определения отражают главное, что присутствует в любой структуре: элементный состав, наличие связей, неизменность (инвариантность) во времени (на всем интересующем исследователей интервале функционирования системы или на каждом из непересекающихся подмножеств, на которые разбит интервал функционирования системы).

Структура имеет множество описаний и интерпретаций. Для получения адекватного знания о структуре и строении системы, необходимо построить множество описаний, каждое из которых будет охватывать лишь некоторые аспекты структуры как целостности.

Взаимодействие элементов в системе строго избирательно. Элемент, входящий в систему, взаимодействует с другими элементами не целиком, а только одной или несколькими сторонами. Следовательно, характер и качество связи зависит от особенностей той или иной стороны элементов, находящихся во взаимодействии. Например, кирпичи в простой кладке

взаимодействуют друг с другом лишь путем соприкосновения поверхностей, не меняясь внутренне. Взаимодействие это чисто механическое. Поэтому структура и строение этой системы могут быть отражены указанной формальной схемой. В кристалле совершенно другая картина. Во взаимодействии элементов кристалла – атомов проявляются их внутренние свойства. Атомы, входящие в кристаллы, претерпевают качественные изменения. Поэтому кристаллическая решетка только приблизительно передает структуру кристалла. С помощью простой схемы пространственного расположения клеток нельзя отобразить структуру живого организма, так как взаимосвязь клеток сложна и многообразна. Таким образом, *чем больше сторон и свойств элементов участвуют во взаимодействии, тем сложнее оказывается структура.*

Структуру отражают только существенные взаимоотношения между элементами и их группами (компонентами, подсистемами), которые мало изменяются при изменении в системе и обеспечивают существование основных ее свойств.

Пространственное расположение элементов – это отношение между элементами. Строение системы – ее структура – не исчерпывается только этим отношением. В понятие структуры должны входить элементы – основа структуры и набор отношений между ними. Набор может сводиться к одному отношению. Элементами структуры необязательно являются элементы системы или части системы (подсистемы). Элементами структуры могут быть и связи между элементами системы, и их свойства, и отношения между ними и т. д. Зачастую структура рассматривается как **схема связей** элементов системы.

Как всякий предмет имеет множество сторон, свойств, взаимоотношений с миром, так и структура системы имеет множество проявлений, и в этом смысле можно говорить о множественности структур системы – пространственная структура, структура связности и т.п.

Структура системы может быть представлена графически, в виде теоретико-множественные описания, матриц, графов и прочее. Структуру удобно изображать в виде графической схемы, состоящей из ячеек (групп) и соединяющих их линий (связей). Такие схемы называются структурными.

Ниже приведены примеры структур. Вещественная структура сборного моста состоит из его отдельных, собираемых на месте секций. Грубая структурная схема такой системы укажет только эти секции и порядок их соединения. Последнее и есть связи, которые здесь носят силовой характер. Пример функциональной структуры – это деление двигателя внутреннего сгорания на системы питания, смазки, охлаждения, передачи силового момента и др.

Пример системы, где вещественные и функциональные структуры слиты, – это отделы проектного института, занимающиеся разными сторонами одной и той же проблемы. Типичной алгоритмической структурой будет алгоритм (схема) программного средства, указывающая последовательность действий. Также алгоритмической структурой будет инструкция, определяющая действия при отыскании неисправности технического объекта.

Примерами структур других типов являются календарь (временная структура) или деление книги на главы. Ситуация с книгой интересна тем, что здесь основа деления может быть информационной (в научной литературе), вещественной (для типографии глава – это количество бумаги и рабочего труда) или более сложной, например, основанной на наборе эстетических воздействий на читателя (для художественной литературы).

В плане пространственной организации систем различают структуры плоские и объемные; рассредоточенные – когда элементы равномерно распределены в пространстве; локально-сосредоточенные – при наличии сгущений элементов и сосредоточенные – когда имеется одно сгущение элементов.



По временному признаку выделяются экстенсивные структуры, в которых с течением времени происходит рост числа элементов, и интенсивные – в которых происходит рост числа связей при неизменном числе элементов. Порядок вхождения элементов системы в подсистемы, а затем последовательное объединение подсистем в целостную систему образует структуру членения системы. Эта структура всегда иерархического типа и имеет всегда не менее двух уровней: старший уровень – система, младший уровень – элементы.

Структура системы может быть охарактеризована по имеющимся в ней (или преобладающим) типам связей. Простейшими из них являются последовательное, параллельное соединение элементов и обратная связь (рис. 2).

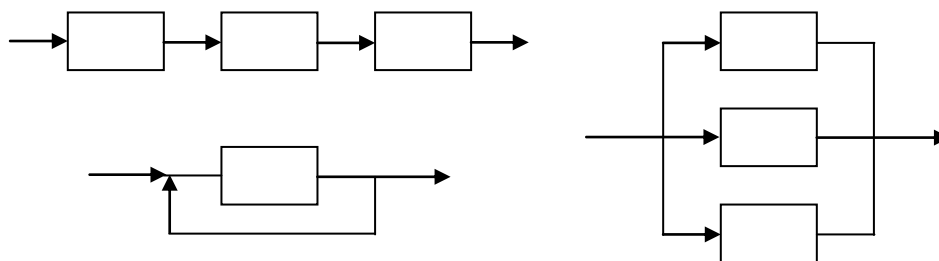


Рис. 2. Простейшие типы связей

Необходимо пояснить понятие обратной связи. Оно означает, что результат функционирования элемента влияет на поступающие на него воздействия. Как правило, обратная связь выступает важным регулятором в системе. Крайне редко встречается система без того или иного вида обратной связи.

Можно выделить три класса структур: иерархические, неиерархические и смешанные (рис. 3). Иерархия – это упорядоченность компонентов по степени важности (многоступенчатость, служебная лестница). *Иерархией* называют структуру с наличием подчиненности, т. е. неравноправных связей между элементами, когда воздействия в одном из направлений оказывают гораздо большее влияние на элемент, чем в другом.

Для иерархических структур характерно наличие управляющих (командных) подсистем. В неиерархических структурах функции управления распределены между всеми элементами или группами элементов.

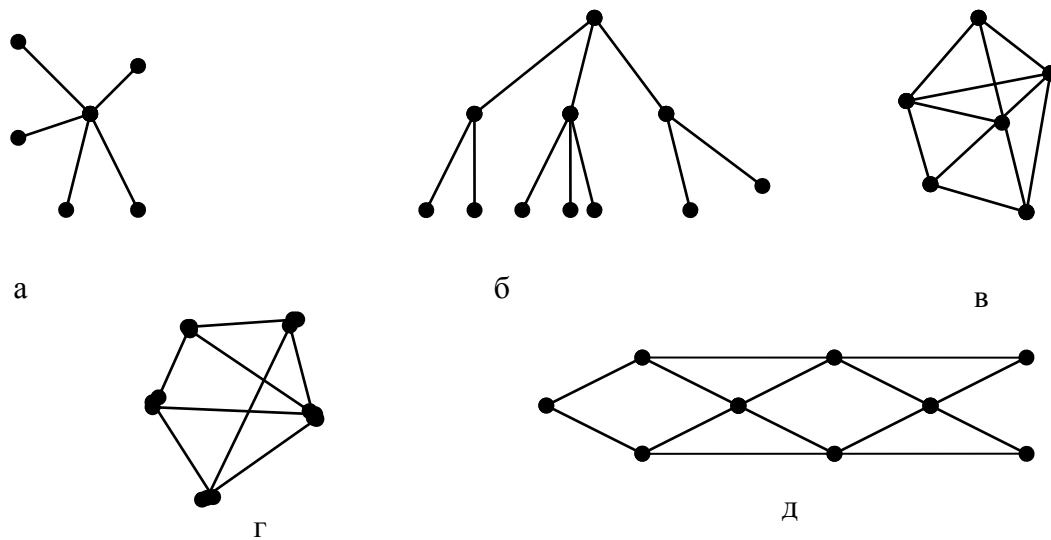


Рис.3. Классификация структур по связям:

а, б – иерархическая; в, г – многосвязная; д – сотовая

Как правило, наличие иерархии является признаком высокого уровня организации, в функциональном отношении иерархические системы более экономны. Избыточность структуры свидетельствует о нецелесообразном расходе ресурсов, расточительности, которая оправдана только в том случае, если целью является дальнейшее развитие системы, ее морфологическая перспектива. Для описания структур применяются графы.

Строго иерархической называется структура удовлетворяющая следующим условиям:

- каждая подсистема является либо управляющей, либо подчиненной, либо (по отношению к различным подсистемам) то и другое одновременно;
- существует по крайней мере одна только подчиненная система;
- существует одна и только одна управляющая подсистема;
- любая подчиненная подсистема непосредственно взаимодействует с одной и только одной управляющей (обратное не обязательно).

Неиерархические структуры являются производными от многосвязной структуры, в которой каждая подсистема непосредственно взаимодей-

ствуется с любой другой. Неиерархические структуры удовлетворяют следующим требованиям:

- не существует подсистемы, которая является только управляющей;
- не существует подсистемы, которая является только подчиненной;
- любая подчиненная подсистема взаимодействует более чем с одной управляющей (обратное необязательно).

Смешанные структуры представляют собой различные комбинации иерархической и неиерархической структур.

Любая иерархия, в принципе, сужает возможности и особенно гибкость системы. Элементы нижнего уровня сковываются доминированием сверху, они способны влиять на это доминирование (управление) лишь частично и, как правило, с задержкой. Однако введение иерархии резко упрощает создание и функционирование системы, и поэтому ее можно считать вынужденным, но необходимым приемом рассмотрения сложных технических систем. Недаром та или иная степень иерархии наблюдается в подавляющем большинстве естественных систем. В большинстве определений и интуитивных трактовок понятия структуры системы имеется в виду, что структура представляет собой совокупность устойчивых связей и отношений между элементами системы и выступает в виде ее инварианта. Однако такое понятие структуры не совсем пригодно для развивающихся систем, у которых структура меняется с развитием системы и поэтому является относительно устойчивой.

• **Цель.** а) Общее определение. Цель – это некоторое (возможно, вообразимое) положение дел, к осуществлению которого стремятся. Цель – субъективный образ (абстрактная модель) несуществующего, но желаемого состояния среды (системы), которое решило бы возникшую проблему.

б) Более технологичное определение. Понятие цели системы часто определяют как задачу получения желаемого выходного воздействия (или вы-

ходной траектории) или достижения желаемого состояния системы (поведения).

Постановка цели перед системой (часто говорят: глобальной цели) влечет за собой необходимость:

- формулировки локальных целей, стоящих перед элементами системы и группами элементов;
- целенаправленного вмешательства в функционирование (строение, создание) системы.

Обе эти операции тесно связаны, хотя, с точки зрения практики, обычно сначала разбивают глобальную цель на набор локальных, а потом ищут пути достижения локальных целей.

Набор локальных целей, как правило, сам имеет иерархическое многоуровневое строение и в той или иной степени соответствует общей иерархии в системе. В этом случае понятие «локальные цели» есть собирательный термин для целей всех иерархических уровней; для любой из них можно указать, в какую более высокого уровня она входит и (кроме целей самого уровня) на что она дробится сама.

При модульном строении системы локальные цели выступают как требования к выходным характеристикам модулей. Именно продуманные требования на выходы согласовывают модули так, что состоящая из них система выполняет глобальную цель.

Таким образом, локальные цели выступают важным регулятором организации частей и элементов в целенаправленную систему, а их согласование направляет проводимые в системе изменения в единое русло. Необходимо заметить, что согласование обычно является сложной, плохо формализуемой процедурой. При этом конкретная локальная цель может получаться и такой, что затруднит выполнение соседней цели, и лишь компромисс между ними даст продвижение к глобальной цели системы.

- **Организованность и упорядоченность.** Структура системы определяет внутреннюю упорядоченность и организованность системы. Уровень организованности или упорядоченности определяется степенью отклонения системы от максимально неупорядоченного состояния. Он обуславливается достаточной структурной и функциональной сложностью системы, степенью разнообразия ее элементов и связей между ними, многотипностью и количеством элементов и связей между ними.

В качестве меры упорядоченности или организованности системы  $R$  обычно понимают степень отклонения состояния системы от ее термодинамического равновесия. К. Шенон эту степень отклонения обозначил через избыточность. Уровень организованности или упорядоченности системы оценивают величиной:

$$R = 1 - \frac{\mathcal{E}_{реал}}{\mathcal{E}_{макс}} = \frac{H\mathcal{E}}{\mathcal{E}_{макс}},$$

где  $\mathcal{E}_{реал}$  – реальное или текущее значение энтропии (неопределенности) системы,  $H\mathcal{E}$  – негэнтропия системы,  $\mathcal{E}_{макс}$  – максимально возможная энтропия или неопределенность по структуре и функции системы.

Из уравнения следует, что переход к более высокому уровню упорядоченности и организованности системы означает уменьшение ее текущей неопределенности (энтропии) за счет накопления информации (негэнтропии). Поэтому для повышения организованности системы необходим приток извне, из среды и изнутри информации и энергии. Если система полностью детерминирована и организованная, то  $R = 1$  и  $\mathcal{E}_{реал} = 0$ . Если же система полностью дезорганизованная, то  $R = 0$  и  $\mathcal{E}_{реал} = \mathcal{E}_{макс}$

Для любой вероятностной системы мера относительной организованности лежит в пределах  $0 \leq R \leq 1$ . Считается, что организованность системы представляет более высокую ступень упорядоченности системы. Организованная система способна бороться за поглощение, сохранение и увеличение  $H\mathcal{E}$  против энтропии  $\mathcal{E}$ .

Организованность и упорядоченность системы повышается только при целесообразном и направленном взаимодействии элементов системы. Если возникают случайные факторы, различного рода флуктуации, шумы, то они не способствуют росту организованности системы, а, наоборот, нарушают программу функционирования системы.

- **Развитие.** Развитие любой конкретной системы есть реализация ее сущности, заложенного в ней потенциала. Развитие системы является одним из первых этапов среди трех этапов бытия системы, и оно предшествует зрелому состоянию (II этап), деградации и упадку (III этап) (рис. 4).

Природа так устроена, что для развития одних систем требуется гибель других и сами эти системы деградируют и гибнут, чтобы развивались третьи. Правда, бывает так, что система не всегда проходит все три стадии бытия. После этапа развития может наступить этап деградации, исключая этап зрелого или стабильного состояния. Известно, что всякая организованная система, будучи предоставлена самой себе, разрушается, деградирует до более вероятного равновесного состояния, в итоге – до полного хаоса. Например, город, покинутый людьми, зарастает и разрушается.

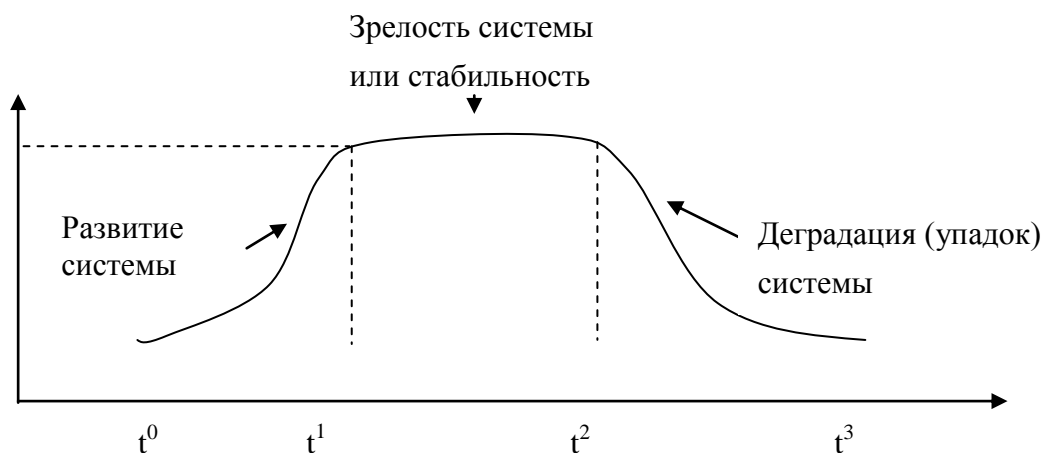


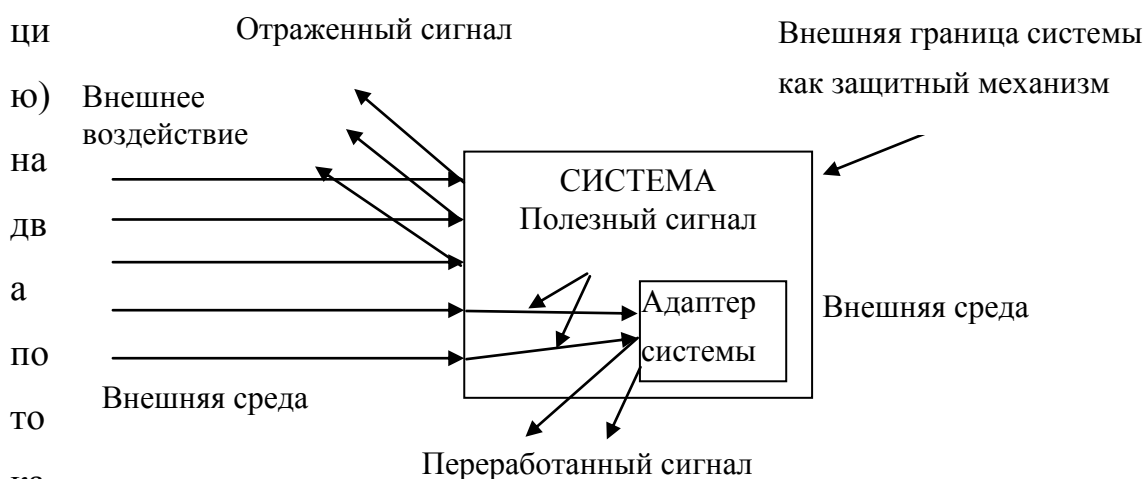
Рис. 4. Кривая трехстадийного этапа существования нормальной системы:  
 $(t^0 - t^1)$  – развитие;  $(t^1 - t^2)$  – зрелость или стабильность  
и  $(t^2 - t^3)$  – деградация (упадок) системы

**Критериями развития** системы являются: увеличение порядка, рост организованности, увеличение информации, снижение энтропии системы.

Сложную развивающуюся систему отличает не только фактор открытости, но и наличие внутри системы специальных механизмов защиты и адаптации от окружающей среды. Эти механизмы позволяют обработать и использовать полезные для своего развития сигналы, которые поступают извне системы, а механизмы защиты, имеющиеся внутри системы, предохраняют ее от проникновения сигналов в виде информации, энергии или вещества, переработать и усвоить которые система не способна.

Так, например, у человека за его развитие отвечают сложные механизмы обмена веществ, накопления знаний, навыков, интуиции и прочие, локализованные в организме, а не в среде; кожа, череп, иммунная система и прочее образуют защитные механизмы от воздействия внешней среды. Аналогично можно сказать и об общественных системах (политической, социально-экономической, духовной). Главное не только провозгласить открытость, демократию и права человека, а формировать механизмы защиты и адаптации от окружающей среды, аналогично тому, как это происходит в процессе естественной эволюции.

При взаимодействии любой развивающейся системы с окружающей средой система распределяет внешнее воздействие (или сигнал, информация



(рис. 5).

Рис. 5. Взаимодействие любой открытой или развивающейся адаптивной системы с внешней окружающей средой

Полезный сигнал – система поглощает и использует в целях адаптации, самоорганизации и развития, а отраженный сигнал системой отбрасывается, и он возвращается во внешнюю среду. Система развивается лучшим образом только тогда, когда:

- система содержит адаптер с таким механизмом адаптации, который адекватен внешнему воздействию;

- у системы имеется совершенная граница со средой или защитные механизмы от среды, позволяющие оградить ее от опасных сигналов, которые адаптер не способен переработать;

- существует благоприятная неагрессивная среда, которая содержит все необходимые факторы для поддержания адаптера и границы системы в состоянии эффективной работоспособности и не подвергает систему плохим воздействиям, с которыми не может справиться ни адаптер, ни граница системы.

Если адаптер системы и ее граница окажутся не способными противостоять плохому (агрессивному) внешнему воздействию, то может наступить катастрофа или конец системы.

В процессе развития любой конкретной системы происходит реализация уже заложенного в системе потенциала или ее родовой сущности.



С точки зрения синергетики и теории катастроф, равновесие в нашем мире представляет состояние весьма хрупкое. Неравновесность системы является необходимым условием ее развития. В условиях неравновесия система, предоставленная сама себе, не только повышает свою энтропию и стремится к более вероятному равновесному состоянию, но и одновременно в ней возможны спонтанные переходы, сопровождающиеся снижением энтропии и возникновением диссипативных структур.

**Гомеостаз.** Гомеостатические принципы организации и управления основаны на понятии гомеостаза, впервые появившемся в биологии и ставшим затем одним из ее кардинальных понятий. Гомеостаз означает свойство живых организмов поддерживать состояние своей внутренней среды постоянным с тем, чтобы находящиеся в ней живые клетки имели возможность нормально функционировать вне зависимости от внешних условий, в которых организм находится. Это понятие оказалось настолько удачным для описания сохраняемых свойств сложных систем любой природы, что оно быстро распространилось на все области системного анализа. В самом общем понимании гомеостатичность системы означает, что она не только выполняет предписанное ей задание, но одновременно заботится и о сохранении самой себя (по крайней мере, до момента выполнения этого задания).

*Гомеостаз* – функциональное состояние системы, при котором обеспечивается поддержание динамического постоянства в допустимых пределах жизненно важных функций и параметров системы при различных изменениях внутренней и внешней среды.

Во многих системах (биологических, экономических, социальных, технических и других) существуют жизненно важные параметры, выход которых за допустимые пределы неизбежно ведет либо к гибели системы, либо к временной потере устойчивости (для человека – уровень температуры тела, кровяное давление, ритм сердца, уровень сахара в крови, уро-

вень иммунной защиты и т.п.; для экономики – уровень инфляции, денежная масса, величина ВВП и бюджета и т.п.).

*Гомеостатика* – наука об управлении жизнеспособностью систем. Основой гомеостатики является тот факт, что мир двойственен и устойчивая гомеостатическая система должна состоять из балансирующих или компенсирующих друг друга противовесов (противоположностей, антагонистов), объединенных между собой определенным образом. Если это равновесие противовесов нарушается, то обязательно требуются специальные средства, направленные на поддержание устойчивости системы. Таким средством в гомеостатических системах могут служить специальные методы управления. Известно, что управление в живом организме строится на использовании гомеостатических принципов, поэтому можно надеяться, что применение гомеостатических принципов при управлении техникой, экономикой, любыми искусственными системами, государством, обществом, производством, отдельной фирмой повысит их живучесть, надежность и экономические показатели.

• **Управление.** Управление объектом (системой) – это воздействие на него с целью достичь желаемых свойств его поведения, в частности, гомеостаза. Всякая нормальная система с ее заданными функциями за счет воздействия управляющих сигналов ( $M_1, \dots, M_i$ ) преобразует входные сигналы ( $X_1, \dots, X_n$ ) в выходные сигналы ( $Y_1, \dots, Y_p$ ) (рис. 6).

Совокупность выходных величин и их изменения позволяют в достаточной степени оценивать поведение системы и соответствие траектории движения системы целям управления.

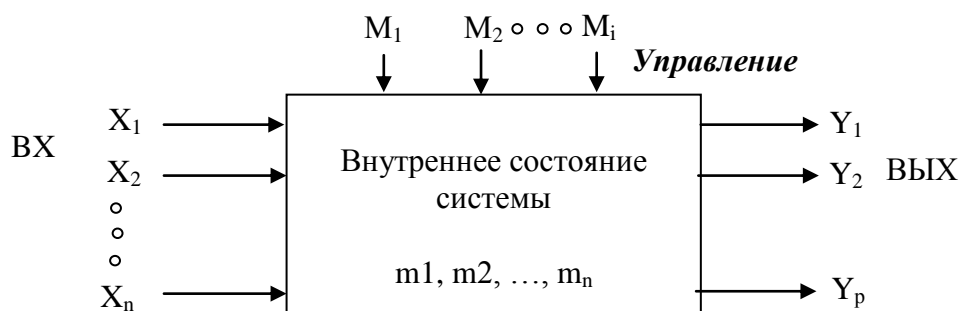


Рис. 6. Блок-схема управления системой

Во многих случаях в системе управления, т.е. системе, в которой осуществляется процесс управления, можно выделить, с одной стороны, объект управления (или управляемую систему, орган), а с другой – субъект управления (управляющую систему, орган). При этом управление может быть: только прямым, односторонним, когда имеется только воздействие субъекта на объект управления (рис. 7, а), или – с обратной связью (рис. 7, б), когда имеется также обратное воздействие объекта управления на управляющую систему.

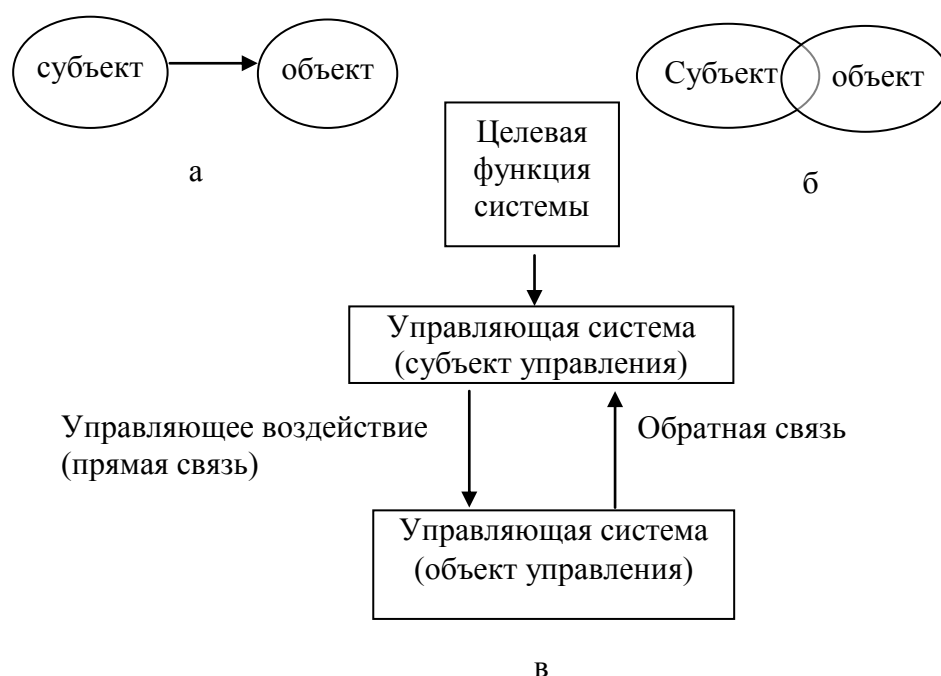


Рис. 7. Виды управления: а) управление как воздействие, б) управление как взаимодействии, в) управление через прямую и обратную связи

При управлении системой (объектом) происходит перевод (переход) системы из одного состояния в другое, т.е. управляемый объект под воздействием управляющего изменяет свое поведение так, чтобы достичь заданной цели (или ценности), и при помощи обратной связи выдает ответную реакцию о своем состоянии или поведении. Поэтому процесс управления во многом представляет собой преобразование информации обратной связи в информацию управляющих воздействий.

Как правило, управляющая и управляемая подсистемы системы управления в целом связаны между собой противоположно направленными потоками информации (рис. 7, в), которые переводят систему в разные состояния и осуществляют выбор в направлении предпочтительного изменения состояния. Очевидно, что если нет выбора, то нет и управления. В отношении самоуправляемых систем, в которых нет условного разделения на объект и субъект управления, следует отметить, что они сами себя приводят в соответствие с состоянием внешней среды и обладают способностью саморегулироваться, самоорганизовываться.

Обратная связь является необходимым условием для большинства форм управления системами. Правда, обратная связь не всегда зрима (заметна) в процессе функционирования системы управления, но она практически всегда присутствует. Механизм положительной и отрицательной обратной связи занимает ведущее положение в управлении системами, так как представляет собой универсальный механизм целенаправленного управления поведением практически любых систем в зависимости от расхождения фактического и желаемого поведения. Отрицательная обратная связь корректирует поведение управляющей подсистемы в сторону ослабления факторов расхождения, тогда как положительная обратная связь корректирует поведение управляющей подсистемы в сторону усиления факторов расхождения. На поведение системы влияет соотношение положительной и отрицательной обратной связи, поэтому необходимо находить их оптимальное соотношение.

Когда речь идет о системах управления, важно иметь в виду, что интегративное качество системы, которое является желаемым, верхом идеала с точки зрения целей, часто достигается лишь в большей или меньшей степени, например, из-за особенностей объекта управления или недостатка ресурсов для осуществления управления. Это может происходить даже из-за намеренных действий внутри управляющей системы, в которой могут

возникать собственные цели и интересы, отличные от исходной цели управления. В связи с этим, с точки зрения установленных целей, принято говорить о разном качестве управления. Во многих случаях интегративным качеством системы управления представляется гомеостаз систем как конечная цель управления. Особенно в эволюционных самоуправляемых системах управление существует как механизм обеспечения гомеостаза. Если есть интегративное качество, то управление условно можно рассматривать как настоящую систему, а если нет, тогда управление представляет собой не систему, а только лишь псевдосистему.

## Глава 4. Функциональность систем

### 4.1. Понятие функции системы.

#### Классификация функций сложной системы

Развитие общества постоянно сопровождается возникновением различного рода потребностей, которые материализуются и удовлетворяются современными техническими системами. Такое назначение системы предопределяет реализацию системой определенной совокупности функций.

*Функция системы характеризует проявление ее свойств в данной совокупности отношений и представляет собой способ действия системы при взаимодействии с внешней средой.* Функция системы является проявлением свойств, качеств системы во взаимодействии с другими объектами системного и несистемного характера. Наиболее общее истолкование функции как внешнего проявления свойств объекта в определенной совокупности отношений позволяет рассматривать функции как совокупность собственно функциональных возможностей системы и как совокупность их свойств, которые могут быть выражены как качественными, так и количественными характеристиками.

Понятие функции близко к понятию цели, они тесно связаны друг с другом. При рассмотрении цели системы с позиций системы более высокого уровня, цель может рассматриваться как функция по отношению к другой системе.

Понятие функции можно трактовать и таким образом: назначение элемента, подсистемы, системы по отношению к другим элементам, подсистемам, среде.

Основные функции системы (макрофункции) определяют функции, реализуемые элементами (микрофункции). Различают следующие виды организации системы.

Функциональная организация – это совокупность *функций* системы, связей и отношений между ними. Это структура системы на основе функций. Она выражает проявление свойств системы во внешней среде.

Структурная организация – это совокупность *элементов*, связей и отношений между ними, т.е. структура системы на основе элементов (и подсистем).

Функционально-структурная организация системы может рассматриваться как единство функциональной и структурной организации. Она выражает как особенности строения и взаимодействие системы с внешней средой, так и внутреннее взаимодействие элементов в процессе функционирования системы. Функциональная организация системы может быть описана алгоритмически, графически, таблично, с помощью временных диаграмм и словесно (вербально). Для описания структурной организации используется графическое или табличное представление связей между элементами.

Все функции, реализуемые сложной системой, могут быть условно разделены на три группы:

- *целевая функция* соответствует основному функциональному назначению системы.

- *основные функции* отражают ориентацию системы и представляют набор макрофункций, реализуемых системой. Они обуславливают существование систем определенного класса.

- *дополнительные функции* расширяют функциональные возможности системы, сферу применения. Обычно они рассматриваются как сервисные, повышающие эффективность и уровень эксплуатации систем.

Деление на основные и дополнительные функции является условным, и при определенных требованиях к создаваемой системе дополнительные функции могут переходить в разряд основных. Для относительно простых систем целевая функция и основная функция могут совпадать.

## 4.2. Дерево функций системы

Построение функциональной организации включает в себя создание дерева функций системы. Оно представляет декомпозицию функций и формируется для детального исследования функциональных возможностей системы и анализа совокупности функций, реализуемых на различных уровнях иерархии системы.

На базе дерева осуществляется формирование структуры системы на основе функций. В дальнейшем эта структура покрывается конструктивными модулями (элементами систем). Этап формирования дерева функций является важным не только при анализе функциональной организации, но и при синтезе функционально-структурной организации.

Формирование дерева функций представляет собой процесс декомпозиции целевой функции и множества основных и дополнительных функций на более элементарные функции, реализуемые на последующих уровнях декомпозиции. Реализуемая на  $i$ -м уровне функция представляет собой одну из элементарных (микрофункций) по отношению к порождающей ее макрофункций  $i-1$  уровня. Они в свою очередь рассматриваются как макрофункции по отношению к функциям  $i+1$  уровня.

Следовательно, при формировании дерева функций каждая функция может рассматриваться и как элементарная по отношению к функциям верхнего уровня и как макрофункция по отношению к реализующим ее функциям нижнего уровня. Как правило, в процессе декомпозиции выделяются следующие группы уровней системы, определяющие степень детализации описания реализуемых функций.

Первая группа – нулевой уровень, ему соответствует целевая функция. На уровнях второй группы осуществляется декомпозиция целевой функции и формирование основных и дополнительных функций. Основные функции представляют общие функции для систем рассматриваемого



класса. Их дальнейшая декомпозиция отражает проблемную ориентацию и специализацию конкретной создаваемой системы. Уровни второй группы соответствуют функциям отдельных подсистем. Уровни третьей группы отражают функции элементов системы.

Практика декомпозиции функций показывает, что реальное число микрофункций  $i+1$  уровня, формируемых в результате декомпозиции макрофункции  $i-1$  уровня, сравнительно невелико. При большом числе выявленных микрофункций целесообразно увеличить число функций предыдущего уровня декомпозиции.

Число уровней декомпозиции дерева функций, не зависимо от функционального назначения, обычно не превосходит 5–7 уровней.

Реальные ограничения числа уровней определяются разумной начальной ориентацией на определенную элементную базу. Декомпозиция основных и дополнительных функций осуществляется до уровня микрофункций, соответствующих функциональным возможностям конструктивных модулей, которые могут быть использованы как элементы для реализации системы.

Многоуровневость (иерархичность) является характерной чертой сложных систем. Отдельные уровни системы реализуют определенные функции, а целостное функционирование системы представляет результат взаимодействия отдельных ее сторон и элементов всех иерархических уровней.

#### **4.3. Взаимосвязь функций и структуры сложной системы**

Функции и структура систем находятся в диалектической взаимосвязи и оказывают влияние друг на друга в процессе развития систем. Однако роль функции как более подвижной (более гибкой, более изменчивой) стороны этой взаимосвязи является *первичной в процессе развития*.

Это наиболее очевидно проявляется для технических систем (ТС). Каждая ТС должна экономично и эффективно реализовать заданную совокупность функций, т.е. удовлетворять определенным функциональным требованиям. При не выполнении этих условий система либо перестает существовать, либо требует создания дополнительных подсистем для удовлетворения полного набора функций.

Если в процессе проектирования не уделяется должного внимания даже второстепенным функциям, система становится неэффективной в процессе эксплуатации и обречена.

Закономерность первичности функционального назначения создаваемой системы и вторичности ее структурной организации обуславливает необходимость функционально-структурного подхода к созданию систем.

*Функционально-структурный подход (ФСП)* является естественным и единственно возможным при создании развивающихся систем. Функциональное назначение системы и условия ее функционирования определяют структурную организацию ТС. Она может удовлетворять своему функциональному назначению при различных структурных организациях. Между реализуемыми функциями и структурой системы не существует взаимно однозначного соответствия.

Исследование процессов возникновения, развития и разрешения противоречий между функциями, реализуемыми системой, и соответствующими структурами, предназначенными для реализации этих функций, является исключительно важным для диалектической теории развития систем.

Во взаимосвязи функции и структуры функции отводится, как правило, ведущая, определяющая роль, а структура трансформируется, видоизменяется в соответствии с реализуемыми функциями и конкретными условиями функционирования системы. То есть имеется объективная, суб-

ординация функции и структуры, соответствующая субординации содержания и формы.

*Структурно-функциональный подход (СФП)* обязан классическим работам в области биологии и экономики. Исследователи с целью изучения поведения сложных систем выделяют отдельные структурные уровни подсистемы, определяют их функциональное назначение.

Сложный объект последовательно декомпозируется на отдельные составляющие, с целью анализа процессов, происходящих в элементах системы. Любая декомпозиция целого неизбежно связана с утратой определенной части знаний об объекте.

СФП, несмотря на свою полезность, при грубой аппроксимации структуры и функций может привести к принципиальным ошибкам в анализе сложных систем. СФП предполагает первичность структурного аспекта организации в том смысле, что при его отсутствии система исчезает.

При создании систем основным является рассмотрение развития функций и структуры системы с целью синтеза структуры, наилучшим образом удовлетворяющей функциональному назначению и заданным показателям качества.

Функционально-структурный подход, в отличие от СФП, основывается на предположении первичности функционального назначения системы по отношению к ее структурной организации.

Функциональная организация системы – это совокупность функций системы и связей между ними. Структурная организация характеризует инвариантный аспект состава системы и связи между ее элементами. Целостность подхода к анализу и синтезу многоуровневых систем обеспечивается формированием дерева функций, представляющего декомпозицию целевой функции системы.

В процессе многоуровневой декомпозиции формируются основные и дополнительные функции, реализуемые отдельными подсистемами, а так-

же макро- и микрофункции отдельных элементов, находящихся на различных уровнях функционально-структурной организации системы.

Важной отличительной особенностью ФСП является *совместный учет* при анализе и синтезе систем вещественных, энергетических и информационных потоков как внутри системы между элементами и отдельными подсистемами, так и в процессе обмена системы с внешней средой.

В автоматизированных системах проектирования для описания функционально-структурной организации используется аппарат теории графов.

Основу описания функционально-структурной организации составляет дерево функций, предоставляющее собой многоуровневую декомпозицию макрофункций системы.

## Глава 5. Классификация систем

Важным принципом познания систем служит их классификация, которую можно представить различным образом в зависимости от классификационных признаков. Классификацией называется распределение некоторой совокупности объектов на классы по наиболее существенным признакам. Признаки или их совокупность, по которым объекты объединяются в классы, являются основанием классификации. Класс – это некоторая совокупность объектов, обладающих некоторыми признаками общности. Системы делятся по ряду признаков:

### • По генетическому признаку

#### 1. Материальные (вещественные) системы.

##### 1.1. Естественные системы:

а) физико-химические (элементарные частицы, атомы, молекулы, макротела неорганического мира);

б) биологические (клетки, органы, организмы, их объединения, биосфера);

в) экологические;

в) социальные (человек, социальные группы, отрасли производства, населенные пункты, страны).

1.2. Искусственные (технические) системы (орудия, механизмы, машины, автоматы, роботы и т. д.).

##### 1.3. Смешанные системы:

а) биотехнические (живой организм + техническое устройство);

б) эргономические (человек + машина);

в) организационные (люди + технические устройства).

#### 2. Идеальные (абстрактные) системы.

##### 2.1. Описательные.

## 2.2. Символические (формализованные).

Сюда входит все содержание познания человеком объективного мира – философское мировоззрение, система научных знаний, общественная психология и т.п.

### • По характеру взаимодействия со средой

В литературе по системам часто встречается условное разделение систем на **открытые и закрытые** (замкнутые, изолированные). При этом под открытыми системами имеют в виду системы, взаимодействующие с окружением и обменивающиеся с другими системами или с окружающей средой веществом, энергией или информацией, а под закрытыми системами – не взаимодействующие с окружающей средой и не обменивающиеся с другими системами или со средой веществом, энергией или информацией. Очевидно, что, с точки зрения взаимообмена со средой энергией, веществом и информацией, не существует ни полностью (абсолютно) закрытых от внешней среды, ни полностью (абсолютно) открытых систем. Поскольку полностью закрытая (изолированная) система была бы более черной, чем черные дыры, то их никакими способами нельзя было бы фиксировать (обнаружить) среди своего окружения. С другой стороны, системы полностью (абсолютно) открытыми не могут быть, иначе отсутствовали бы границы со средой и системы растворялись бы в среде. Та или иная система может быть относительно закрытой в том смысле, что ограничено взаимодействие со средой или она не имеет взаимодействия или обмена с какой-либо частью окружения.

Реальные системы не полностью закрыты и не полностью открыты; степень открытости систем ( $\alpha$ ) находится между нулем ( $\alpha = 0$  – для полностью закрытых) и максимумом ( $\alpha = \alpha_{\max}$  – для полностью открытых), т.е. для реальных систем будет  $0 < \alpha < \alpha_{\max}$ . Степень открытости системы по своей сути определяет интенсивность связи системы со средой или с дру-

гими системами. Известно, что естественные системы больше связаны с внешней средой, чем искусственные.

Каждая открытая система обладает энтропией и негэнтропией, которыми измеряются структура и упорядоченность системы. Негэнтропия как связанная информация нейтрализует часть энтропии и дает системе упорядоченность. Для существования и развития имеет больше возможностей та открытая система, которая притягивает из других систем или из окружающей среды больше энергии, вещества и информации и более эффективно их использует. В равновесной системе элементы взаимодействуют между собой хаотично, неограниченно свободно и не зависят от влияния других элементов. Поэтому отсутствуют относительно устойчивые и упорядоченные связи между элементами и, следовательно, упорядоченная структура системы. По этой причине энтропия системы достигает максимально возможной величины ( $\mathcal{E}_{\text{макс.}}$ ).

Чем больше структурная упорядоченность системы, тем дальше система удалена от равновесного (хаотического) состояния. Однако неравновесные системы по законам термодинамики стремятся двигаться в сторону термодинамического равновесия, когда увеличивается  $\mathcal{E}$  системы. Чтобы сохранить неравновесное состояние, система должна извне или изнутри получить дополнительную энергию или информацию, или вещество. Чем больше неравновесность системы, тем больше их чувствительность и способность принимать энергию или информацию и поэтому больше возможностей для самоорганизации и саморазвития системы.

Важной задачей является определение границ между системой и окружающей средой. Не всегда ясно, как отделить изучаемую систему от ее окружающей среды. Для этого можно использовать известную теорему мощности (силы) межэлементных связей. Для оценки мощности (силы) межэлементных связей строят эквивалентную поверхность на множестве элементов и связей  $\omega = \omega(\alpha, \gamma)$ , где  $\alpha$  – элементы системы;  $\omega$  – мощность

(сила) межэлементных связей  $\gamma$ . Тогда следующая эквипотенциальная поверхность будет границей системы с окружающей средой.

$F(\alpha, \gamma, \omega_0) \neq 0$ , где  $\omega_0$  – заданная мощность (сила) межэлементных связей, учитываемая при наличии системы.

В соответствии с теоремой о мощности (силе) межэлементных связей внутри изучаемой системы будут находиться только элементы  $\alpha_1$ , которые имеют все свои межэлементные связи  $\gamma_1^T$  мощностью  $\omega(\alpha_1, \gamma_1) \geq \omega_0$ . Не является элементами данной системы та часть элементов  $a_2$ , у которой все межэлементные связи  $\gamma_2$  имеют мощность  $\omega(\alpha_2, \gamma_2) < \omega_0$ . Наконец, третья часть элементов  $a_3$ , у которых есть хотя бы одна связь  $\gamma_3$  мощностью  $\omega(\alpha_3, \gamma_3) \geq \omega_0$ , а остальные связи мощностью (силой)  $\omega(\alpha_3, \gamma_3') < \omega_0$ , составляет множество пограничных элементов.

Количество энергии, необходимое для разрушения или формирования межэлементных связей, может служить оценкой мощности связей в простых физических системах. Иногда для оценки мощности связи в экономической системе можно использовать силу экономических связей по финансовым обязательствам, объемам поставок, сбыта и т.п. Оценка мощности связей должна учитывать негэнтропийные (организующие) свойства связей и отношений, их значения для основных интегральных функций системы.

- **По сложности структуры и поведения**

*В зависимости от числа элементов:* малые системы ( $10..10^3$  элементов), сложные ( $10^4-10^7$ ), ультрасложные ( $10^7..10^{30}$ ), суперсистемы ( $>10^{30}$ ).

Сложность системы определяется количеством и разнообразием типов элементов, внутренних межэлементных связей и связей системы со средой. Уровень или степень сложности системы больше зависит от раз-



нообразия связей и элементов, чем от их количества. Поэтому для определения сложности чаще применяют другой подход.

*В зависимости от способа описания:*

- а) простые (детерминированные);
- б) сложные, но поддающиеся описанию (теоретико-вероятностные или не менее чем на двух разных математических языках);
- в) очень сложные (слабоформализованные, слабоструктурированные), не поддающиеся описанию, причем слабоструктурированные и трудноформализуемые задачи несут в себе неопределенность, неоднозначность и имеют качественный характер и поэтому создание для них традиционных количественных формальных моделей невозможно или возможно, если использовать субъективные нечеткие оценки. Для таких задач более целесообразно применение качественных, когнитивных моделей.

В ряде случаев проводят различие между большой и сложной системами. *Большой системой* называется система, включающая значительное число однотипных элементов и однотипных связей. *Сложной системой* назовем систему, состоящую из элементов разных типов и обладающую разнородными связями между ними. Часто сложной системой считают только ту, которая является и большой.

Большой, но не сложной системой, с точки зрения механики, является собранная из стержней стрела крана, или, например, труба газопровода. Элементами последней будут ее участки между сварными швами или опорами. Для расчетов на прогиб элементами газопровода скорее всего будут считаться относительно небольшие (порядка метра) участки трубы. Так поступают в известном методе конечных элементов. Связь в данном случае имеет силовой (энергетический) характер – каждый элемент действует на соседний.

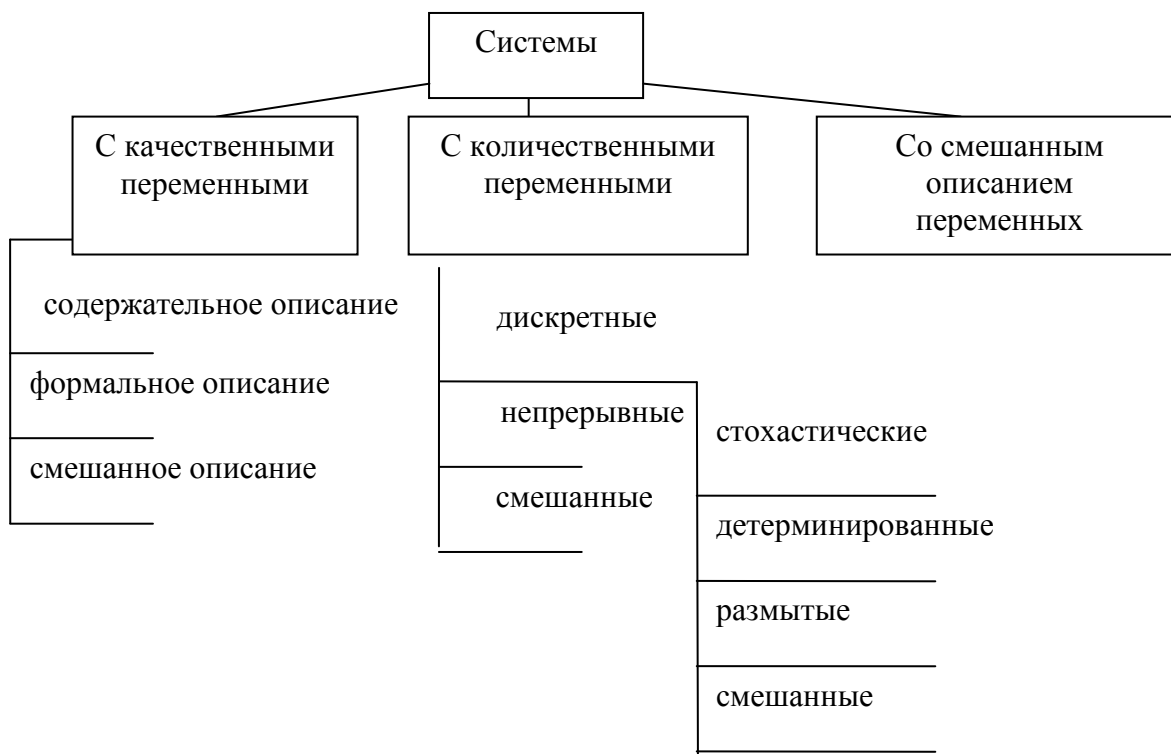
Различие между системой, большой системой и сложной системой условно. Так, корпуса ракет или судов, которые на первый взгляд одно-

родны, обычно относят к сложной системе – из-за наличия переборок разного вида, усилителей, слоистой конструкции.

Типичными примерами сложных систем являются судно, самолет, ракета, системы управления ими, электронно-вычислительная машина, транспортная сеть города и многое другое.

В настоящее время важным классом сложных систем выступают *автоматизированные системы*. Слово “автоматизированный” указывает на участие человека, использование его активности внутри системы при сохранении значительной роли технических средств. Так, цех, участок, сборка могут быть как автоматизированными, так и автоматическими (“цех-автомат”). Для сложной системы автоматизированный режим считается более предпочтительным. Например, посадка самолета выполняется при участии человека, а автопилот обычно используется лишь на относительно простых движениях. Также типична ситуация, когда решение, выработанное техническими средствами, утверждается к исполнению человеком.

• По типу переменных системы



- **По степени определенности функционирования**

а) **вероятностные**, когда их поведение в любой момент времени точно нельзя определить (поведение можно предсказать с определенной степенью вероятности на основе изучения прошлого поведения системы);

б) **детерминированные**, когда поведение их в любой момент времени предсказуемо (система имеет только одно поведение).

- **Другие признаки**

*По однородности или разнообразию структурных элементов* системы бывают *гомогенные* или однородные и *гетерогенные* или разнородные, а также смешанного типа. В гомогенных системах, например, в газах, жидкостях или в популяции организмов, структурные элементы системы однородны и поэтому взаимозаменяемы. Гетерогенные же системы состоят из разнородных элементов, не обладающих свойством взаимозаменяемости.

*По равновесию* системы делятся на *равновесные* или уравновешенные и *неравновесные* или неуравновешенные. В равновесных системах, если идут изменения одновременно в двух противоположных направлениях (противоположные процессы), то они взаимно компенсируются или нейтрализуются на некотором уровне. Каждое из возникающих изменений уравновешивается другим, ему противоположным, и система сохраняется в равновесном состоянии.

Примером равновесных систем является организм, общество, экосистема и др. В неуравновешенных системах, наоборот, если идут изменения одновременно в двух противоположных направлениях, то одно из них преобладает, система преобразуется в эту сторону и равновесие нарушается. Однако это нарушение равновесия иногда может совершаться столь медленно, что система производит впечатление равновесной (ложное равновесие). Примером ложного равновесия является пламя.

## **Глава 6. Аспекты системного подхода (принципы)**

Рассмотрим вопрос: что же такое системность, что означает слово «системный», применяемое вместе с большим количеством терминов и понятий? Поиски ответа на этот вопрос приводят к убеждению, что сложный объект надо рассматривать и как целое, и как состоящее из отдельных частей. Нужно исследовать предмет с разных сторон и точек зрения, вдаваться в его внутреннее строение и организацию. Но нельзя ли определить все это более четко, достаточно полно и удобно для использования? Такая постановка вопроса приводит к формулировке положений, которые принято называть принципами системного подхода. Это некоторые утверждения весьма общего характера, обобщающие опыт работы человека со сложными системами.

### **6.1. Системно-интегративный аспект (принцип целостности)**

Проявляется в системе в возникновении новых интегративных качеств, не свойственных образующим ее компонентам:

- 1) Свойства системы (целого) не являются суммой свойств элементов или частей (несводимость целого к простой сумме частей).
- 2) Свойства системы (целого) зависят от свойств элементов, частей (изменение в одной части вызывает изменение во всех остальных частях и во всей системе).

Свойство целостности связано с целью, для выполнения которой предназначена система. Весьма актуальным является оценка степени целостности системы при переходе из одного состояния в другое. Если каждая часть системы связана таким образом с другой частью, что изменение в одной части вызывает изменение во всех остальных частях и во всей системе в целом, то говорят, что система ведет себя когерентно или как целое.

Другую крайность составляет множество частей, совершенно не связанных между собой, так что изменение в каждой части зависит исключительно от этой части. Вариация во всем множестве есть физическая сумма вариаций частей. Такое поведение называется независимостью или физической аддитивностью.

Когерентность (целостность) и независимость (аддитивность) – крайние степени одного и того же свойства. Нет явного метода измерения этого свойства в шкале отношений. Для описания множества взаимно независимых частей используется термин факторизуемых систем (комплекс).

**Прогрессивная факторизация.** Большинство систем изменяется со временем. Если изменения ведут к постепенному переходу от целостности к независимости, то говорят о прогрессивной факторизации. Прогрессивная факторизация первого рода – распад (головоломка, автомобиль). Прогрессивная факторизация второго рода – рост. Система изменяется в направлении все большего разделения на подсистемы, т.е. в направлении дифференциации функций (например, в процессе эволюции и развития).

**Прогрессивная систематизация.** Изменение идет к постепенному переходу от независимости в сторону целостности, усиления и развития отношений.

Прогрессивная факторизация и систематизация могут происходить в одной и той же системе, одновременно или последовательно.

Принцип целостности (единства) иногда формулируют следующим образом: необходимо совместно рассматривать систему как целое и как совокупность частей (элементов).

## **6.2. Системно-компонентный аспект**

Система активно воздействует на компоненты, преобразуя их соответственно собственной природе. В результате исходные компоненты тер-

пят заметные изменения – теряют свойства, которые они имели до вхождения в систему, приобретают новые свойства и т.п.

Иногда этот аспект называют принципом связности и формулируют следующим образом: рассмотрение любой части системы необходимо проводить совместно с ее связями с окружением.

### **6.3. Системно-коммуникационный аспект (принцип коммуникативности)**

Как было уже сказано, система, образованная из множества структурных элементов, обладает свойствами, новыми по отношению к свойствам ее структурных элементов, причем эти новые свойства обусловлены не только свойствами самих структурных элементов данной системы, но и зависят от их взаимодействия как внутри, так и во многих случаях с внешней средой. Поэтому нельзя изучить закономерности поведения самой системы, изучая только закономерности поведения ее элементов, так как свойства конкретной системы во многом задаются извне, то есть во многом внешний мир формирует свойства системы.

В самом деле, если во внешней среде исчезает потребитель информации о каком-нибудь свойстве системы, то исчезает и само свойство системы, так как по этому свойству система окажется изолированной (замкнутой) и по закономерности возрастания энтропии в замкнутой системе в ней возникают процессы, дезорганизующие структуры, ответственные за данное свойство.

Например, если человек талантлив, но внешней средой этот талант не востребован, то этот талант пропадает, так как по этому свойству система закрыта. Аналогично, когда внешней средой наука не востребована, то по этому свойству система изолирована или закрыта, и только тогда, когда появится потребитель во внешней среде, система откроется.

С другой стороны, появление у системы некоторого нового свойства порождает информацию об этом свойстве, и если у внешней среды имеется потребитель этой информации, который способен воспринять ее взаимодействовать с системой, то по этому свойству система окажется открытой или разомкнутой. Закон убывания энтропии начнет преобладать над законом роста энтропии и это свойство разовьется до некоторого оптимального уровня, а значение уровня этого свойства задается степенью открытости системы по этому свойству.

Существует и такая точка зрения. Процедура выявления связей, примененная ко всей системе целиком (принцип связности), приводит и к принципу учета внешней среды, который можно не считать самостоятельным принципом.

#### **6.4. Системно-исторический аспект (принцип историчности)**

Системно-исторический аспект направлен на изучение ретроспективы и перспективы развития системы. Все системы находятся в постоянном развитии и на разных стадиях развития или онтогенеза. Чтобы иметь цельное представление о системе и иметь возможность предсказывать ее развитие, необходимо рассматривать систему в динамике и знать историю ее развития.

Периоды существования (становления, расцвета, упадка, смерти и т. д.) легко привести для биологических и общественных систем. Каждая техническая система проходит стадии разработки, создания, эксплуатации и последующего совершенствования на новом уровне. Поэтому для изучения системы надо знать, как она возникла, какие этапы совершенствования проходила, какой стала, какие перспективы имеет в будущем. Основа закономерности историчности – внутренние противоречия между компонен-

тами системы. Как управлять развитием или хотя бы понимать приближение соответствующего периода развития – вопросы мало исследованные.

Иногда этот принцип называют принципом развития и понимают под ним: учет изменяемости системы, ее способности к развитию, расширению, замене частей, накапливанию информации. Принцип развития достаточно хорошо пояснен в его формулировке.

Понятие развития, изменяемости при сохранении качественных особенностей выделяется почти в любой естественной системе, а в искусственных возможность развития, усовершенствования, как правило, закладывается в основу создания системы.

При модульном построении такое развитие обычно сводится к замене и добавлению модулей (частей). Так, возможности расширения функций и модернизации закладываются в принципы построения банков данных и знаний, программных комплексов, многоцелевых роботов и других сложных технических систем. Следует, однако, заметить, что пределы расширения функций обычно определены и достаточно ограничены.

Вряд ли будет разумно создавать универсальное программное средство, способное управлять станком и играть в шахматы. Вряд ли кому-нибудь понадобится и робот, способный работать у плавильной печи и в квартире. Но вот замена частей, модернизация представляются безграничными. Практически безграничны и возможности запоминания информации, ведущие к самообучению, самоорганизации, искусственному интеллекту.

Таким образом, использование принципа развития лежит в основе разработки этих направлений.

## **6.5. Принцип иерархичности**

Все системы, как правило, построены по иерархическому принципу: например, молекулы – клетки – организм – популяции – экосистемы – био-



сфера. И чтобы получить цельное представление о системе, необходимо ее рассматривать в тесном взаимодействии и единстве с вышестоящими и нижестоящими на иерархической лестнице системами.

Эта закономерность заключается в том, что свойство целостности проявляется на любом уровне иерархии. На каждом уровне возникают новые свойства, которые не могут быть выведены как сумма свойств элементов. На каждом уровне происходят сложные качественные изменения.

Построение иерархической структуры зависит от целей. Для многоцелевых ситуаций можно построить несколько иерархических структур, соответствующих разным условиям.

Принцип иерархии: полезно введение иерархии частей (элементов) и (или) их ранжирование. Принцип иерархии акцентирует внимание на полезности отыскания или создания в системе иерархического (доминирующего) характера связей между элементами, модулями, целями. Необходимо пояснить смысл слова «ранжирование» в формулировке принципа.

Иерархические системы обычно исследуются и создаются «сверху», начиная с анализа модулей первого иерархического уровня. В случае отсутствия иерархии исследователь должен решить, в каком порядке он будет рассматривать части системы.

Так, например, конструктор при создании нового образца выделяет в нем начальный элемент, к которому потом мысленно или на чертеже подгоняет второй, третий, следующие. Наладчик начинает поиск неисправности в системе тестов, определяющих наиболее типичные отказы.

Таким образом, они вводят порядок рассмотрения системы, который и называется ранжированием. Оно применимо и в сочетании с иерархией в системе, скажем, для введения очередности в модулях одного и того же уровня.

## 6.6. Принцип множественности описаний любой системы

Для получения адекватного знания о системе требуется построение некоторого класса ее описаний, каждое из которых способно охватит лишь определенные аспекты целостности и иерархичности данной системы.

В общем плане можно утверждать, что для любой исследуемой системы минимально требуются три различных уровня ее описания с точки зрения:

- присущих ей внешних, целостных свойств;
- ее внутреннего строения и вклада ее компонентов в формирование целостных свойств системы;
- понимания данной системы как подсистемы более широкой системы.

Однако в научной и технической практике число уровней описания системы обычно больше.

## 6.7. Дополнительные принципы

На этом закончено обсуждение основных принципов системного подхода. В литературе встречается и ряд других принципов. Одни из них носит характер дублирования или уточнения приведенных, другие имеют более узкую направленность или область применения. Ниже приведены некоторые из них.

**Принцип конечной цели** – абсолютный приоритет конечной (глобальной цели). Принцип конечной цели означает, что в целенаправленной системе все должно быть подчинено глобальной цели. Любая попытка изменения, совершенствования и управления в такой системе должна оцениваться с точки зрения того, помогает или мешает она достижению конечной цели. Это накладывает особую ответственность на выбор цели и ее четкую трактовку. Расплывчатые, не полностью определенные конечные цели влекут за

собой неясности в структуре и управлении системой, и, как следствие, неверные действия в системе. Такие действия могут быть и следствием неверия в конечную цель или в возможность ее достижения.

В несколько измененной трактовке принцип конечной цели применяются и к системам, которые не являются целенаправленными. В этом случае понятие конечной цели заменяют понятиями основной функции, основного назначения, свойства системы. При этом изучение и работа с системой должны вестись на базе первоочередного уяснения этих понятий.

**Принцип модульного построения** – полезно выделение модулей в системе и рассмотрение ее как совокупности модулей. Принцип модульного построения указывает на возможность рассмотрения вместо части системы совокупности ее входных и выходных воздействий. Он утверждает полезность абстрагирования от излишней детализации при сохранении возможности адекватно описывать системы.

**Принцип функциональности** – совместное рассмотрение структуры и функции с приоритетом функции над структурой. Напомним, что функция системы определялась как ее некоторое свойство. Функция – это то, что система (модуль, элемент) может делать (влиять, обеспечивать) важного для целей рассмотрения.

Принцип функциональности утверждает, что любая структура тесно связана с функцией системы и ее частей, и исследовать (создавать) структуру необходимо после уяснения функций в системе. На практике этот принцип, в частности, означает, что в случае придания системе новых функций полезно пересматривать ее структуру, а не пытаться втиснуть новую функцию в старую схему. Так, перестройка производства, связанная с введением автоматизации, ведет как к возникновению новых подразделений (вычислительный центр, группа системных программистов, группа создания и сопровождения банка данных), так и к перестройке структуры имеющихся. Эти изменения затрагивают, естественно, и систему управления.

**Принцип децентрализации** – сочетание в принимаемых решениях и управлении централизации и децентрализации. Принцип децентрализации рекомендует, чтобы управляющие воздействия и принимаемые решения исходили не только из одного центра (главствующего элемента). Ситуация, когда все управления исходят из одного места, называется полной централизацией. Такое положение считается оправданным лишь при особой ответственности за все, происходящее в системе, и при неспособности частей системы самостоятельно реагировать на внешние воздействия.

Система с полной централизацией будет негибкой, неприспосабливаемой, не обладающей внутренней активностью. Весьма вероятно, что в такой системе каналы информации, ведущие к главному элементу, окажутся перегруженными, а сам этот элемент, будучи не в состоянии переработать такое количество информации, начнет выдавать неправильные управления. Однако чем выше степень децентрализации решений в системе, тем сложнее они согласовываются с точки зрения выполнения глобальной цели.

Достижение общей цели сильно децентрализованной системой может обеспечиваться лишь каким-либо устойчиво работающим механизмом регуляции, не позволяющим сильно уклоняться от поведения, ведущего к выполнению цели. Такое положение встречается достаточно редко; во всех этих случаях имеет место ситуация с сильной обратной связью. (Таково функционирование рыночной экономики; в области живой природы – взаимодействие в системе, состоящей из акулы и маленьких рыбок-лоцманов, которые наводят акулу на косяки рыб и питаются остатками ее пищи).

В системах, где устойчивых механизмов регуляции нет, неизбежно наличие той или иной степени централизации. При этом возникает вопрос об оптимальном сочетании команд извне (сверху) и команд, вырабатываемых внутри данной группы элементов. Общий принцип такого сочетания прост: степень централизации должна быть минимальной, обеспечивающей выполнение поставленной цели.

Сочетание централизации и децентрализации имеет и еще один аспект. Его частным случаем будет передача сверху обобщенных команд, которые конкретизируются на нижних иерархических уровнях. Так, одной из команд верхнего уровня при управлении роботом-манипулятором будет: «Переместить схват в точку с такими-то координатами». Эта команда на следующем уровне управления в соответствии с имеющимися там алгоритмами будет разложена на необходимые для этого угловые повороты звеньев манипулятора, а на еще более низком уровне превращена в сигналы на включение и выключение электродвигателей, обеспечивающих отдельные повороты.

**Принцип неопределенности** – учет неопределенностей и случайностей в системе. Принцип неопределенности утверждает, что можно иметь дело и с системой, в которой не все известно или понятно. Это может быть система с невыясненной структурой, с непредсказуемым ходом процессов, со значительной вероятностью отказов в работе элементов, с неизвестными внешними воздействиями и др.

Частным случаем неопределенности выступает случайность – ситуация, когда вид события известен, но оно может либо наступить, либо не наступить. На основе этого определения можно ввести полное поле событий: это такое их множество, про которое известно, что одно из них наступит. Как же оказывается возможным учесть неопределенность в системе?

Существует несколько способов, каждый из которых основан на информации определенного вида.

Во-первых, можно оценивать наихудшие или в каком-то смысле крайние возможные ситуации и рассмотрение проводить для них. В этом случае определяется некое граничное поведение системы и на основе его можно делать выводы о поведении вообще. Этот способ обычно называют методом гарантированного результата (оценки).

Во-вторых, по информации о вероятностных характеристиках случайностей (математическому ожиданию, дисперсии и т.п.) можно определять

вероятностные характеристики выходов в системе. При этом в связи со своеобразной трактовкой вероятностных результатов получаются сведения лишь об усредненных характеристиках совокупности однотипных систем.

В-третьих, за счет дублирования и других приемов оказывается возможным из ненадежных элементов составлять достаточно надежные части системы. Математическая оценка эффективности такого приема также основана на теории вероятностей и носит название теории надежности.

**Принцип чувствительности** – вмешательство в систему должно согласовываться с уровнем ее реакции на вмешательство. Пример: различные навыки управления очень послушным, чутким к командам механизмом и малочувствительным или с запаздывающей реакцией на управляющие воздействия.

**Принцип свертки** – информация и управляющие воздействия свертываются (укрупняются, обобщаются) при движении снизу вверх по иерархическим уровням.

Необходимо рассмотреть вопросы практического использования принципов системного подхода. Все они обладают очень высокой степенью общности, т. е. отражают отношения, сильно абстрагированные от конкретного содержания прикладных проблем. Такое знание нетипично для техники и естественных наук, в которых в основном используются утверждения и описания, пригодные для непосредственного применения.

Как же применять такое знание? Для любой конкретной системы, проблемы, ситуации принципы системного подхода могут и должны быть конкретизированы: «что это означает здесь?». Такая привязка к рассматриваемой проблеме производится исследователем. Он должен наполнять конкретным содержанием общие формулировки принципов. Опыт работы со сложными системами показывает, что это весьма полезно, потому что позволяет лучше увидеть существенные стороны проблемы, не забыть учесть важные взаимосвязи в ней. В ряде случаев продумывание конкрет-

ного содержания принципов системного подхода позволяет подняться на новый уровень осмысления системы в целом, выйти за рамки узкого, изнутри отношения к ней.

Следует отметить, что интерпретация принципов для данного частного случая может приводить и к обоснованному выводу о незначимости какого-либо из принципов или об отсутствии условий для его применения. Так, в системе может не быть иерархии, она может считаться полностью определенной, связи могут быть заложены в самой математической модели и не требовать специального рассмотрения и т. д.

Множественное применение исследователем принципов системного подхода в различных системах приводит к тому, что у него развивается особый тип мышления, который принято называть системным. Такое мышление характеризуется умением более правильно (адекватно) ставить, а нередко и решать задачи со сложными системами.

Высокая общность принципов системного подхода во многом может быть преодолена их конкретизацией для фиксированных классов предметных задач. В ряде случаев это удобно выполнять в несколько приемов. Известны еще весьма общие, но предметно-ориентированные системные принципы проектирования, принципы создания программных комплексов. Они облегчают интерпретацию общих формулировок.

## Глава 7. Теоретико-множественное описание систем

### 7.1. Качественные и количественные методы описания систем

Методы описания систем классифицируются в порядке возрастания формализованности – от качественных методов до количественного системного моделирования с применением ЭВМ, хотя разделение методов на качественные и количественные носит условный характер.

В качественных методах основное внимание уделяется организации постановки задачи, новому этапу ее формализации, формированию вариантов, выбору подхода к оценке вариантов, использованию опыта человека, его предпочтений, которые не всегда могут быть выражены в количественных оценках.

Количественные методы связаны с анализом вариантов, с их количественными характеристиками корректности, точности и т.п. Для постановки задач эти методы не имеют средств, почти полностью оставляя осуществление этих этапов за человеком.

Между этими крайними классами методов системного анализа имеются методы, которые стремятся охватить оба этапа – этап постановки задачи, разработки вариантов и этап оценки и количественного анализа вариантов: кибернетический подход (развитие основных идей классической теории автоматического управления и регулирования и теории адаптивных систем); информационно-гносеологический подход (на общности процессов отражения, познания в системах различной физической природы); системно-структурный подход; метод ситуационного моделирования; метод имитационного динамического моделирования.

• *Качественные методы:* методы типа «мозговой атаки» или коллективной генерации идей, методы типа сценариев, методы экспертных оценок, морфологические методы, методы типа «дерева целей» и другие.



- *Количественные методы описания систем.* При создании и эксплуатации сложных систем требуется проводить многочисленные исследования и расчеты, связанные: с оценкой показателей, характеризующих различные свойства систем; выбором оптимальной структуры системы; выбором оптимальных значений ее параметров.

Выполнение таких исследований возможно лишь при наличии математического описания процесса функционирования системы, т.е. ее математической модели.

Так как математических моделей сложной системы может быть сколь угодно много, и все они определяются принятым уровнем абстрагирования, то рассмотрение задач на каком-либо одном уровне абстракции позволяет дать ответы на определенную группу вопросов, а для получения ответов на другие вопросы необходимо провести исследование уже на другом уровне абстракции.

Для достижения максимально возможной полноты сведений необходимо изучить одну и ту же систему на всех целесообразных уровнях абстракции.

Одним из высших уровней описания систем является теоретико-множественный. Построение сложных систем на теоретико-множественном уровне вполне уместно и целесообразно. Множества образуются из элементов, обладающих некоторыми свойствами и находящихся в некоторых отношениях между собой и элементами других множеств. АСУ вполне подходят под такое определение.

На теоретико-множественном уровне абстракции можно получить только общие сведения о реальных системах, а для более конкретных целей необходимы другие абстрактные модели, которые позволили бы производить более тонкий анализ различных свойств реальных систем.

## 7.2. Предположения о характере функционирования систем

Для получения математической модели процесса функционирования системы, чтобы она охватывала широкий класс реальных объектов, в общей теории систем исходят из общих предположений о характере функционирования системы:

- система функционирует во времени; в каждый момент времени система может находиться в одном из возможных состояний;*
- на вход системы могут поступать входные сигналы;*
- система способна выдавать выходные сигналы;*
- состояние системы в данный момент времени определяется предыдущими состояниями и входными сигналами, поступившими в данный момент времени и ранее;*
- выходной сигнал в данный момент времени определяется состояниями системы и входными сигналами, относящимися к данному и предшествующим моментам времени.*

Первое предположение отражает динамический характер процесса функционирования в пространстве и времени. При этом процесс функционирования протекает как последовательная смена состояний системы под действием внешних и внутренних причин. Второе и третье – отражают взаимодействие системы с внешней средой.

В четвертом и пятом предложениях отражается реакция системы на внутренние факторы и воздействия внешней среды: последствие и принцип физической реализуемости. Последствие – тенденции, определяющие поведение системы в будущем, зависят не только от того, в каком состоянии находится система в настоящий момент времени, но и в той или иной степени от ее поведения в предыдущие моменты времени. Принцип физической реализуемости: система не реагирует в данный момент времени на будущие факторы и воздействия внешней среды.

## Глава 8. Система как отношение на абстрактных множествах

Одним из центральных понятий теории систем является понятие системы, определяемое в теоретико-множественных терминах:

$$S \subset \otimes \{V_i, i \in I\},$$

где  $V_i$  –  $i$ -я компонента декартова произведения  $\otimes V_i$ , называемая объектом системы  $S$ ,  $I$  – множество индексов. В кибернетике наибольший интерес представляют системы с двумя объектами – входным объектом  $X$  и выходным объектом  $Y$ .

$$S \subset X \otimes Y. \quad (8.1)$$

Основные причины определения системы как теоретико-множественного отношения:

- Система определяется в терминах ее наблюдаемых свойств или точнее, в терминах взаимосвязей между этими свойствами, а не тем, что они на самом деле собой представляют. Это вполне согласуется с природой системных исследований, направленных на выяснение организации и взаимосвязей элементов системы, а не на изучение конкретных механизмов в системе.

- Определение (8.1) предельно общее. Различным системам отвечают и различные способы описания (дифференциальные уравнения, булева алгебра, графы и так далее), но все они есть не более чем частные случаи отношения (8.1).

- Системы часто задаются с помощью некоторых уравнений относительно соответствующих переменных. Каждой переменной можно поставить в соответствие некоторый объект системы, описывающий область значений соответствующей переменной. Утверждение (система описывается набором уравнений относительно некоторого множества переменных)  $\equiv$  система есть отношение над соответствующими объектами, порожден-

ными этими переменными. При этом любая комбинация элементов этих объектов, принадлежащая этому отношению, удовлетворяет исходной системе уравнений.

Под отношением понимается подмножество конечной декартовой степени  $A^n = A \times A \times \dots \times A$  данного множества  $A$ , т.е. подмножество систем  $(a_1, a_2, \dots, a_n)$  из  $n$  элементов множества  $A$ . Подмножество  $R \subset A^n$  называется  $n$ -местным или  $n$ -арным отношением в множестве  $A$ . Число  $n$  называется рангом или типом отношения  $R$ . Множество всех  $n$ -арных отношений в множестве  $A$  относительно операций  $\cup$  и  $\cap$  является булевой алгеброй.

Для построения теории систем на теоретико-множественном уровне, исходя из (8.1), необходимо наделить систему как отношение некоторой дополнительной структурой. Это можно сделать двумя способами:

– ввести дополнительную структуру для элементов объекта системы; например, рассматривать сам элемент  $v_i \in V_i$  как некоторое множество с подходящей структурой;

– ввести структуру непосредственно для самих объектов  $V_i, i \in I$ .

Первый способ приводит к понятию (абстрактных) временных систем, а второй – к понятию алгебраических систем.

*Временные системы.* Если элементы одного из объектов системы есть функции, например  $v: T_v \rightarrow A_v$ , то этот объект называют функциональным.

В случае, когда области определения всех функций для данного объекта  $V$  одинаковы, т.е. каждая функция  $v \in V$  является отображением  $T$  в  $A$ ,  $v: T \rightarrow A$ , то  $T$  называется индексующим множеством для  $v$ , а  $A$  – алфавитом объекта. Если индексующее множество линейно-упорядочено, то его называют множеством моментов времени. Функции, определенные на множестве моментов времени, принято называть абстрактными функциями времени. Объект, элементами которого являются временные функции, на-

зывают временным объектом, а системы определенные на временных объектах – временными системами.

Особый интерес для исследования представляют системы, у которых элементы входного и выходного объектов определены на одном и том же множестве:  $X \subset A^T$  и  $Y \subset B^T$ .

В этом случае под системой понимается отношение:  $S \subset A^T \times B^T$ .

*Алгебраические системы.* Другой путь наделения объектов системы математическими структурами состоит в определении одной или нескольких операций, относительно которых  $V$  становится алгеброй.

В самом простейшем случае определяется бинарная операция  $R: V \times V \rightarrow V$  и предполагается, что в  $V$  можно выделить такое подмножество  $W$ , зачастую конечное, что любой элемент  $v \in V$  можно получить в результате применения операции  $R$  к элементам из  $W$  или к элементам, уже построенным из элементов множества  $W$  подобным образом.

В этом случае  $W$  называют множеством производящих элементов или алфавитом объекта, а его элементы – символами, а элементы объекта  $V$  – словами. Если  $R$  есть операция сочленения, то слова – это просто последовательность элементов алфавита  $W$ .

Алфавит временного объекта – это не совсем то же самое, что алфавит алгебраического объекта. Для объектов с конечными алфавитами – это обычно одни и те же множества. Для бесконечных алфавитов это не так.

Итак, системой называется отношение на непустых (абстрактных) множествах:

$$S \subset \otimes \{V_i, i \in I\}.$$

Если множество индексов  $I$  конечно, то выражение (8.1) можно переписать в виде:

$$S \subset V_1 \times V_2 \times \dots \times V_n. \quad (8.2)$$

Пусть  $I_x \subset I$  и  $I_y \subset I$  образуют разбиение множества  $I$ , т.е. пусть  $I_x \cap I_y = \emptyset$  и  $I_x \cup I_y = I$ . Множество  $X = \{V_i, i \in I_x\}$  называется входным объектом, а множество  $Y = \{V_i, i \in I_y\}$  – выходным объектом системы. Тогда система  $S$  определяется отношением  $S \subset X \times Y$  и называется системой «вход–выход» (черный ящик).

Если  $S$  является функцией  $S: X \rightarrow Y$ , то система называется функциональной.

## Глава 9. Временные системы в терминах «вход – выход»

### 9.1. Множество моментов времени

Первая часть первого предположения о характере функционирования систем гласит: система функционирует во времени. Множество моментов времени  $t$ , в которые рассматривается функционирование системы, обозначим  $T$ ,  $t \in T$ . Множество  $T$  будем считать подмножеством множества действительных чисел. Оно может быть конечным или счетным.

В зависимости от характера множества  $T$  различают: дискретное, непрерывное и дискретно-непрерывное время.

Дискретное время (вместо моментов  $t_0, t_1, \dots$  часто пишут  $0, 1, 2$ , которые называют тактами) – контактные схемы, конечные автоматы, вычислительные устройства ЭВМ.

Непрерывное время – множество  $T$  представляет собой множество некоторого (конечного или бесконечного) интервала числовой оси (механические и электрические системы; системы, рассматриваемые в теории автоматического регулирования и т. д.).

Дискретно-непрерывное время: на одних интервалах числовой прямой моменты  $t \in T$  заполняют их целиком, а на других – располагаются в изолированных точках (метеорологическая ракета, процесс производства автомобилей на конвейере).

### 9.2. Входные сигналы системы

Второе и третье предположения о характере функционирования систем направлены на описание взаимодействия системы с внешней средой. На вход системы могут поступать входные сигналы  $x \in X$ , где  $X$  – множест-

во входных сигналов системы. Входной сигнал, поступивший в момент времени  $t \in T$ , обозначается  $x(t)$ .

Например, имеется предприятие с однопродуктовым производством. В такой системе готовность в момент  $t_i$   $i$ -го изделия можно описать как поступление очередного сигнала  $x(t_i)=1$ . Если принять за  $x=0$  сигнал, когда изделие не готово, а за  $x=1$ , когда оно готово, то можно считать, что  $X=\{0,1\}$  и в систему входной сигнал поступает в каждый момент  $t \in T$ . В случае, когда в момент  $t_i$  оказываются готовыми одновременно несколько изделий (на заводе несколько конвейерных линий), например  $0 \leq x \leq x_{max}$ , то множество  $X$  – совокупность целых чисел  $\{0,1,..x_{max}\}$ .

Входные сигналы могут описываться некоторым набором характеристик. В общем случае предполагается, что входной сигнал имеет компоненты  $x_i \in X_i$ , где  $X_i$  – заданные множества ( $i=\overline{1,n}$ ). Прямое произведение  $\hat{X} = X_1 \times X_2 \times .. \times X_n$  называется пространством входных сигналов,  $X_i$  – элементарные оси, выходной сигнал  $x$  представляет точку пространства  $\hat{X}$ , описываемую координатами  $x_1, x_2, .. x_n$ . В общем случае  $X \subset \hat{X}$ .

При исследовании сложных систем приходится оперировать с группами входных сигналов, поступающих в моменты времени  $t_1 < t_2 < ... < t_k$ . Предполагается, что множеству  $X$  принадлежит и пустой сигнал  $x_\emptyset$ , означающий отсутствие сигнала в момент  $t$ ,  $x(t)=x_\emptyset$ .

Рассматривается отображение:  $L: T \rightarrow X, (\forall t \in T)(\exists x \in X)[x=L(t)]$ .

Через  $T^L$  обозначается множество моментов времени  $t$ :

$$(T^L \subset T)(\forall t' \in T^L)[L(t') \neq x_\emptyset].$$

Отображение  $x=L(t)$  можно назвать входным процессом системы, а совокупность упорядоченных пар  $(t', x)$  таких что:  $(\forall t' \in T)[x=L(t')]$  – входным сообщением.

Чтобы задать конкретный входной процесс  $x=L(t)$ , достаточно указать соответствующее ему входное сообщение  $(t, x_L)_T$ .



Вводятся обозначения:  $t_1 < t < t_2 \rightarrow (t_1, t_2)$ ;  $t_1 < t \leq t_2 \rightarrow (t_1, t_2]$ ;

$$t_1 \leq t \leq t_2 \rightarrow [t_1, t_2]; t_1 \leq t < t_2 \rightarrow [t_1, t_2).$$

Вводится понятие «сужение отображения».

*Определение.* Пусть  $y=f(x)$ ,  $X$  – его область определения. Отображение  $y=g(x)$  с областью определения  $X^*$  является сужением отображения  $f(x)$  на множестве  $X^*$  в том и только в том случае, когда  $X^* \subset X$  и  $f(x)=g(x) \forall x \in X^*$ .

Сужение отображения  $x=L(t)$  на множестве  $T \cap (t_1, t_2]$  называется фрагментом входного процесса, соответствующего полуинтервалу  $(t_1, t_2]$ , а совокупность упорядоченных пар  $(t', x)$ , таких что  $\forall t' \in T^L \cap (t_1, t_2]$ ,  $x=L(t')$  – отрывком входного сообщения, поступившим в систему за полуинтервал  $(t_1, t_2]$ , и обозначается  $(t_1, x_L]_{t_1}^{t_2}$ .

Для конечного множества  $T^L \cap (t_1, t_k]$ , например  $t_1, t_2, \dots, t_k$  входное сообщение имеет вид  $(t_1, x_1; t_2, x_2; \dots, t_k, x_k)$ . Множество всевозможных входных сообщений обозначается  $\{(t, x_L)_T\}$ . Оно определяется множеством входных процессов вида  $x=L(t)$ , допускаемых условиями функционирования системы. К множеству  $\{(t, x_L)_T\}$  причисляется и пустое входное сообщение  $\{(t, x_L)_T\} = \emptyset$ , для которого  $T^L = \emptyset$ .

*Замечание.* Сочленение (ионкотенация) любого числа отрывков входных сообщений из множества  $\{(t, x_L)\}$  представляет собой отрывок некоторого входного сообщения, принадлежащего этому множеству.

Пусть  $(t, x_{L_1})_T$  и  $(t, x_{L_2})_T$  – два сообщения из множества  $\{(t, x_L)_T\}$ . Пусть далее  $t_1 < t_2 < t_3$ ;  $t_i \in T (i=1, 2, 3)$ . Образовать отрывки сообщений  $(t, x_{L_1}]_{t_1}^{t_2}$  и  $(t, x_{L_2}]_{t_2}^{t_3}$ . Совокупность упорядоченных пар  $(t^*, x^*)$ , где

$$t^* \in (\{T^{L_1} \cap (t_1, t_2]\} \cup \{T^{L_2} \cap (t_2, t_3]\});$$

$$x^* = \begin{cases} L_1(t^*) & \text{для } t^* \in \{T^{L_1} \cap (t_1, t_2]\}; \\ L_2(t^*) & \text{для } t^* \in \{T^{L_2} \cap (t_2, t_3]\}. \end{cases}$$

можно рассматривать как отрывок  $(t_1, x_L]_{t_1}^{t_3}$  некоторого сообщения  $(t, x_L)_T$ , образовавшийся в результате сочленения отрывков  $(t, x_{L_1}]_{t_1}^{t_2}$  и  $(t, x_{L_2}]_{t_2}^{t_3}$ .

### 9.3. Выходные сигналы системы

Система способна выдавать выходные сигналы  $u \in Y$ , где  $Y$  – множество выходных сигналов системы. Выходной сигнал, выдаваемый системой в момент времени  $t \in T$ , обозначается  $u(t)$ .

Если выходной сигнал описывается набором характеристик  $u_1, u_2, \dots, u_m$ , таких, что  $u_j \in Y_j, j = \overline{1, m}$ ,  $Y_j$  – заданные множества, то прямое произведение  $\hat{Y} = Y_1 \times Y_2 \times \dots \times Y_m$  называется пространством выходных сигналов системы. По аналогии с входным процессом вводится понятие выходного процесса  $u = N(t)$ , а также определим выходное сообщение  $(t, u_N)_T$  и его отрывок  $(t, u_N]_{t_1}^{t_2}$  на полуинтервале  $(t_1, t_2]$ .

На этом можно считать законченной формальную интерпретацию второго и третьего предположений о характере функционирования системы.

### 9.4. Пространство состояний системы

Функционирование сложной системы можно представить как совокупность двух функций времени: одна функция описывает внутреннее состояние системы, а другая – выходной процесс системы, т.е. воздействие системы на внешнюю среду. Обе функции зависят, с одной стороны, от воздействия внешней среды на систему, т.е. входного процесса, и, с другой стороны, от воздействия случайных факторов, присущих самой системе. Таким образом, функционирование системы, учитывающее внешнее воздействие и процессы внутри системы, в том числе случайные, можно описать в рамках семейства операторов динамических систем.

Вторая часть первого предположения о характере функционирования системы гласит, что в каждый момент времени  $t \in T$  система может нахо-

даться в одном из возможных состояний  $z$ . Множество всех состояний  $z$  системы обозначается  $Z$ .

В качестве характеристик состояний могут фигурировать не только числа, но и объекты более общей природы (действительный или комплексный вектор), матрица, функция, операция). В общем случае предполагается, что состояние  $Z$  рассматриваемой системы описывается некоторым набором объектов  $z_1, z_2, \dots, z_n$ , таких что  $z_i \in Z_i$ , где  $Z_i$  – заданные множества  $i = \overline{1, n}$ . Следует рассмотреть прямое произведение  $\hat{Z} = Z_1 \times Z_2 \times \dots \times Z_n$ .

$\hat{Z}$  называется пространством состояний системы, а элемент  $\hat{z} \in \hat{Z}$  – точка из этого пространства с координатами  $(z_1, z_2, \dots, z_n)$ . В некоторых случаях рассматривается пространство  $U = T \times \hat{Z}$ , точками которого являются упорядоченные пары  $(t, \hat{z})$ . Пространство  $U = T \times \hat{Z}$  называют фазовым пространством системы.

### 9.5. Пример теоретико-множественного описания системы

Дискретный автомат функционирует в моменты времени:  $\tau_1, \tau_2, \tau_3$  и так далее, а именно модель телефонного аппарата, способного запоминать некоторый номер и посылать в телефонную сеть соответствующую этому номеру последовательность импульсов при нажатии специальной кнопки. Во избежание громоздкости необходимо ограничить при этом рассмотрением процесса вызова абонента.

Состояние аппарата в каждый момент времени  $\tau$  определяется указанием следующих двух независимых событий:

- помнит ли аппарат какой-либо номер, а если помнит, то какой именно;
- лежит ли телефонная трубка на аппарате или снята с него.

Это состояние может быть обозначено парой  $(N, \alpha)$ ; где  $N$  – номер, хранимый в памяти аппарата (если номер в памяти не хранится, то поло-

жим  $N=0$ ),  $\alpha=1$ , если трубка лежит на аппарате и  $\alpha=0$  – в противном случае. Для простоты следует считать, что телефонные номера представляют собой натуральные числа от 1 до  $n$ . Тогда состояниями рассматриваемой модели будут всевозможные пары вида  $(N,\alpha)$ , где  $N \in \{0,1,\dots, n\}$ ,  $\alpha \in \{0,1\}$ .

Внешние воздействия на аппарат делятся на следующие типы:

- а) снятие либо опускание телефонной трубки;
- б) нажатие кнопки набора номера, хранимого в памяти;
- в) набор посредством номеронабирателя некоторого номера  $N \in \{1,\dots, n\}$ ;
- г) нажатие кнопки, стирающей из памяти аппарата информацию о телефонном номере;
- д) отсутствие внешних воздействий.

Для перечисления внешних воздействий вводятся обозначения:  $T_0$  – трубка снимается,  $T_1$  – трубка опускается,  $K$  – нажата кнопка набора номера  $N$ ,  $N \in \{1,\dots, n\}$  – набор телефонного номера  $N$ ,  $C$  – нажата кнопка «стирания» информации,  $\lambda$  – нет внешних воздействий. Считается, что в каждый из выделенных тактовых моментов  $\tau_1, \tau_2, \tau_3$  наблюдается ровно одно из перечисленных воздействий, относящееся к интервалу  $[\tau_i, \tau_{i+1})$ ,  $i=1,2,\dots$

В качестве воздействия телефонного аппарата на среду рассматриваем последовательность импульсов, поступающих в телефонную сеть при наборе номера; эти воздействия обозначаются  $0,1,2,\dots, n$ , где  $0$  – отсутствие импульсов, а  $1,\dots, n$  – последовательность импульсов, соответствующих номерам  $1,\dots, n$ .

Следует перейти к описанию функционирования модели. Предполагается, что в некоторый момент времени  $t$  ( $t=1,2,3,\dots$ ; по существу  $t$  здесь представляет собой номер тактового момента  $\tau t$ ) модель имеет состояние  $(N,\alpha)$ , причем внешнее воздействие на модель (такие воздействия входными сигналами модели) в тот же момент времени есть  $v$ ,  $v \in \{T_0, T_1, K, 1, 2, \dots, n, C, \lambda\}$ .

Для описания того, в каком состоянии модель оказывается к  $t+1$  моменту времени, предлагаются следующие случаи:

- $v = T0$ . Если  $\alpha = 1$ , то модель переходит в состояние  $(N, 0)$ . Если же  $\alpha = 0$ , то состояние модели не изменяется;

- $v = T1$ . Если  $\alpha = 0$ , то модель переходит в состояние  $(N, 1)$ , в противном случае состояние модели не изменяется;

- $v = K$ . В этом случае номер, хранимый в памяти аппарата, остается записанным в ней, так что состояние модели к следующему моменту времени не изменяется;

- $v = i, i \in \{1, 2, \dots, n\}$ . Если  $N = 0, \alpha = 0$ , т.е. трубка снята и память аппарата не хранит какого-либо номера, то к моменту  $t+1$  номер  $i$  оказывается записанным в памяти и новое состояние модели есть  $(i, 0)$ . Если  $N \neq 0$  и  $\alpha = 0$  (либо  $\alpha = 1$ ), то состояние модели к моменту  $t+1$  остается прежним, равным  $(N, \alpha)$ ;

- $v = C$ . В этом случае аппарат забывает номер  $N$ ; модель переходит к моменту  $t+1$  в состояние  $(0, \alpha)$ ;

- $v = \lambda$ . В этом случае состояние модели не изменяется.

Аналогичным образом, перечисляя возможные значения  $v$ , определяем воздействие  $w$  модели на внешнюю среду в момент времени  $t$  (выходные сигналы модели; появление выходного сигнала наблюдается в промежутке между моментами  $\tau_t$  и  $\tau_{t+1}$  реального времени и связывается в модели с моментом  $t$  дискретного времени):

1.  $v \in \{T0, T1, C, \lambda\}$ . В этих случаях последовательность импульсов, соответствующих номеру абонента, в телефонную сеть не посылается, так что  $w = 0$ ;

2.  $v = K$ . Пусть сначала  $\alpha = 0$ . В этом случае происходит посылка импульсов, соответствующих номеру абонента  $N$  при  $N \neq 0$ , и наблюдается

отсутствие импульсов при  $N=0$ . Поэтому  $w=N$ . Если  $\alpha=1$ , то импульсы отсутствуют и  $w=0$ .

3.  $v = i, i \in \{1, \dots, n\}$ . Как и в предыдущем случае, при  $\alpha=1$   $w=0$ . Если  $\alpha=0$ , то  $w=i$ .

Приведенное описание можно сделать более наглядным, если построить диаграмму, на которой указать переходы модели из одного состояния в другое под действием различных входных сигналов при  $n=2$  (рис. 8). Кругок соответствует состоянию  $(N, \alpha)$ , стрелка – переходу под действием сигнала  $v$  (к следующему моменту времени), причем выходной сигнал равен  $w$  (дуге – пара  $(v, w)$ ).

Если несколько различных стрелок ведут от кружка к одному и тому же кружку, то эти стрелки объединяются в одну стрелку, а соответствующие пары  $(v_1, w_1), \dots, (v_k, w_k)$  записываются подряд.

Используя диаграмму нетрудно проследить, что под действием последовательных входных сигналов  $T_0, 1, C, 2, K, \lambda, T_1, K$  модель переходит из состояния  $(0,1)$  в состояние  $(2,1)$ , причем возникает последовательность  $0, 1, 0, 2, 2, 0, 0, 0$  выходных сигналов.

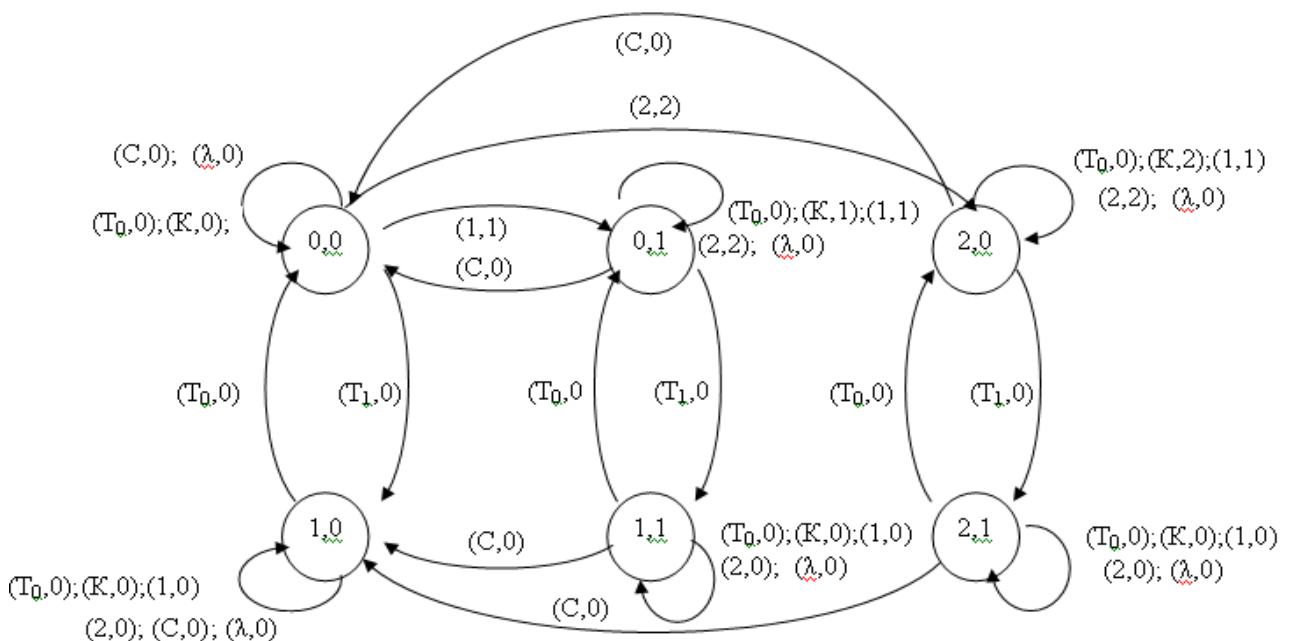


Рис. 8. Диаграмма переходов

## Глава 10. Семейство операторов переходов и выходов детерминированной системы без последствия

Для формального описания четвертого и пятого предположений о характере функционирования систем необходимо ввести соотношения, позволяющие определить состояние системы и ее выходной сигнал в заданный момент времени  $t$ , если известны состояния системы и входные сигналы в моменты времени, предшествующие  $t$ .

Предлагается рассмотреть для простоты класс систем без последствия, играющих важную роль в теории и приложениях. Система называется системой без последствия, если ее будущее поведение определится настоящим и не зависит от прошлого.

Иначе говоря, состояние системы без последствия в момент времени  $t \geq t_0$  определяется ее состоянием  $z(t_0)$  и отрывком входного сообщения  $(t, x_L ]_{t_0}^t$  за полуинтервал  $(t_0, t]$ , но не зависит от предыстории, т.е. от того, каким образом система пришла в состояние  $z(t_0)$ .

Пока будем рассматривать детерминированные системы, т.е. системы, на которые не действуют случайные факторы. Для систем без последствия ее состояние  $z(t)$  в моменты времени  $t \in T$ , таких, что  $t \geq t_0$ , описывается оператором  $H$ :

$$z(t) = H\{t, t_0, z(t_0), (t, x_L ]_{t_0}^t\}. \quad (10.1)$$

Оператор  $H$  называется оператором переходов системы в новое состояние; при этом состояние  $z(t_0)$  называется начальным состоянием системы. Аргументы в правой части (10.1) являются элементами множеств:  $t \in T$ ;  $t_0 \in T$ ;  $z(t_0) \in Z$ ;  $(t, x_L ]_{t_0}^t \in \{(t, x_L ]_{t_0}^t\}$ , где  $(t, x_L ]_{t_0}^t$  множество всевозможных отрывков входных сообщений.

Исходя из (10.1) можно формально записать отображение:

$$T \times T \times Z \times \{(t, x_L ]_{t_0}^t\} \rightarrow Z.$$

Однако это соотношение не является вполне корректным, так как не все аргументы правой части (10.1) оказываются независимыми. Действительно, в силу условия  $t \geq t_0$  можно лишь говорить о независимых упорядоченных парах  $(t, t_0)$ , удовлетворяющих этому условию.

Множество  $\{(t, t_0)\}$  должно быть множеством всех упорядоченных пар  $(t, t_0)$ , таких, что  $t \geq t_0$  является подмножеством  $T \times T$ .

Для того, чтобы определить отрывок входного сообщения  $(t, x_L) \Big|_{t_0}^t$  при фиксированной паре  $(t, t_0)$ , достаточно выбрать конкретные входные сообщения  $(t, x_L)_T$  из множества входных сообщений  $\{(t, x_L)_T\}$ . Таким образом образуется отображение:

$$\{(t, t_0)\} \times Z \times \{(t, x_L)_T\} \rightarrow Z. \quad (10.2)$$

Область определения  $S$  отображения, реализуемого оператором  $H$ , не обязательно должна совпадать со всем множеством  $\{(t, t_0)\} \times Z \times \{(t, x_L)_T\} \rightarrow Z$ . Она может быть некоторым его собственным подмножеством.

В самом деле, существуют примеры реальных систем, для которых те или другие состояния  $z \in Z$  или входные сообщения  $(t, x_L)_T \in \{(t, x_L)_T\}$  сочетаются лишь с определенными интервалами времени функционирования.

В качестве оператора переходов детерминированной системы без последствия можно взять не произвольный оператор, реализующий отображение (10.2), а лишь один из тех операторов, которые удовлетворяют условиям, вытекающим из специфики описания процесса функционирования системы.

Какими должны быть эти условия?

1. Начальные условия:  $\forall t_0 \in T, \forall z(t_0) \in Z, \forall (t, x_L)_T \in \{(t, x_L)_T\}$  при  $t = t_0$  имеет место равенство  $H\{t_0, t_0, z(t_0), (t, x_L) \Big|_{t_0}^t\} = z(t_0)$ . Очевидно, что здесь  $(t, x_L) \Big|_{t_0}^t$  является пустым отрывком входного сообщения. Это условие требует, чтобы состояние  $z(t) = H(t)$  при  $t = t_0$  совпадало с начальным состоянием  $z(t_0)$ .



2. Для любых  $(t, x_{L_1})_T$  и  $(t, x_{L_2})_T$  из множества  $\{(t, x_L)_T\}$ , отрывки которых совпадают на полуинтервале  $(t_0, t]$ , т.е.  $(t, x_{L_1}]_{t_0}^t = (t, x_{L_2}]_{t_0}^t$ , имеет место равенство  $H\{t, t_0, z(t_0), (t, x_{L_1}]_{t_0}^t\} = H\{t_0, t, z(t_0), (t, x_{L_2}]_{t_0}^t\}$

3. Условие однозначности: для  $\forall t_0, t_1, t_2 \in T$ , таких что  $t_0 < t_1 < t_2$ , имеет место равенство:  $H\{t_2, t_0, z(t_0), (t, x_L]_{t_0}^{t_2}\} = H\{t_2, t_1, z(t_1), (t, x_L]_{t_1}^{t_2}\}$  в предположении, что  $(t, x_L]_{t_0}^{t_2}$  является результатом сочленения отрывков  $(t, x_L]_{t_0}^{t_1}$  и  $(t, x_L]_{t_1}^{t_2}$ .

При фиксированных  $t_0, z(t_0)$  и  $(t, x_L)_T$  оператор  $H$  реализует отображение  $z = H(t)$  или  $z = z(t): T \rightarrow Z$ , которое называется *движением системы*. Множество всевозможных движений системы обозначается  $\{z(t)\}$ . Совокупность упорядоченных пар  $(t, z)$  для всех  $t \in T$ , где  $z$  определяется движением  $z = z(t)$  называется *фазовой траекторией* системы. Фазовая траектория является подмножеством множества точек пространства.  $U = T \times \widehat{Z}$ , которое можно представить в виде кривой в пространстве  $U = T \times Z$ . Проекция фазовой траектории на пространство  $\widehat{Z}$  называется траекторией системы в пространстве состояний.

Например, взят некоторый полуинтервал времени  $(t_1, t_2]$ . Сужение отображения  $z(t)$  на множестве  $T \cap (t_1, t_2]$  называется *фрагментом движения системы на полуинтервале  $(t_1, t_2]$*

Данному фрагменту соответствует конечная дуга фазовой траектории, представляющая собой множество упорядоченных пар  $(t, z)$ , определяемых отображением  $z = z(t)$  для  $t \in T \cap (t_1, t_2]$ , а также конечная дуга траектории системы в пространстве состояний – множество точек  $z \in Z$ , принадлежащих упомянутым парам.

Для случая конечного входного сообщения  $(t_1, x_1; t_2, x_2; \dots; t_k, x_k)$  оператор переходов системы приобретает вид  $z(t) = H\{t, t_0, z(t_0), (t_1, x_1), (t_2, x_2), \dots, (t_k, x_k)\}$ . Следует перейти к выходным сигналам системы. Предполагается, что выходной сигнал  $y(t) \in Y$  для моментов времени  $t \in T$ , таких что  $t > t_0$ , определяется оператором:

$$y(t)=G\{t,t_0,z(t_0),(t,x_L]_{t_0}'\}, \quad (10.3)$$

который называется оператором выходов системы. Обычно предполагается, что область определения оператора  $G$  в пространстве  $\{(t,t_0)\} \times Z \times \{(t,x_L)_T\}$  совпадает с областью определения оператора переходов системы (10.1). Поэтому под оператором выходов  $G$  системы понимается оператор, реализующий отображение:

$$\{(t_0,t)\} \times Z \times \{(t,x_L)_T\} \rightarrow Y. \quad (10.4)$$

Несмотря на внешнее сходство операторов  $H$  и  $G$ , между ними имеется существенное различие. Отображение, реализуемое оператором переходов  $H$ , каждому моменту времени  $t > t_0$  из множества  $T$  ставит в соответствие определенный элемент (система в каждый момент времени  $t \in T$  находится в одном из возможных состояний). Из физических соображений ясно, что существуют системы, которые выдают выходные сигналы не обязательно в каждый момент времени  $t \in T$ . Чтобы устранить это различие, по крайней мере с формальной точки зрения, можно предложить, что множеству  $Y$  принадлежит и пустой сигнал  $y_\emptyset$ , который физически интерпретируется как отсутствие выходного сигнала в момент времени  $t$ , если  $y(t)=y_\emptyset$ .

Рассматривается точка  $(z,y)$  пространства  $Z \times Y$ . Учитывая, что операторы  $H$  и  $G$  имеют одну и ту же область определения  $S$ , вводится оператор:

$$[z(t),y(t)]=H^*\{t,t_0,z(t_0),(t,x_L]_{t_0}'\}, \quad (10.5)$$

который реализует отображение:

$$\{(t,t_0)\} \times Z \times \{(t,x_L)_T\} \rightarrow Z \times Y. \quad (10.6)$$

Оператор  $H^*=H \times G$  называется оператором функционирования системы. Точку  $(z,y) \in Z \times Y$  часто трактуют как расширенное состояние системы (точку  $z \in Z$  в этой связи уместно назвать внутренним состоянием). При фиксированных  $t_0, z(t_0)$  и  $(t,x_L)_T$  оператор  $H^*$  представляет собой отображение  $(z,y)=H^*(t)$ , называемое *процессом функционирования* системы. Со-

вокупность точек пространства  $Z \times Y$  является траекторией функционирования системы.

Итак, под детерминированной системой без последствия (или динамической системой Кламана) понимают упорядоченную совокупность  $(T, X, Z, Y, \{(t, x_L)_T\}, H, G)$  множеств  $T, X, Z, Y, \{(t, x_L)_T\}$  и операторов  $H$  и  $G$ , обладающих следующими свойствами:

- $T$  является подмножеством действительных чисел;
- $\{(t, x_L)_T\}$  – множество отображений  $T \rightarrow X$ , удовлетворяющих сочленению отрывков;
- оператор  $H$  реализует отображение (10.2);
- оператор выходов системы задается соотношением (10.3).

Развитие теории систем настоятельно выдвигает проблемы, изучение которых выходит за рамки детерминированных систем без последствия. Связанное с этим расширение понятия системы идет по трем путям:

- учета специфики воздействия на систему входных сообщений различных классов;
- учета последствия;
- учета случайных факторов.

Необходимо рассмотреть эти факторы в порядке, диктуемом методическими соображениями.

## Глава 11. Детерминированные системы без последействия с входными сигналами двух классов

Рассматривается случай двух классов сигналов, которые называются «обычными, неконтролируемыми входными сигналами» и «управляющими, контролируемыми входными сигналами».

За обычными сигналами сохраняются все ранее использованные обозначения:  $x(t) \in X$  – входной сигнал, поступающий в систему в момент времени  $t \in T$ ;  $(t, x_L)_T$  – входное сообщение, являющееся элементом множества  $\{(t, x_L)_T\}$  и т. д. Наряду с этим рассматриваются так же управляющие сигналы  $u \in U$ , где  $U$  – множество управляющих сигналов системы.

Управляющий сигнал, поступающий в систему в момент времени  $t \in T$ , обозначается  $U(t)$ . Если сигнал  $u \in U$  описывается набором характеристик  $u_1, u_2, \dots, u_l$ , таких, что  $u_k \in U_k$ ,  $k = \overline{1, l}$ , то прямое произведение  $\hat{U} = U_1 \times U_2 \times \dots \times U_l$  называется пространством управляющих сигналов системы. Отображение  $u = M(t)$ ,  $t \in T$  называется управляющим процессом; совокупность упорядоченных пар  $(t, u_M)_T$  – управляющим сообщением.

Сужение этого отображения на полуинтервале  $(t_1, t_2]$  называется фрагментом управляющего процесса, а соответствующая ему совокупность упорядоченных пар  $(t, u_M)$  – отрывком управляющего сообщения  $(t, u_M)_T$ , поступающим в систему за полуинтервал  $(t_1, t_2]$  (обозначается как  $(t, u_M]_{t_1}^{t_2}$ ). Множество  $\{(t, u_M)_T\}$  должно удовлетворять условию сочленения. Входные и управляющие сигналы удобно рассматривать как элементы единого множества  $\bar{X} = X \times U$  обобщенных входных сигналов  $\bar{x} = (x, u) = (x_1, x_2, \dots, x_n, u_1, u_2, \dots, u_l)$  (рис 9).

Обобщенный входной сигнал  $\bar{x}$  содержит полный набор координат  $x_i$  и  $u_j$  в том случае, если в момент  $t$  в систему одновременно поступают входной сигнал  $x_i$  и управляющий сигнал  $u_j$ .

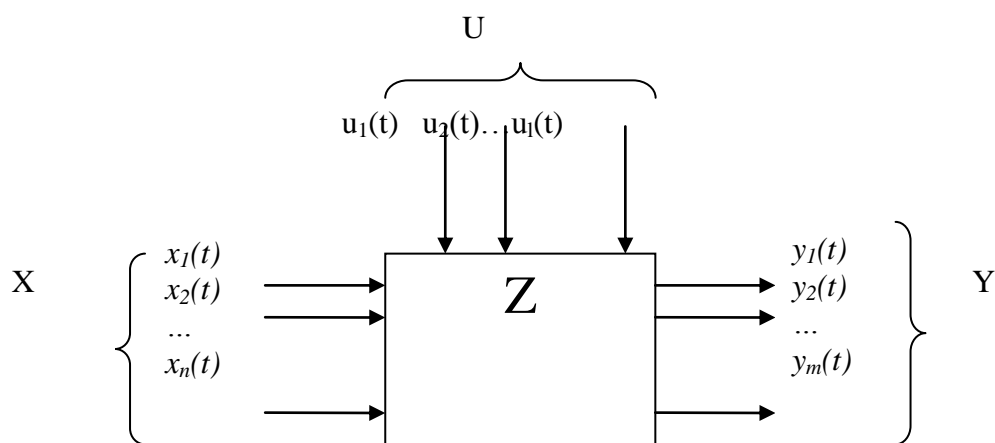


Рис 9. Сигналы системы

При неодновременном поступлении сигналов  $x_i$  и  $u_j$  обобщенный сигнал имеет либо  $\bar{x} = (x, u_\emptyset)$  – входной сигнал, либо  $\bar{x} = (x_\emptyset, u)$  – управляющий сигнал.

Совокупность упорядоченных троек  $(t, x, u)$ , соответствующих всем  $t \in T$ , где  $x=L(t)$ , а  $u=M(t)$ , называется обобщенным входным сообщением и обозначается  $(t, x_L, u_M)_T$ . Иногда его называют  $(x, u)$  – сообщением. Обобщенное входное сообщение определяется отображением  $T \rightarrow X \times U$ .

Сужение этого отображения на полуинтервале  $(t_1, t_2]$  определяет отрывок обобщенного сообщения и обозначается  $(t, x_L, u_M]_{t_1}^{t_2}$ . Множество  $\{(t, x_L, u_M)_T\}$  всех обобщенных входных сообщений удовлетворяет условию сочленения отрывков, если этому условию удовлетворяет множество  $\{(t, x_L)_T\}$  и  $\{(t, u_M)_T\}$ .

Если за конечный полуинтервал  $(t_1, t_2]$  в систему поступает лишь конечное число входных и управляющих сигналов, процедура построения  $(t, x_L, u_M]_{t_1}^{t_2}$  по заданным  $(t, x_L]_{t_1}^{t_2}$  и  $(t, u_M]_{t_1}^{t_2}$  сводится к упорядочиванию сигналов по времени их поступления.

Когда в систему поступают входные и управляющие сигналы, состояние детерминированной системы без последствия зависит от  $(t, x_L)_T$  и  $(t, u_M)_T$ .

С учетом этого оператор переходов приобретает вид:

$$z(t)=H\{t,t_0,z(t_0), (t,x_L,u_M]_{t_0}'\}. \quad (11.1)$$

Нередко также используется другая форма записи оператора переходов:  $z(t)= H\{t,t_0,z(t_0), (t,x_L]_{t_0}', (t,u_M]_{t_0}'\}$ , что соответствует отображению

$$\{(t,t_0)\} \times Z \times \{(t,x_L)_T\} \times \{(t,u_M)_T\} \rightarrow Z. \quad (11.2)$$

Таким образом, при помощи (11.1) и (11.2) описываются детерминированные системы без последствия с обычными входными и управляющими сигналами.

## Глава 12. Детерминированные системы с последствием

Большой класс систем характеризуется тем, что для определения их состояния в момент времени  $t > t_0$  недостаточно знать состояние  $z(t_0)$  в момент  $t_0$ . Для этой цели приходится задавать состояние системы на некотором начальном множестве моментов времени  $t \in T$ , таких, что  $t \leq t_0$ .

Каждому  $t_0 \in T$  становится в соответствие некоторый класс множеств  $B_0 \subset T$ , таких, что  $\forall t \in B_0 \subset \{B\}_{t_0}$  справедливо  $t < t_0$ .

Тогда получается параметрическое (с параметром  $t_0 \in T$ ) семейство  $(\{B\}_{t_0})$  классов  $\{B\}_{t_0}$  множеств  $B_0$ , обладающих указанным свойством. На каждом  $B_0 \subset (\{B\}_{t_0})$  задается множество  $\{\omega(t)\}_{B_0}$  отображений  $B_0 \rightarrow Z$ , обозначаемых  $z = \omega(t), t \in B_0$ .

Совокупность упорядоченных пар  $(t_{B_0}, z_{\omega})$ , где  $t_{B_0} \in B_0, z_{\omega} = \omega(t)$ , для этих  $t$  называется предысторией  $(t_{B_0}, z_{\omega})_{t_0}$  системы с последствием.

Оператор переходов  $H$  этой системы для любых  $t \in T$  и  $t_0 \in T, t > t_0$  и любых  $z(t_0) \in Z$  и  $(t, x_L)_T \in \{(t, x_L)_T\}$  имеет вид

$$z(t) = H\{t, (t_{B_0}, z_{\omega})_{t_0}, t_0, z(t_0), (t, x_L)_{t_0}^t\}. \quad (12.1)$$

Оператор переходов (12.1) детерминированной системы с последствием реализует отображение:

$$\{(t, t_0)\} \times \{(t_{B_0}, z_{\omega})_{t_0}\} \times Z \times \{(t, x_L)_T\} \rightarrow Z. \quad (12.2)$$

Здесь  $\{(t_{B_0}, z_{\omega})_{t_0}\}$  – параметрическое (с параметром  $t_0 \in T$ ) семейство множеств всевозможных предысторий системы. В случае конечного  $B_0$ , например,  $(t_1, t_2, \dots, t_k)$ , предыстория имеет вид  $[t_1, z_{\omega}(t_1); t_2, z_{\omega}(t_2); \dots, t_k, z_{\omega}(t_k)]$ , а оператор переходов:

$$z(t) = H\{t, t_1, z_{\omega}(t_1); t_2, z_{\omega}(t_2); \dots, t_k, z_{\omega}(t_k), t_0, z(t_0), (t, x_L)_{t_0}^t\}.$$

### Глава 13. Стохастические системы

Системы, функционирующие под воздействием случайных факторов, называются стохастическими. В теории стохастических систем существенную роль играет понятие случайного оператора.

Пусть  $\omega \in \Omega$  – пространство элементарных событий с вероятностной мерой  $P(A)$ ;  $x \in X$  и  $z \in Z$  – заданные множества, а  $\{X \rightarrow Z\}$  – множество отображений  $X$  в  $Z$ .

Относительно множества  $Z$  и отображений  $X \rightarrow Z$  следует считать выполненными некоторые весьма общие требования измеримости. Случайным оператором  $H_1$ , переводящим множество  $X$  во множество  $Z$ , называется оператор  $z = H_1(x, \omega)$ , реализующий отображение множества  $\Omega$  во множество  $\{X \rightarrow Z\}$ .

Это означает, что каждому фиксированному  $\omega' \in \Omega$  ставится в соответствие некоторый конкретный неслучайный оператор  $H(x, \omega')$ , реализующий отображение  $X \rightarrow Z$ .

Таким образом  $H_1(x, \omega)$  определяет набор отображений  $X \rightarrow Z$ , зависящих от элементов  $\omega \in \Omega$ . С другой стороны, очевидно, что каждому  $x \in X$  случайный оператор  $H_1(x, \omega)$  ставит в соответствие не одно определенное  $z \in Z$ , а некоторое множество  $Z^* \subset Z$  с распределением вероятностей на нем, зависящим от  $P(A)$  и вида оператора  $H_1$ .

С учетом сказанного, операторы переходов и выходов стохастической системы без последствия можно представить в виде:

$$z(t) = H_1\{t, t_0, z(t_0, \omega_0), (t, x_L]_{t_0}^{\prime}, \omega'\}, \quad (13.1)$$

$$y(t) = G_1\{t, z(t), \omega''\}. \quad (13.2)$$

где  $\omega_0, \omega', \omega''$  – независимо выбираются из  $\Omega$  в соответствии с вероятностными мерами  $P_0(A)$ ,  $P_z(A)$  и  $P_y(A)$ .



При фиксированных  $\omega'$  и  $\omega''$  стохастическая система называется системой со случайными начальными состояниями. Когда фиксированы  $\omega_0$  и  $\omega''$ , стохастическую систему называют системой со случайными переходами, при фиксированных  $\omega_0, \omega'$  – системой со случайными выходами. Распределение вероятностей для  $y(t)$  зависит от  $P_y(A)$  и вида оператора  $G_1$ .

Аналогичный вид имеют операторы переходов и выходов для стохастической системы с последствием. Движение стохастической системы можно рассматривать как некоторый случайный процесс  $z(t, \omega)$  с областью значений в множестве состояний системы  $Z$ .

## Глава 14. Агрегативное описание систем

Предположения о характере множеств состояний и сигналов, операторов переходов и выходов, принятые ранее, оказываются слишком широкими. Они не обеспечивают построения эффективного аналитического аппарата для анализа и синтеза сложных систем.

Поэтому на множества состояний, сигналов, а также на операторы переходов и выходов налагаются дополнительные ограничения. В частности, рассматривается унифицированная схема, называемая агрегатом, которая получается из стохастической системы общего вида конкретизацией операторов переходов и выходов.

### 14.1. Понятие «агрегат» в теории систем

Пусть  $T$  – фиксированное подмножество действительных чисел (множество рассматриваемых моментов времени),  $X, U, Y, Z$  – множества любой природы. Элементы указанных множеств:  $t \in T$  – момент времени;  $x \in X$  – входной сигнал;  $u \in U$  – управляющий сигнал;  $y \in Y$  – выходной сигнал;  $z \in Z$  – состояние. Состояния, входные, управляющие и выходные сигналы, рассматриваемые как функции времени, обозначаются  $z(t)$ ,  $x(t)$ ,  $u(t)$  и  $y(t)$ .

Под агрегатом понимается объект  $\langle T, X, U, Y, Z, H, G \rangle$ , где  $H, G$  – операторы (вообще говоря, случайные). Операторы переходов и выходов  $H$  и  $G$  реализуют функции  $z(t)$  и  $y(t)$ . Структура этих операторов, собственно, и выделяет агрегаты среди прочих систем.

*Предположение 1.* Предполагается, что за конечный интервал времени в агрегат поступает конечное число входных и управляющих сигналов и вырабатывается конечное число выходных сигналов.

## 14.2. Операторы переходов и выходов агрегата

**Операторы переходов.** Наряду с состоянием  $z(t)$  рассматриваются также точки  $z(t+0)$ . Предположим, что для любого  $t_1 > t$  момент  $(t+0) \in (t, t_1]$ . Вид оператора  $H$  зависит от того, содержит ли рассматриваемый интервал времени моменты особых состояний агрегата или не содержит. Под особыми состояниями понимаются его состояния в момент получения входного либо управляющего сигналов или выдачи выходного сигнала. Все остальные состояния агрегата называются неособыми.

*Предположение 2.* Из особых состояний агрегат может переходить в новое состояние скачком.

Пусть  $z(t^*)$  – некоторое особое состояние агрегата, а  $u_s$  – последний управляющий сигнал  $u_s \in U$ , обозначения для операторов, являющихся частными видами оператора  $H$  и определяющих состояние агрегата в момент  $t^*+0$ . Тогда:

Если  $t^*$  – момент поступления входного сигнала  $x$ , то

$$z(t^*+0) = V'[z(t^*), x, u_s]; \quad (14.2)$$

Если  $t^*$  – момент поступления управляющего сигнала  $u$ , то

$$z(t^*+0) = V''[z(t^*), u]; \quad (14.3)$$

При одновременном поступлении  $x$  и  $u$

$$z(t^*+0) = V[z(t^*), x, u]; \quad (14.4)$$

Если  $t^*$  – момент выдачи выходного сигнала  $y$ , то

$$z(t^*+0) = W[z(t^*), u_s]. \quad (14.5)$$

В интервале между особыми состояниями значение  $z(t)$  определяется при помощи операторов  $U$ , вид которых в общем случае зависит от особого состояния, являющегося для данного интервала времени начальным состоянием:

$$z(t^*+0) = U_{t_s}[t, z(t^*+0), u_s]. \quad (14.6)$$

где  $t^*$  – момент особого состояния, являющегося исходным для данного интервала времени.

Естественно, замечания о том, что  $H$  является случайным оператором, без изменений переносится на его частные виды  $U, V', V'', V$  и  $W$ .

**Оператор выходов.** Во множестве  $Z$  состояний  $z(t)$  агрегата выделяется класс подмножеств  $\{Z_y\}$ , обладающих следующими свойствами. Выходной сигнал  $y$  выдается в момент  $t'$  тогда, когда: 1)  $z(t') \in Z_y$ ;  $z(t'-0) \notin Z_y$  и 2)  $z(t'+0) \in Z_y$ , но  $z(t') \notin Z_y$ . Тогда оператор  $G$  можно представить в виде совокупности двух операторов:  $G'$ , вырабатывающего выходной сигнал

$$y = G'[z(t'), u_s], \quad (14.7)$$

и  $G''$ , проверяющего для каждого  $t$  принадлежность  $z(t)$  к одному из подмножеств  $Z_y$ .

Необходимо заметить, что в общем случае, оператор  $G'$  является случайным оператором. Это значит, что данным  $t, z(t), u$  ставится в соответствие не одно определенное значение выходного сигнала, а некоторое множество значений  $y$  с соответствующим распределением вероятностей, задаваемых оператором  $G'$ .

В некоторых случаях в качестве одной из составляющих  $z(t)$ , например,  $z_1(t)$ , можно рассматривать время, оставшееся до выдачи выходного сигнала. Тогда оператор  $G''$  проверяет неравенство  $z_1(t) > 0$ .

**Процесс функционирования агрегата.** В начальный момент времени  $t_0$  заданы начальное состояние агрегата  $z_0$  и начальное значение управляющего сигнала  $u_0$ .

Пусть  $t_1$  и  $t_2$  – моменты поступления первого  $x_1$  и второго  $x_2$  входных сигналов,  $\tau_1$  – момент поступления первого управляющего сигнала  $u_1$  и, для определенности  $t_1 < \tau_1 < t_2$ . Рассматривается полуинтервал  $(t_0, t_1]$ . Состояния агрегата изменяются с течением времени по закону  $z(t) = U_{t_0}[t, z_0, u_0]$  ( $t_0 < t \leq t_1$ ) до тех пор (оператор  $G''$ ), пока в момент  $t'$  (пусть  $t' < t_1$ ) состояние

$z(t')$  не окажется принадлежащим подмножеству  $Z'_y$ , хотя состояние  $z(t'-0)$  не принадлежало подмножеству  $Z'_y$ . В этом случае в момент  $t'$  выдается выходной сигнал  $y^{(14.1)}$ , вырабатываемый оператором  $G'$ . Вместе с тем закон изменения состояний (14.6) нарушается и  $z(t'+0)=W[z(t'),u_0]$ .

Прежде чем рассматривать дальнейшие изменения состояний агрегата во времени, необходимо проверить (оператор  $G''$ ), не удовлетворяет ли состояние  $z(t'+0)$  условиям выдачи выходного сигнала, или, другими словами, не принадлежит ли состояние  $z(t'+0)$  некоторому новому подмножеству  $Z''_y$ . Если состояние  $z(t'+0)$  удовлетворяет условиям выдачи выходного сигнала (принадлежит подмножеству  $Z''_y$ ), то в момент  $t''$  выдается второй выходной сигнал  $y^{(14.2)}$  (оператор  $G'$ ), а состояние агрегата описывается соотношением

$$z(t'+0+0)=W[z(t'+0),u_0]=W\{W[z(t'),u_0],u_0\}. \quad (14.8)$$

В силу принятого соглашения в любой интервал времени может быть выдано лишь конечное множество выходных сигналов. Это свойство агрегата является ограничением, накладываемым на структуру подмножеств  $Z_y$  и оператор  $W$ . Можно предположить, что  $z(t'+0)$  не принадлежит никакому из подмножеств  $Z_y$ . Поэтому далее состояние агрегата изменяется в соответствии с законом

$$z(t)=u_r[t,z(t'+0),u_0]=u_r\{t,W[z(t'),u_0],u_0\} \quad (14.9)$$

Пусть теперь в момент  $t_1$  поступает входной сигнал  $x_l$ . Необходимо проследить поведение агрегата в момент  $t_1$  при различных вариантах возможных событий.

Если при достаточно малых  $\varepsilon > 0$  в момент  $t_1 - \varepsilon$  состояние агрегата не принадлежало подмножеству  $Z^*_y$ , а в момент  $t_1$   $z(t_1)$  принадлежит  $Z^*_y$ , то при условии, что в момент  $t_1$  выдается выходной сигнал  $y^*$ , а состояние агрегата есть

$$z(t_1+0)=W[z(t_1),u_0]. \quad (14.10)$$

Вместе с тем действие входного сигнала  $x_1$  приводит к тому, что

$$z(t_1+0+0)=V'[z(t_1+0),x_1,u_0]=V'\{W[z(t_1),u_0],x_1,u_1\}. \quad (14.11)$$

Очевидно, что состояние  $z(t_1+0+0)$  должно быть проверено (оператором  $G''$ ) по отношению к условиям выдачи выходного сигнала. Предполагается, что в момент  $t_1$  не было оснований для выдачи выходного сигнала  $y^*$ . Тогда вместо (14.10 и 14.11) в силу действия входного сигнала  $x_1$  состояние агрегата имеет вид

$$z(t_1+0)=V'[z(t_1),x_1,u_0], \quad (14.12)$$

а в дальнейшем, если состояние (14.12) не соответствует выдаче выходного сигнала при  $t_1 < t \leq \tau$  ( $t_1, \tau$ ):

$$z(t)=U_{t_1}\{t,V'[z(t_1),x_1,u_0],u_0\}. \quad (14.13)$$

Пусть в момент  $\tau_1$  в агрегат поступает управляющий сигнал  $u_1$ . Тогда состояние агрегата имеет вид:

если в момент  $\tau_1$  не происходит выдача выходного сигнала

$$z(\tau_1+0)=V''[z(\tau_1),u_1]; \quad (14.14)$$

если в момент  $\tau_1$  выдается выходной сигнал

$$z(\tau_1+0+0)=V''\{[W[z(\tau_1),u_0]]u_1,\beta\}. \quad (14.15)$$

Необходимо отметить, что управляющий сигнал  $u$  в общем случае является параметром, определяющим операторы  $V', V'', W, U, G', G''$ . Поэтому в дальнейшем вместо начального значения управляющего сигнала  $u_0$  в этих операторах должно использоваться значение  $u_1$  до тех пор, пока не поступит следующий управляющий сигнал  $u_2$ . Например, в полуинтервале  $(\tau_1, t_2]$ , если нет оснований для выдачи выходного сигнала

$$z(t)=U_{\tau_1}[t,z(\tau_1+0),u_1] \quad \tau_1 < t \leq t_2. \quad (14.16)$$

В частном случае операторы  $H$  и  $G$  могут оставаться неизменными при поступлении очередного управляющего сигнала. Аналогично, оператор  $U$  может быть одним и тем же при любых выходных сигналах (при попадании  $z(t)$  в любые подмножества  $Z_y$ ).

Агрегат представляет собой математическую схему весьма общего вида, частными случаями которой являются функции алгебры логики, релейно-контактные схемы, конечные автоматы, всевозможные классы систем массового обслуживания, динамические системы, описываемые обыкновенными дифференциальными уравнениями, и некоторые другие объекты. С точки зрения моделирования, агрегат выступает как достаточно универсальный переработчик информации – он воспринимает входные и управляющие сигналы и выдает выходные сигналы.

### 14.3. Пример представления систем в виде агрегатов

Рассматривается однолинейную система массового обслуживания следующего вида. В моменты времени  $t_j$ , представляющие собой случайный поток однородных событий с заданным законом распределения, в систему поступают заявки, каждая из которых характеризуется параметром  $\alpha_j$ . Величина  $\alpha_j$  является случайной величиной с условным законом распределения  $f(\alpha/t)$  при условии, что  $t_j=t$ . Если линия обслуживания занята, заявка попадает в очередь и может находиться там (ждать) не более, чем

$$\tau_k^{(ж)} = \varphi(\alpha_j, \beta_i). \quad (14.17)$$

Величина  $\beta_i$  является случайной величиной с условным законом распределения  $f(\beta/t)$  при условии, что  $\tau_k=t$ . Величины  $\tau_k$  образуют случайный поток однородных событий с заданным законом распределения, не зависящий от  $t_j$ . Заявка должна быть принята к обслуживанию не позднее, чем в момент времени  $t_j + \tau_k^{(ж)}$ , в противном случае она получит отказ.

Время обслуживания заявки или время занятости линии

$$\tau_k^{(з)} = \psi(\alpha_j, \beta_i). \quad (14.18)$$

Следует представить эту систему массового обслуживания в виде агрегата.

Состояние агрегата будет характеризоваться вектором  $z(t) \in Z$  со следующими компонентами:

$z_1(t)$  – время, оставшееся до конца обслуживания заявки (для заявки, которая находится на обслуживании);

$z_2(t)$  – значение величины  $\beta_i$ ;

$z_3(t)$  – количество заявок в очереди;

$z_4(t)$  – оставшееся время ожидания первой заявки из очереди (время до момента отказа);

$z_5(t)$  – оставшееся время ожидания второй заявки из очереди (время до момента отказа);

$z_k(t)$  – оставшееся время ожидания последней заявки из очереди (время до момента отказа).

Входной сигнал  $x_j$  поступает в момент  $t_j$  и несет с собой информацию об  $\alpha_j$ , т.е.  $x_j = a_j$ . Управляющий сигнал  $g_i$  поступает в момент  $t_i$  и несет с собой информацию о величине  $\beta_i$ , т.е.  $g_i = \beta_i$ .

Рассматриваются подмножества  $Z_y$  и соответствующие им выходные сигналы  $y$ , операторы  $W$  и  $U$ .

*Подмножество  $Z_y^{(l)}$ .* Пусть в момент времени  $t_1$ :  $z_1(t_1) = 0$ ;  $z_l(t) > 0$ ;  $l = 3, 4, \dots, k$ .

Это означает, что обслуживание заявки закончилось. Выходной сигнал  $y_1 = (y_1^{(1)}, y_1^{(2)})$ , где  $y_1^{(1)}$  – признак «заявка обслужена»,  $y_1^{(2)} = y_1^{(2)}(\alpha_j, \beta_i, t_1)$  – выходной параметр заявки, зависящий от  $\alpha_j$  и  $\beta_i$ . Необходимо заметить, что случайный характер оператора  $G'$  может проявляться в том, что  $y_1^{(2)}(\alpha_j, \beta_i, t_1)$  представляет собой случайную функцию  $\alpha_j, \beta_i, t_1$ . Оператор  $W$ , определяющий состояние агрегата в момент  $t_1 + 0$ , задается следующим образом. Из всех  $z_l(t_1)$ , где  $l = 4, 5, \dots, k = z_3(t)$ , выбирается наименьшее и соответствующая заявка, например, номер  $m$ ,  $m \leq k$ , принимается к обслуживанию со временем обслуживания (занятости канала)  $\tau_m^{(3)} = \psi(\alpha_m, \beta_i)$ . Поэтому



$$\left. \begin{aligned} z_1(t_1+0) &= \tau_m^{(3)} = \psi(\alpha_m, \beta_i) \\ z_2(t_1+0) &= z_2(t_1) \end{aligned} \right\}. \quad (14.19)$$

Количество заявок в очереди уменьшится на 1:

$$z_3(t_1+0) = z_3(t_1) - 1, \quad (14.20)$$

а величина  $z_m(t_1+0)$  не определяется. Все остальные  $z_l(t_1+0)$  при  $l=4,5,\dots$  (за исключением  $z_m$ )

$$z_l(t_1+0) = z_l(t_1). \quad (14.21)$$

Оператор  $U$ , определяющий состояния агрегата для моментов времени  $t > t_1$  (до последующего особого состояния) имеет вид

$$\left. \begin{aligned} z_1(t) &= z_1(t_1+0) - (t-t_1) \\ z_2(t) &= z_2(t_1+0) = \text{const} \\ z_3(t) &= z_3(t_1+0) = \text{const} \\ z_4(t) &= z_4(t_1+0) - (t-t_1) \\ &\dots\dots\dots \\ z_k(t) &= z_k(t_1+0) - (t-t_1) \end{aligned} \right\}. \quad (14.22)$$

*Подмножество*  $Z_y^{(2)}$ . Пусть в момент времени  $t_2: z_1(t_2) > 0; z_3(t_2) > 0, z_m(t_2) = 0, 4 \leq m \leq k$ .

Это означает, что время ожидания одной из заявок в очереди истекло. Поскольку заявка до момента  $t_2$  не была принята к обслуживанию, она получает отказ. Выходной сигнал  $y_2 = (y_2^{(1)}, y_2^{(2)})$ , где  $y_2^{(1)}$  – представляет собой признак «заявка получила отказ»,  $y_2^{(2)} = y_2^{(2)}(\alpha_j, \beta_i, t_2)$  – выходной параметр заявки. Оператор  $W$  в момент  $t_2+0$  описывается соотношениями:

$$\left. \begin{aligned} z_1(t_2+0) &= z_1(t_2) \\ z_2(t_2+0) &= z_2(t_2) \\ z_3(t_2+0) &= z_3(t_2) - 1 \\ &\dots\dots\dots \\ z_l(t_2+0) &= z_l(t_2) \quad l=4,5,\dots,k \quad l \neq m \end{aligned} \right\}. \quad (14.23)$$

Величина  $z_m(t_2+0)$  не определяется. Оператор  $U_{(t_2)}$  для моментов времени  $t > t_2$  определяется равенствами:

$$\left. \begin{aligned}
z_1(t) &= z_1(t_2+0) - (t-t_2) \\
z_2(t) &= z_2(t_2+0) = \text{const} \\
z_3(t) &= z_3(t_2+0) = \text{const} \\
\dots\dots\dots \\
z_l(t) &= z_l(t_2+0) - (t-t_2) \quad ) \quad l=4,5,\dots,k \quad l \neq m
\end{aligned} \right\} . \quad (14.24)$$

Подмножество  $Z_y^{(3)}$ . В момент времени  $t_3$ :  $z_1(t_3)=0$ ,  $z_3(t_3)=0$ . Это значит, что очередь заявок отсутствует, и обслуживание закончилось в момент  $t_3$ . Выходной сигнал  $y_3=(y_3^1, y_3^2)$ , где  $y_3^1$  – признак «система свободна», а  $y_3^2=t_3$  – момент освобождения системы. Оператор  $W$ :  $z_1(t_3+0)=0$ ;  $z_3(t_3+0)=0$ ; другие  $z_l$  не определяются. Оператор  $U_{t_3}$  для всех  $t > t_3$  задается соотношениями:  $z_1(t)=0$ ,  $z_3(t)=0$ ;  $z_l(t)$  при  $l > 3$  не определяются (до следующего особого состояния).

Пусть теперь в момент  $t_j$  поступает входной сигнал  $x_j=\alpha_j$  (заявка с параметром  $\alpha_j$ ). Оператор  $V'$  имеет следующий вид. Если входной сигнал поступил после выходного сигнала  $y_3$  (действовал оператор  $U_{(t_3)}$ ), то это означает, что система была свободной, и заявка сразу поступила на обслуживание с  $\tau_j^3=\psi(\alpha_j, \beta_i)$ . Поэтому

$$\begin{aligned}
z_1(t_j+0) &= \tau_j^{(3)} = \psi(\alpha_j, \beta_i), \\
z_3(t_j+0) &= 0.
\end{aligned} \quad (14.25)$$

Величины  $z_l(t_j+0)$  для  $l > 3$  не определяются. Если входной сигнал поступил после выходных сигналов  $y_1$  и  $y_2$ , то заявка попадает в очередь, т.е.

$$\left. \begin{aligned}
z_1(t_j+0) &= z_1(t_j) \\
z_2(t_j+0) &= z_2(t_j) \\
z_3(t_j+0) &= z_3(t_j) + 1 \\
\dots\dots\dots \\
z_l(t_j+0) &= z_l(t_j); \quad l=4,5,\dots,k \\
\dots\dots\dots \\
z_{k+1}(t_j+0) &= \tau_j^{(k)} = \varphi(\alpha_j, \beta_i)
\end{aligned} \right\} . \quad (14.26)$$

В дальнейшем (оператор  $U_{(t_j)}$ ) состояния  $z(t)$  определяются аналогично (14.22).

Пусть теперь в момент  $\tau_i$  поступает управляющий сигнал  $g_i = \beta_{i+1}$ . При этом изменится только значение  $z_2(t)$ : вместо прежнего значения  $\beta_i$  должно быть  $z_2(t) = \beta_{i+1}$ . остальные  $z_i(t)$  не зависят от  $\beta_{i+1}$ . Из этого легко усмотреть содержание операторов  $W$  и  $U$ .

Далее обзор процесса функционирования такой системы массового обслуживания как агрегата можно сделать самостоятельно.

## 14.4. Кусочно-линейные агрегаты

Как показывает анализ моделирующих алгоритмов, можно добиться их существенных упрощений, если рассматривать объекты чуть более частные, чем агрегат общего вида, но сохраняющие такую важную его особенность, как возможность описания достаточно широкого класса реальных систем. Удобным для формализации чрезвычайно широкой совокупности разнообразных процессов и явлений материального мира являются кусочно-линейные агрегаты (КЛА).

### 14.4.1. Понятие о кусочно-линейном агрегате

Для поставленных здесь задач достаточно считать, что на агрегат не поступают управляющие сигналы  $u$ , а поступают лишь входные сигналы  $x$  (не ограничивает общности, в качестве  $x$  можно рассматривать входной сигнал в широком смысле ( $\bar{x}$ )). Итак, рассматривается агрегат как объект, который в каждый момент времени  $t$  характеризуется внутренним состоянием  $z(t)$ , имеет вход и выход. На вход агрегат в изолированные моменты времени могут поступать сигналы, с выхода могут сниматься выходные

сигналы. Класс кусочно-линейных агрегатов выделяется с помощью конкретизации структуры множеств  $Z, X, Y$  а также операторов  $H$  и  $G$ .

Данная конкретизация рассматривается некоторое конечное или счетное множество  $I$ . Для определенности предполагается, что  $I = \{0, 1, 2, \dots\}$ , хотя в конкретных задачах  $I$  может иметь и другой вид.  $I$  – множество основных состояний, а элементы  $v \in I$  – основные состояния. Каждому основному состоянию  $v \in I$  ставится в соответствие некоторое целое неотрицательное число  $\|v\|$ , которое называется рангом основного состояния. Кроме того, каждому  $v \in I$  ставится в соответствие выпуклый многогранник  $Z^{(v)}$  в евклидовом пространстве размерности  $\|v\|$ . Считается, что  $Z = \cup Z^{(v)}$ , т.е. пространство состояний  $Z$  можно представить состоящим из всевозможных пар вида  $(v, z^{(v)})$ , где  $v \in I$ , а  $z^{(v)}$  является вектором размерности  $\|v\|$  и принимает значения из многогранника  $Z^{(v)}$ . Вектор  $z^{(v)}$  называется вектором дополнительных координат. Если  $\|v\|=0$  для некоторого  $v \in I$ , то это означает, что в данном состоянии  $v$  дополнительные координаты не определяются.

#### 14.4.2. Процесс функционирования КЛА

Сначала описывается динамику КЛА, т.е. процесс изменения внутренних состояний во времени, в предположении отсутствия поступления  $x$ . В предыдущей терминологии, определяются действия оператора  $U$ . Пусть в начальный момент времени  $t_0$  агрегат находится в состоянии  $z(t_0) = (v, z^{(v)}(0))$ , где  $z^{(v)}(0)$  – внутренняя точка многогранника  $Z^{(v)}$ . Тогда при  $t > t_0$  точка  $z^{(v)}(t)$  перемещается внутри многогранника  $Z^{(v)}$  до тех пор, пока не достигнет его границы. Пусть это произойдет в момент  $t_1$ , который называется опорным. Тогда при  $t_0 < t \leq t_1$ ,  $\Delta t = t - t_0$  «движение» агрегата описывается следующими законами:

$$v(t)=v=\text{const}, \quad (14.27)$$

данному значению  $v$  соответствует вектор  $\alpha^{(v)}$  размерности  $\|v\|$  и

$$z^{(v)}(t)=z^{(v)}(0)+\Delta t \cdot \alpha^{(v)}. \quad (14.28)$$

Значение опорного момента  $t_1$  определяется траекторией  $z(t)$ , вернее ее некоторыми параметрами и может быть найдено из соотношения

$$t_1=\text{inf}\{t:z^{(v)}(0)+(t-t_0)\alpha^{(v)} \notin Z^{(v)}, t>t_0\}. \quad (14.29)$$

Поскольку  $Z^{(v)}$  – многогранник, то нахождение  $t_1$  по (14.29) сводится к следующему. Пусть  $Z_j^{(v)}$  –  $j$ -я грань многогранника  $Z^{(v)}$  (предполагается, что  $Z^{(v)}$  содержит  $m(v)$  граней). Эти грани могут быть заданы линейными уравнениями:

$$\sum_{i=1}^{\|v\|} d_{ji}^{(v)} z_i^{(v)} + d_{j0}^{(v)} = 0 \quad j=1, \dots, m(v), \quad (14.30)$$

где  $z_i^{(v)}$  – компоненты вектора  $z^{(v)}$ ,  $i=1.. \|v\|$ . Легко понять, что (3) может быть записано в виде

$$t_1 = \min_j \{t : z_{(0)}^{(v)} + (t-t_0)\alpha^{(v)} \in \bigcup_{j=1}^{m(v)} Z_j^{(v)}, t > t_0\},$$

$$t_1 = \min_j \{t : t > 0, \sum_{i=1}^{\|v\|} d_{ji}^{(v)} [z_i^{(v)}(0) + (t-t_0)\alpha_i^{(v)}] + d_{j0}^{(v)} = 0\}. \quad (14.31)$$

$$\text{Если } \tau_j = -\frac{d_{j0}^{(v)} + \sum_{i=1}^{\|v\|} d_{ji}^{(v)} z_i^{(v)}(0)}{\sum_{i=1}^{\|v\|} d_{ji}^{(v)} \alpha_i^{(v)}}, j=1, \dots, m(v), \quad (14.32)$$

$$\text{где } \tau = \min\{\tau_j; \tau_j > 0\}. \quad (14.33)$$

$$\text{тогда из (5–7) следует, что } t_1=t_0+\tau. \quad (14.34)$$

В момент  $t_1$  состояние рассматриваемого кусочно-линейного агрегата изменяется скачкообразно. Значение  $z(t_1+0)$  является случайным, задаваемым распределением  $P_1$ , которое зависит лишь от состояния  $z(t_1)$ . В момент  $t_1$  может выдаваться выходной сигнал (см. оператор  $G$ ). Содержание и необходимость выдачи  $y$  зависит от состояния  $z(t_1)$ . Подмножество  $Z_y$ , введенное в общем определении агрегата, в данном случае совпадает с

$\prod_{v=0}^{\infty} \prod_{j=1}^{m(v)} Z_j^{(v)}$ . Важно, указать, что множество  $Y$  имеет структуру, аналогичную

$Z$ , т.е. выходные сигналы  $y$  представляются  $y=(\lambda, y^{(\lambda)})$ , где  $\lambda$  – элемент не-  
которого не более чем счетного множества,  $y^{(\lambda)}$  – вектор, принимающий  
значения из евклидова пространства размером, зависящим от  $\lambda$ . При  $t > t_1$   
движение агрегата вновь происходит в соответствии с формулами (14.27) и  
(14.28) до очередного особого момента  $t_2$ , где под  $\Delta t$  нужно понимать те-  
перь  $t - t_1$  и т. д. В случае поступления входного сигнала для КЛА множест-  
во  $X$  структурно аналогично множествам  $Z$  и  $Y$ , т.е.  $x=(\mu, x^{(\mu)})$ , где  $\mu$  – эле-  
мент конечного или счетного множества, а  $x^{(\mu)}$  – действительный вектор,  
размерность которого зависит от  $\mu$ . Следующее описание поведения КЛА  
можно рассматривать как раскрытие действия оператора  $V'$ .

Пусть в рассматриваемый момент  $t$  состояние агрегата  $z(t)=(v, z^{(v)})$  и  
пусть в этот момент поступает входной сигнал  $x=(\mu, x^{(\mu)})$ . При этом состоя-  
ние агрегата меняется скачкообразно. Значение  $z(t+0)$  является случайным,  
задаваемым распределением  $P_2$ , которое, вообще говоря, зависит от  $z(t)$  и  $x$ .  
Считается, что в рассматриваемый момент может выдаваться выходной  
сигнал, содержание и необходимость выдачи которого зависит не только  
от состояния  $z(t)$  (и, быть может,  $z(t+0)$ ), но и от содержания поступившего  
входного сигнала  $x$ . После рассматриваемого момента времени  $t$  движение  
агрегата происходит в соответствии с формулами (14.27) и (14.28) до сле-  
дующего момента поступления входного сигнала или выхода вектора со-  
стояния на границу допустимых значений.

Динамика КЛА описана полностью. В виде КЛА могут быть форма-  
лизованы многие реальные процессы: процессы передачи и обмена данны-  
ми в сетях связи, системы массового обслуживания и материально-  
технического снабжения, процессы автомобильного движения на дорогах,  
разнообразные дискретные производственные процессы, вычислительные  
системы и т. д. При этом всюду основные состояния агрегата указывают

на качественно различные состояния моделируемых объектов. Дополнительные координаты характеризуют происходящие количественные изменения и часто носят сугубо вспомогательный характер, вбирая в себя необходимую информацию о предыстории модели. Следует отметить, что представление реальных систем в форме КЛА неоднозначно, поскольку неоднозначно могут быть выбраны состояния агрегатов. Выбор же состояний определяется как целями исследования, так и стремлением уменьшить размерность задачи. При этом всегда приходится идти на компромисс между точностью описания и полнотой получаемой информации, с одной стороны, и простотой модели – с другой.

### 14.4.3. Примеры представления систем в виде КЛА

**Пример 1.** Вероятностный автомат. Рассматривается конечный асинхронный вероятностный автомат Мура, т.е. такой, который не имеет жесткой тактности, а изменяет свое состояние всякий раз, когда поступает входной сигнал. Синхронный автомат получается, если потребовать, чтобы входные сигналы поступали в моменты  $t=1,2,\dots$ . Пусть  $Z_a$  – конечное множество внутренних состояний автомата,  $X_a$  – его входной (конечный) алфавит,  $Y_a$  – его выходной (конечный) алфавит. Для определенности считается, что  $Z_a=\{1,2,\dots,N\}$ ,  $X_a=\{1,2,\dots,K\}$ ,  $Y_a=\{1,2,\dots,M\}$ .

Динамика автомата описывается следующим образом. Если в момент  $t$  состояние автомата  $z_a(t)=i$  и поступил входной сигнал,  $x_a(t)=k$ , то состояние  $z_a(t+0)=j$  выбирается случайно с вероятностью  $p_{ij}^{(k)}$ ,  $p_{ij}^{(k)} \geq 0$ ,  $\sum_{j=1}^N p_{ij}^{(k)} = 1$  при любом  $k$ ,  $1 \leq k \leq K$ . Выходной сигнал  $y_a \in Y_a$ , выдаваемый в этот момент, является однозначной функцией нового состояния  $j$ :  $y_a=m=\Phi(j)$ , где  $\Phi$  – некоторая детерминированная функция с областью определения  $Z_a$  и множеством значений  $Y_a$ .

Необходимо представить этот автомат в виде кусочно-линейного агрегата. В качестве множества входных сигналов  $X$  КЛА берется  $X_a$ , а в качестве выходных сигналов  $Y$  – множество  $Y_a$ . За множество  $I$  основных состояний КЛА выбирается  $Z_a$  и будем считать  $\|v\|=0$  при всех  $v \in I$ , т.е. вектор дополнительных координат  $z^{(v)}$  не определяется. При таком выборе состояния КЛА не определяются многогранники  $Z^{(v)}$ , отпадают вопросы о движении внутри многогранника, выходе на границу и связанного с ним распределения  $P_1$ .

Все движение рассматриваемого КЛА состоит из скачков состояния при поступлении входных сигналов, причем ввиду отсутствия вектора дополнительных координат речь идет лишь о скачках основного состояния  $v$ , поэтому требуется задать лишь распределение  $P_2$ . Оно совпадает с рассмотренным выше распределением  $p_{ij}^{(k)}$ . Содержание выходного сигнала, выдаваемого в момент поступления входного, определяется только функцией  $\Phi$ . Вообще, если предположить, что  $\|v\|=0, \|\lambda\|=0, \|\mu\|=0 \forall v, \alpha, \mu$ , то легко видеть, что КЛА превращается в вероятностный автомат весьма общего вида.

**Пример 2.** Система массового обслуживания. Пусть на обслуживающий прибор поступает ординарный поток требований, причем  $i$ -е по счету требование характеризуется параметром  $\theta_i$ , который представляет собой предельно допустимое время ожидания  $i$ -м требованием начала обслуживания. Время обслуживания  $i$ -го требования равно  $\zeta_i$ , причем  $\{\zeta_i\}$  – последовательность независимых одинаково распределенных случайных величин с общей функцией распределения  $B(x)$ . Искомыми являются вероятностные характеристики длины очереди и времени ожидания.

Представить данный процесс в виде КЛА. За состояние агрегата выбирается вектор  $z=(v, z^{(v)})$ , где  $v$  – число требований, находящихся в системе в текущий момент времени, которые дождутся (или дождались) начала



обслуживания,  $\|v\|=v$ , а  $z^{(v)}$  – вектор, координаты которого определяются только при  $v>0$  и имеют следующий смысл:  $z_1^{(v)}$  – время, оставшееся до окончания обслуживания требования, находящегося на приборе, а  $z_i^{(v)}$  ( $1<i\leq v$ ) – длительности обслуживания требований, которые стоят в очереди и будут впоследствии обслужены.

В соответствие с этим вектор  $\alpha^{(v)}$  скоростей изменения дополнительных координат имеет компоненты  $\alpha_1^{(v)}=-1$ ,  $\alpha_i^{(v)}=0$  ( $1<i\leq v$ ), многогранник  $Z^{(v)}$  при каждом  $v>0$  совпадает с первым октантом эвклидова пространства размерности  $v$ :

$$Z^{(v)}=\{z^{(v)}: z_i^{(v)}\geq 0, i=1,2,.. v\}$$

и имеет  $m(v)=v$  ограничивающих координатных гиперплоскостей

$$Z_j^{(v)}=\{z^{(v)}: z_j^{(v)}=0\} j=1,..v.$$

В качестве входного сигнала берется пара  $(1,\theta)$ , где символ 1 просто указывает на факт поступления требования (и, таким образом, дискретная компонента  $\mu$  принимает лишь одно значение 1), а величина  $\theta$  равна допустимому времени ожидания поступающего требования (т.е.  $\|\mu\|=1$ ).

Следует рассмотреть динамику данного агрегата. Поскольку между моментами поступления входных сигналов изменяется лишь первая дополнительная координата (если  $v\geq 1$ ), то нет необходимости рассматривать случаи выхода дополнительных координат на гиперплоскости  $Z_j^{(v)}$ ,  $j>1$  (считается, что  $\zeta_i>0$  с вероятностью 1). Пусть в момент  $t^*$  выполнено  $z(t^*)\in Z_1^{(v)}$ . Тогда с необходимостью

$$z(t^*)=(v, 0, z_2^{(v)}, ..z_v^{(v)}), \text{ где } v>0. \quad (14.35)$$

Физически это означает, что момент  $t^*$  является моментом окончания обслуживания и, следовательно, обслуженное требование должно покинуть систему, а его место занимает требование, стоящее первым в очереди (если очередь не пуста).

Следовательно, из состояния (14.35) агрегат перейдет в состояние

$$z(t^*+0) = \begin{cases} 0, & \text{если } v=1 \\ (v-1, z_2^{(v)}, \dots, z_v^{(v)}), & \text{если } v>1. \end{cases} \quad (14.36)$$

Таким образом, распределение  $P_1$  является вырожденным и приписывает вероятность 1 состоянию вида (14.36) (если предыдущее состояние имело вид (14.35)) и вероятность 0 любому множеству состояний, не содержащему (14.36). Считается, что в рассматриваемый момент  $t^*$  выходной сигнал не выдается.

Рассматривается случай поступления входного сигнала  $(1, \theta)$  в момент  $t^{**}$ . Пусть при этом состояние агрегата было  $z(t^{**}) = (v, z^{(v)})$ , где  $v \geq 0$ . Физически поступление рассматриваемого входного сигнала означает приход требования, обладающего предельным временем ожидания  $\theta$ , в систему обслуживания. Берется два случая:  $v=0$  и  $v>0$ .

В первом из них требование поступает в пустую систему, а во втором – в занятую обслуживанием. При  $v=0$  состояние  $z(t^{**}+0)$  должно отражать тот факт, что поступившее требование сразу принято к обслуживанию и ему случайным образом назначено время обслуживания (с распределением  $B$ ), т.е.

$$z(t^{**}+0) = (1, \zeta), \quad (14.37)$$

где  $\zeta$  – случайная величина, имеющая распределение  $B(x)$ . При  $v>0$  состояние  $z(t^{**}+0)$  должно отражать тот факт, что требование будет принято к обслуживанию тогда и только тогда, когда его предельное время ожидания  $\theta$  превосходит реальное (т.е.  $\theta > \sum_{i=1}^v z_i^{(v)}$ ), и в случае, если оно принято, ему

назначается случайное время обслуживания с распределением  $B(x)$ .

$$z(t^{**}+0) = \begin{cases} z(t^{**}) = (v, z^{(v)}), & \text{если } \theta \leq \sum_{i=1}^v z_i^{(v)} \\ (v+1, z_1^{(v)}, \dots, z_v^{(v)}, \zeta), & \text{если } \theta > \sum_{i=1}^v z_i^{(v)}, \end{cases} \quad (14.38)$$

где  $\zeta(x)$  – случайная величина с распределением  $B(x)$ .

Соотношения (14.37) и ((14.38)) конструктивно задают распределение  $P_2$ .

Считается, что в момент  $t^{**}$  выдается входной сигнал, фиксирующий имеющуюся длину очереди, время ожидания и факт принятия или непринятия поступающего требования. В соответствие с этим предполагается, что  $y=(\lambda, y^{(\lambda)})$ , где  $\lambda=(\lambda_1, \lambda_2)$ ,  $\lambda_1$  – число требований, находящихся в системе в момент  $t^{**}$ .  $\lambda_2=0$  или 1, если поступающее требование не принимается или принимается соответственно к обслуживанию,  $\|\lambda\|=\lambda_2$ ,  $y^{(\lambda)}$  – время ожидания принятым требованиям начала обслуживания.

В данном случае  $\lambda$  представляет собой вектор размерности два с целочисленными компонентами. Из этого следует, что имеют место зависимости:

$$\lambda_1=v;$$

$$\lambda_2= \begin{cases} 0, & \text{если } \theta \leq \sum_{i=1}^v z_i^{(v)} \\ 1, & \text{в противном случае} \end{cases} ;$$

$$y^{(\lambda)} = \sum_{i=1}^v z_i^{(v)} \quad (\text{координата определяется лишь при } \lambda_2=1).$$

## Глава 15. Неформализуемые этапы системного анализа

### 15.1. Разнородные знания и системный анализ

Системный анализ возник в ответ на требования практики, поставившей нас перед необходимостью изучать и проектировать сложные системы, управлять ими в условиях неполноты информации, ограниченности ресурсов, дефицита времени. До настоящего времени продолжаются споры, можно ли системный анализ считать наукой, искусством или «технологическим ремеслом». Особенно остро дискутируются приложения системного анализа к проблемам, связанным с «социотехническими», «социальными» системами, т.е. системами, в которых решающую роль играют люди. При решении таких проблем существенными оказываются не только вопросы построения и использования моделей, не только эвристические поиски решения слабо структурированных, не полностью формализуемых задач, но и чисто психологические аспекты человеческих взаимоотношений, что еще более «удаляет» системный анализ от «чистых наук» типа физики и математики.

Споры о «степени научности» системного анализа вызваны рядом причин. Во-первых, довольно часто недооценивается работа, связанная с формулировкой задач. Многие полагают, что пока не построены формальные модели, «настоящая» работа еще и не начиналась, а выражение «хорошо поставить задачу значит наполовину ее решить» расценивают как шутку. В системном анализе акцентируется внимание на трудностях формулировок задач, на способах преодоления этих трудностей.

Во-вторых, преодоление сложности, природа которой связана с неполной формализуемостью, требует систематического применения неформальных знаний и методов. Это образно описывает Митрофф. Сознательно упрощая классификацию знаний, он разделяет их на два основных типа формализованные («академические») и неформализованные («жителей-

ские)), а также рассматривает всего два уровня развитости («высокие» и «низкие») для каждого из этих типов знаний.

Системный анализ намеренно объединяет теорию и практику, здравый смысл и абстрактную формализацию.

В-третьих, современный системный анализ уже не является эмпирическим собранием философских установок, полезных советов и рецептов, снабженных арсеналом вспомогательных математических и технических средств, с привлечением знаний из любых предметных наук, которые имеют отношение к рассматриваемой проблеме. Все это объединено в систему, организованную в соответствии с единой идеей. Такой идеей является диалектика. Эту мысль в разной форме выражали многие советские и зарубежные авторы.

Итак, можно дать следующее определение: *системный анализ* – есть прикладная диалектика. Материалистическая диалектика является методом познания, обеспечивающим согласование системности знаний и системности мира на любом уровне абстракции. Системный анализ в его современном понимании реализует диалектический метод при рассмотрении прикладных задач. Сила и эффективность прикладной диалектики наиболее ярко проявляются при анализе действительно сложных задач, что и наблюдается в практике системного анализа.

*Подведем итог. При исследовании систем приходится ставить и решать как хорошо формализованные в математических терминах задачи, так и «слабо структурированные» задачи, выражаемые на естественном языке и решаемые эвристическими средствами. Однако более важно то, что главное достижение системного анализа состоит в разработке методов перехода от неформальных задач к формальным, от моделей типа «черного ящика» к моделям типа «белого ящика». Большая часть этих методов имеет неформализуемый (в математическом смысле) характер, но они достаточно конкретны и пригодны для практическо-*

*го использования и могут называться не только «искусством» или «ремеслом» но и технологией. Рассмотрению таких этапов системного анализа и посвящена данная глава.*

## **15.2. Некоторые подходы к построению теории систем**

Многие ученые пытались использовать накопленные знания по системам различной природы и построить для них общую теорию систем. К наиболее известным относятся А.А. Богданов, М.И. Сетров, Н. Винер, А.В. Берталанфи, В.Н. Садовский, Ю.А. Урманцев. В настоящее время наиболее глубоко проработанной является общая теория систем известного ученого, профессора Ю.А. Урманцева. Однако построенные общие теории нельзя считать достаточно удачными, прежде всего с прикладной точки зрения. В частности, теория Ю.А. Урманцева достаточно сложна в применении.

Одна из объективных причин неудач в попытках построить практически значимую теорию систем – это методологическая проблема: не хватает выразительных средств (понятий, языка) для представления широкого спектра общих знаний о самых разнообразных системах, независимо от их природы. Дело здесь – в разнообразии как систем, так и свойств, знания о которых приходится выражать. Сегодня используются и развиваются различные методологические подходы к построению общей теории систем, отличающиеся как по способам выражения общих знаний, так и по способам применения.

Первый, или традиционный, подход к построению теории систем или к организации общих знаний о системах разной природы – это **построение обобщенных математических описаний систем (моделей)**, которые отвлекаются от природы конкретных систем и их классов, позволяя выделить их общность. Общность систем различного рода особенно бросается в глаза тогда, когда они могут быть описаны с помощью одинаковых математи-

ческих выражений, например, систем дифференциальных уравнений. Слабость подхода, основанного на общности математического описания разных по природе систем, заключается в том, что не все системы поддаются достаточно глубокой формализации, отражающей разнообразные существенные свойства этих систем.

Второй подход к построению общей теории систем, не связанный с единой формой математического описания систем, состоит в **определении аналогии между системами различной природы**. При этом характерными типами такой аналогии являются изоморфизм и гомоморфизм.

Третий способ построения общей теории систем опирается на использование **общесистемных закономерностей**, типичных для многих систем различной природы. Эти закономерности могут иметь не количественный, а качественный характер; они могут характеризовать не все системы, а какие-то типы систем.

Названные подходы различаются в том, какими средствами описываются (выражаются) и используются знания о системах разной природы.

В традиционном первом подходе строится общая теория, выраженная в общих терминах, единых для разнородных систем, и она опирается на математическое обоснование. Это обоснование и служит гарантией применения общих знаний к конкретным системам и их классам - при условии, что установлена адекватность применения общих знаний (теории) к частным объектам и классам объектов.

В подходе, основанном на общесистемных закономерностях, также имеются общие знания о системах разной природы, выраженные в единых понятиях. Но эти знания нередко имеют качественный характер, имеют вид эмпирических (установленных из опыта) закономерностей, которые отражают типичные черты многих систем. Такие закономерности позволяют предвидеть (хотя и не гарантируют) свойства конкретных систем.

В подходе, основанном на аналогиях, напротив, общих знаний в обычном смысле, знаний обо всех или многих системах нет. Но есть методические средства, механизмы, позволяющие прогнозировать свойства неизученных систем путем переноса знаний о других типах систем. К таким механизмам, которые позволяют прогнозировать, а в некоторых случаях и гарантировать свойства неизученных систем, относятся аналогии и их частные случаи - изоморфизм и гомоморфизм. При этом выявляются однотипные системообразующие отношения элементов системы в физических, биологических, социальных и других объектах и явлениях.

Ниже делается акцент на новых методологических подходах к организации и накоплению знаний, к их переносу на новые объекты, процессы и явления. Эти подходы в значительной мере альтернативны по отношению к традиционному математическому подходу, как по способам выражения знаний, так и по способам их применения, больше опираются на творчество и интуицию. Они могут служить эффективным дополнением математическому подходу там, где возможности его использования ограничены или же подходящие математические средства еще не созданы.

### **15.3. Объективные общие системные закономерности как средство управления и переноса знаний**

Многие технические, организационные, экологические, социальные и экономические объекты, в том числе крупномасштабные, по своим характеристикам и признакам могут рассматриваться как системы. Наблюдения показывают, что их функционирование подчиняется системным законам и закономерностям, действующим в природе и обществе. Обнаруживается ряд закономерностей, которые имеют универсальный, общесистемный характер.



Наличие универсальных, или общих системных (общесистемных) закономерностей, свойственных многим системам, независимо от их природы, позволяет выявлять наши неправильные действия и ошибки при управлении сложными системами, а также позволяет перенести знания и методы управления из одних, более хорошо изученных предметных областей, например, технической или экологической, в другие, менее изученные области, каковыми являются, например, социальные, экономические и межнациональные отношения. Знание системных закономерностей или законов может существенно помочь изобретателям и аналитикам в творческом поиске необходимых и допустимых решений.

Для того, чтобы управленческие действия были эффективными, необходимо опираться на объективные законы и закономерности как природы, так и общества; разумно управлять – это значит действовать в соответствии с этими системными закономерностями. Если внешнее управление действует вопреки этим закономерностям, то можем получить отрицательный эффект, что часто и наблюдается в нашей жизни. Игнорирование общесистемных закономерностей может привести к неустойчивости, разрушениям и развалу. Плановый и систематический учет указанных закономерностей позволяет заранее оценить конкретные возможности систем и выявить, что можно и что нельзя делать, что целесообразно и что рискованно, что можно изобрести, а что сомнительно. Эти закономерности позволяют заранее предположить, в каких направлениях может происходить развитие сложных систем, а в каких - нет, какие казусы могут возникнуть в развитии систем, на каких задачах должны быть сосредоточены творческие усилия изобретателя.

Действие закономерностей во многом аналогично действию общесистемных законов. Различие состоит в том, что закономерности не столь категоричны, как законы. Закон предопределяет, гарантирует определенное развитие событий в новых неизученных ситуациях, а закономерность

делает это развитие правдоподобным; закон исключает какие-то ситуации, которые ему противоречат, делает какие-то решения людей и затраты их усилий бессмысленными, а закономерность делает их сомнительными, предупреждает о неоправданных рисках.

Общесистемные закономерности позволяют нащупать научные подходы к анализу и решению управленческих задач в сложных слабоструктурированных и плохоформализуемых задачах различной природы, например определить наиболее эффективный момент или фазу инвестирования производства при минимальном инвестиционном вливании по сравнению с другими фазами. Для этого необходимо научиться распознавать в сложных слабоструктурированных объектах системы и применять к ним закономерности.

В этом разделе изложены некоторые объективные универсальные, или общесистемные закономерности, учет которых позволяет оценивать адекватность действий и выявлять ошибки при управлении сложными техническими, организационными, экономическими, экологическими системами, межнациональными и межрелигиозными отношениями.

### **15.3.1. Закономерность возрастания и убывания энтропии или негэнтропии в системе**

Вначале кратко рассмотрим некоторые простейшие и важнейшие особенности энтропии систем. Энтропия служит количественной мерой беспорядка в системе и определяется числом допустимых состояний системы. Такое утверждение в точности соответствует определению  $\mathcal{E} = \ln S$ , и означает, что энтропия есть натуральный логарифм числа допустимых состояний системы  $S$ . Чем больше у системы число допустимых состояний  $S$ , тем больше энтропия. Так как логарифм - число безразмерное, то и эн-

тропия является безразмерной величиной. Если система может находиться только в единственном допустимом состоянии  $S = 1$ , тогда  $\mathcal{E} = \ln 1 = 0$ .

Рассмотрим две изолированные замкнутые системы, не находящиеся в контакте между собой. Если у первой системы число допустимых состояний равно  $S_1$ , а у второй  $S_2$ , тогда объединенная система, состоящая из этих двух изолированных систем, будет иметь  $S_1 \cdot S_2$  допустимых состояний и энтропия объединенной системы будет равняться

$$\mathcal{E}_{\Sigma} = \ln(S_1 \cdot S_2) = \ln S_1 + \ln S_2 = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2$$

Из этого следует, что полная энтропия двух изолированных (неконтактирующих) систем равна сумме энтропии отдельных систем. Это свойство аддитивности энтропии.

**Любая изолированная система стремится достичь ситуации, отвечающей наибольшему беспорядку, т.е. ситуации с максимальным значением энтропии.** Можно привести большое число иллюстрирующих его примеров. Например, рассмотрим живое существо или любой другой биологический организм. Оно также состоит из простых атомов (углерода, водорода, кислорода, азота), но эти атомы не образуют случайных смесей, а собраны в систему с исключительно высокой степенью организации. Действительно, прежде всего, атомы объединены в органические молекулы (около 20 различных типов аминокислот). Затем эти органические молекулы используются в качестве строительных блоков, которые будучи соединены в строгой последовательности, образуют различные типы больших молекул, называемых макромолекулами, из которых образуются различные белки. Предположим теперь, что наше существо помещено в ящик и полностью изолировано. Тогда высокая степень организации не сможет сохраниться. В соответствии с принципом возрастания энтропии наше существо не выживет и его упорядоченная организация сложных молекул, в конце концов, распадется на неупорядоченную смесь простых органических молекул.

Таким образом, энтропия любой изолированной (закрытой, неконтактирующей) системы с подавляющей вероятностью будет возрастать (или, в крайнем случае, оставаться постоянной), что означает  $\Delta\mathcal{E} \geq 0$ .

Пусть для любой изолированной системы абсолютно точно известно, что ее энтропия наиболее вероятно будет со временем возрастать или, в крайнем случае, останется постоянной. Используем этот факт для другой большой или объединенной изолированной системы, которая, со своей стороны, состоит из двух неизолированных (открытых или контактирующих между собой) систем  $A_1$  и  $A_2$ . Получим, что энтропия объединенной, или большой, изолированной системы  $A_3$ , состоящей из неизолированных (открытых) систем (подсистем)  $A_1$  и  $A_2$ , также будет возрастать или, в крайнем случае, оставаться постоянной и поэтому  $\Delta\mathcal{E}_3 \geq 0$ , но  $\mathcal{E}_3 = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2$ , где  $\mathcal{E}_3$  - энтропия объединенной (большой) изолированной системы, а  $\mathcal{E}_1$  и  $\mathcal{E}_2$  энтропия неизолированных (контактирующих) систем  $A_1$  и  $A_2$  соответственно. Утверждение о возрастании энтропии применительно к объединенной системе  $A_3$  позволяет написать:  $\Delta\mathcal{E}_3 = \Delta\mathcal{E}_1 + \Delta\mathcal{E}_2 \geq 0$ .

Выполнение этого условия совсем не означает, что энтропия обеих систем  $A_1$  и  $A_2$  должны возрастать, т.е.  $\Delta\mathcal{E}_1 \geq 0$ ,  $\Delta\mathcal{E}_2 \geq 0$ . Вполне возможно, что энтропия одной из открытых систем, например  $A_1$ , будет не возрастать, а наоборот, уменьшаться ( $\Delta\mathcal{E}_1 \leq 0$ ), тогда как энтропия другой открытой системы  $A_2$  будет возрастать ( $\Delta\mathcal{E}_2 \geq 0$ ) так, чтобы скомпенсировать уменьшение энтропии ( $\Delta\mathcal{E}_1$ ) системы  $A_1$ , и выполнить основное вышеуказанное условие для объединенной изолированной системы. При этом степень беспорядка и, следовательно, энтропия в интересующей нас открытой системе  $A_1$  уменьшится за счет увеличения приблизительно настолько же или чуть больше беспорядка и энтропии в другой открытой системе  $A_2$ , которой может оказаться, например, окружающая среда. Такой компенсационный

принцип изменения энтропии иногда называют «**принципом компенсации энтропии**».

**Принцип компенсации энтропии** гласит, что энтропия неизолированной системы может быть уменьшена только в том случае, если система взаимодействует с другой или другими системами таким образом, что в процессе взаимодействия происходит компенсирующее увеличение энтропии.

Отметим, что во избежание ошибок в будущих системах, кроме материальных и энергетических балансов, необходимо рассчитать  $\mathcal{E}$  и  $\mathcal{H}\mathcal{E}$  системы, обеспечить **баланс** между  $\mathcal{E}$  и  $\mathcal{H}\mathcal{E}$  системы и по данным баланса определить рациональные пути развития системы.

Каждая система в мире обязательно обладает как  $\mathcal{E}$ , так и  $\mathcal{H}\mathcal{E}$ .  $\mathcal{H}\mathcal{E}$  как связанная информация в системе нейтрализует равную ей часть  $\mathcal{E}$  и характеризует упорядоченность системы.

В любых системах одновременно (параллельно) протекают два противоположных процесса: изменение  $\mathcal{E}$  и  $\mathcal{H}\mathcal{E}$ . Энтропия, в общем, является показателем беспорядка, хаоса, неопределенности, разнообразия в системе. Негэнтропию часто ошибочно представляют как энтропию с отрицательным знаком. Это может вызвать большие недоразумения. Негэнтропия действительно измеряется в тех же единицах как энтропия (например, в битах), направление ее действительно противоположно энтропии и увеличение  $\mathcal{H}\mathcal{E}$  вызывает такое же уменьшение  $\mathcal{E}$ . Несмотря на это,  $\mathcal{H}\mathcal{E}$  и  $\mathcal{E}$  изменяются в системе по разным самостоятельным закономерностям, и их абсолютные значения мало зависят друг от друга. Негэнтропия является мерой порядка, упорядоченности внутренней структуры, связанной информации. При увеличении энтропии увеличивается размерность систем или количество независимых факторов - переменных. Одновременно с ростом  $\mathcal{E}$  увеличивается и неопределенность, неупорядоченность, беспо-

рядок системы. Для того, чтобы уменьшить неопределенность и неупорядоченность, необходимо ввести в систему НЭ или информацию.

Одним из важнейших общесистемных законов (или закономерностей) является закон возрастания и убывания энтропии или негэнтропии в системе. Он определяет состояние организованности и дезорганизованности систем различной природы, предопределяет рациональное поведение людей в сложных искусственных системах, экономике, политике, международных отношениях и других реальных сложных системах.

При прогрессивном развитии системы в ней больше и быстрее увеличивается негэнтропия и, следовательно, энтропия быстрее уменьшается, чем растет, а при деструктивном развитии, наоборот, рост энтропии превышает рост негэнтропии (т.е. превышает повышение энтропии). Если суммарное увеличение энтропии в некоторой системе будет превышать суммарное увеличение негэнтропии (суммарное снижение энтропии), то в системе будет преобладать процесс разрушения, деструкции, движение в сторону неупорядоченности, неопределенности и хаоса, что в конечном итоге приведет к разрушению и гибели данной системы. В любой системе негэнтропия как связанная информация в системе, нейтрализует (компенсирует) часть энтропии системы и дает системе упорядоченность.

Указанная закономерность действует в любой системе, в которой приемлемо использование понятия вероятности событий, с которыми связано определение самой энтропии. В повседневной жизни реальное воздействие энтропийных закономерностей проявляется в том, что увеличивается им соответствующая вероятность событий, эти события происходят чаще других. Поэтому на практике надо выявлять зоны повышенной вероятности возникновения процессов разрушения и деградации, чтобы постараться искусственно уменьшить энтропии в этих зонах.

Окружающий нас мир состоит из систем с различными степенями открытости ( $a$ ), находящимися в диапазоне от нулевой ( $a = 0$ ) до максимальной

( $a = a_{\max}$ ). Степень открытости системы ( $a$ ) определяется интенсивностью ее связи со средой; как правило, чем ближе данная система к естественной, тем сильнее она связана с внешней средой. В полностью закрытой (замкнутой) системе ( $a = 0$ ), в которой отсутствует какой-либо взаимообмен энергией, информацией, веществом с другой системой или окружающей средой, с течением времени происходит увеличение энтропии (беспорядка, хаоса) системы. Поэтому в полностью закрытой системе действует только закон возрастания энтропии (Э) или убывания негэнтропии (НЭ), и все процессы в системе сопровождаются увеличением ее Э и снижением НЭ. В полностью открытой системе ( $a = a_{\max}$ ) осуществляется максимальный взаимообмен энергией, информацией, веществом с окружающей средой или с другими системами, и если окружающая среда или другие системы неагрессивны, то происходит рост упорядоченности, организованности, или самоорганизация системы. В полностью открытой системе, если окружающая среда неагрессивна, действует только закон убывания энтропии и возрастание НЭ, и все процессы в системе сопровождаются уменьшением Э и ростом негэнтропии и, следовательно, ростом организованности системы. Однако в реальной жизни отсутствуют полностью закрытые и полностью открытые системы, а существуют системы не полностью закрытые и не полностью открытые, то есть открытые только в определенной степени ( $0 < a < a_{\max}$ ), поэтому они в определенной степени взаимодействуют с окружающей средой и другими системами по обмену энергией, информацией или веществом, и **все процессы в них сопровождаются как ростом, так и уменьшением энтропии системы, то есть действуют оба закона, как возрастания, так и убывания энтропии, и в противоборстве между собой и компенсации друг друга, определяется окончательный знак изменения суммарной энтропии в сторону либо возрастания (знак плюс), либо убывания (знак минус)**. При этом получаем либо более высокую организованность или самоорганизацию системы, либо ее

дезорганизацию. Когда действия обоих противоборствующих знаков в системе полностью компенсируются, возникает критический уровень организации системы ( $\mathcal{E}_k$ ) или критическая точка стабильного, но хрупкого равновесия между порядком и беспорядком, между организованностью и дезорганизованностью в природе и в обществе. На самом критическом уровне организации открытой системы процессы дезорганизации и организации (упорядочения) друг друга уравнивают, и в системе возникает стабильность. Интенсивность (величина) воздействия извне на систему определяет степень открытости системы ( $a$ ), а это, со своей стороны, однозначно определяет значение критического уровня организации систем  $\mathcal{E}_k = f(a)$ , где  $\mathcal{E}_k = 0$  при  $a = a_{max}$ , и  $\mathcal{E}_k = \mathcal{E}_{max}$  при  $a = 0$ . В случае уменьшения степени открытости ( $a$ ) системы положительное приращение энтропии, а в случае увеличения степени открытости отрицательное приращение энтропии сходятся в некоторой критической точке ( $\mathcal{E}_k$ ) организации системы, соответствующей максимальному для данной степени открытости системы уровню ее организации или дезорганизации. Если конкретная система изначально организована ( $\mathcal{E}_0$ ) выше критического уровня организации (точки равновесия системы), то в ней определяющими, или преобладающими, являются процессы дезорганизации, в функционировании системы преобладает закон возрастания энтропии и поэтому система дезорганизуется до критического уровня  $\mathcal{E}_k$  или точки энтропийного равновесия. Если же начальное состояние организации системы  $\mathcal{E}_0$  ниже критического уровня, т.е. критический уровень или равновесие не достигнуты, то преобладают процессы упорядочения и, следовательно, в системе будет преобладать закон убывания энтропии, или роста неэнтропии, в результате которого система организуется до критического уровня  $\mathcal{E}_k$  или точки энтропийного равновесия. В процессе изменения энтропии в системе из-за ее инерционности, возникают энтропийные колебания относительно критического уровня, показанные на рис. 1.1. Энтропийные колебания в системе относительно



энтропийного равновесия или критического уровня организации системы, представляют собой чередование периодов преобладающего упорядочения и преобладающего разрушения. Сравнив энтропии различных состояний системы, мы можем определить, организуется (самоорганизуется) или же дезорганизуется система. Если за счет повышения интенсивности внешнего воздействия на систему увеличивается степень открытости системы, то в ней возникает условие для внутренних организаций или самоорганизации, интересующего нас объекта, но не до бесконечности, а лишь до некоторого нового значения критического уровня  $\Theta_k$ , соответствующего новой, повышенной степени открытости ( $a$ ) системы. Уменьшение степени открытости за счет уменьшения интенсивности внешнего воздействия создает условие для дезорганизации, но не до бесконечности, а до некоторого нового критического уровня, соответствующего новой пониженной степени открытости системы. Каждой степени открытости ( $a$ ) системы соответствует свое критическое значение уровня организации системы ( $\Theta_k$ ) (рис. 1.1). С изменением интенсивности внешнего воздействия ( $F_1, F_2, F_3, \dots$ ) на систему изменяются и степень открытости ( $a_1, a_2, a_3, \dots$ ) системы и, соответственно, точки энтропийного равновесия или критические уровни организации системы ( $\Theta_{1k}, \Theta_{2k}, \Theta_{3k}, \dots$ ). При этом вокруг каждого критического уровня организованности системы ( $\Theta_{1k}, \Theta_{2k}, \Theta_{3k}, \dots$ ) за счет инерционности системы возникают энтропийные колебания, который могут затухать, и система становится стабильной, если скорость процессов самоорганизации или дезорганизации в системе уменьшается с течением времени (рис. 10). Если же происходит не затухание, а рост амплитуды энтропийных колебаний в отношении критического уровня организованности, то это приближает систему к кризисному состоянию, предшествующему превращению ее в новую систему с новым критическим уровнем организации. Например, в природе и обществе растет вероятность появления тяжелых стихийных

бедствий, разрушения экосистем, увеличения остроты и частоты несчастных случаев, конфликтов и болезней.

Открытость системы ( $a$ ) - в общем случае это такой важнейший параметр системы, который обобщает в себе величину всех изменений, происходящих в системе в процессе взаимодействия ее с окружающей средой путем восприятия информации, энергии или вещества.

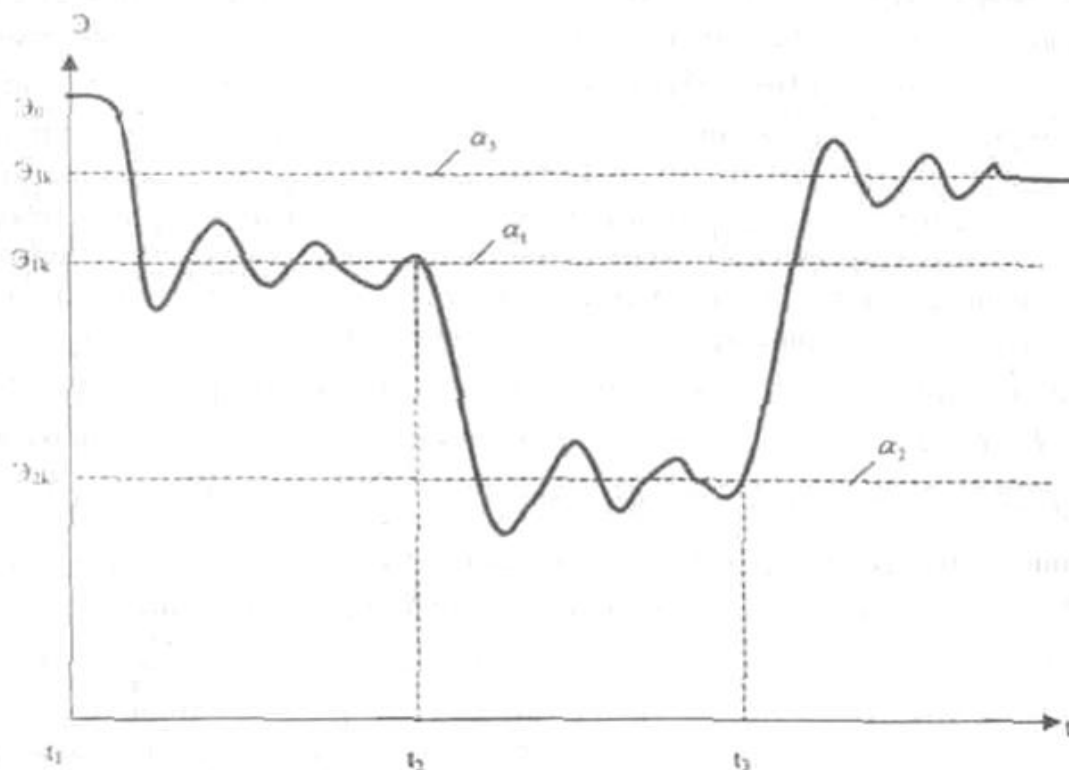


Рис. 10. Изменение энтропии системы ( $\mathcal{E}_0$ ,  $\mathcal{E}_{1k}$ ,  $\mathcal{E}_{2k}$ ,  $\mathcal{E}_{3k}$ ) при изменении ее степени открытости ( $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ ).  $\mathcal{E}_{1k}$ ,  $\mathcal{E}_{2k}$ ,  $\mathcal{E}_{3k}$  - значения энтропии критических уровней организации, соответствующих разным степеням открытости системы ( $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ ). Увеличение степени открытости в момент  $t_2$  приводит к организации системы до нового критического уровня  $\mathcal{E}_{2k}$ , а ее уменьшение в момент  $t_3$  - к дезорганизации системы до нового критического уровня  $\mathcal{E}_{3k}$ .

Множество практических примеров вокруг нас демонстрируют эту важную общесистемную закономерность возрастания и убывания энтропии или негэнтропии в системе.

Примером может служить медицинская прививка ослабленными вирусами, которая заставляет организм человека самоорганизовываться до

такого критического уровня организации системы, который достаточен, чтобы оказать сопротивление опасному вирусу. Однако спустя какое-то время критический уровень изменится, энтропийное равновесие нарушится, организм несколько дезорганизуется и станет опять способным к заболеванию.

Другой наглядный пример действия указанной закономерности иллюстрирует ослабление и усиление на человека режима физической нагрузки. Хорошую физическую форму и процесс самоорганизации внутри организма можно поддерживать, если заниматься разными силовыми упражнениями и подвергать себя внешним воздействиям. Деграция нашего организма возникает при отказе от физической нагрузки или резкого ее снижения.

При изменении степени открытости системы (а) происходит уменьшение энтропии и наведение порядка по одним параметрам (показателям, фактам) системы и, наоборот, увеличение энтропии по другим параметрам увеличивает беспорядок системы. Так, увеличение степени открытости и прозрачности межгосударственных границ и снижение таможенных и других ограничений улучшает экономические, трудовые, культурные, торговые и др. показатели по этим параметрам, уменьшается энтропия и, следовательно, беспорядок в системе, а по другим показателям, например наплыв беженцев, перемещение наркоторговцев, террористов и т.п., энтропия и беспорядок увеличиваются.

Когда мы хотим повысить упорядоченность системы и для этого путем внешнего возмущения увеличиваем степень ее открытости, необходимо следить за скоростью этого процесса открытия, так как она не должна превышать скорости передачи воздействия в данной системе. Для человеческого общества нельзя превышать скорость перемещения информационных и материальных ресурсов. Для воздуха такой ограничивающей скоростью является скорость звука. Если интенсивность внешнего воздей-

ствия на систему будет превышать некоторый порог, то система разрушится, не успев организовать или самоорганизоваться в достаточной степени. Человеческая деятельность сопровождается, как повышением (по одним параметрам), так и уменьшением (по другим параметрам) энтропии окружающей среды.

Так, например, старение человека, старение окружающих нас предметов обусловлено законом роста энтропии. Даже появление в семье ребенка увеличивает беспорядок или энтропию. Или при строительных работах вокруг появляется захламленность и беспорядок. Этот беспорядок надо устранять. Противостоять возникающему беспорядку (росту энтропии) тем труднее, чем сложнее дело, которое человек выполняет. С одной стороны, человек по определенным показателям (параметрам) увеличивает организованность и снижает энтропию, когда из кучи кирпича выстраивает дом, вытачивает нужную деталь, строит заводы, но, с другой стороны, при этом появляются механизмы, которые сжигают топливо, загрязняют окружающую среду, и по этим показателям (параметрам) увеличивают энтропию окружающей среды и т.п. В итоге, в результате созидательной человеческой деятельности энтропия уменьшается, так как в целом растет организованность системы: строятся города, дороги, площадки, заводы, выпускаются автомобили (которые побочно создают загрязнение среды, парниковые эффекты, озоновые дыры и другие негативные повышающие энтропию факты).

В мирное время созидательная человеческая деятельность приводит к росту организованности системы, система постепенно приближается к критическому уровню  $\mathcal{E}_k$  и по инерции даже переходит его, чем нарушает стабильное равновесие или энтропийный баланс в природе. По-видимому, именно для восстановления энтропийного баланса или равновесия между порядком и беспорядком в природе возникают природные стихийные бедствия, техногенные катастрофы и даже войны. Если признать, что наряду с

общеизвестными законами, как, например закон сохранения и превращения энергии, закон всемирного тяготения, законы термодинамики, роста энтропии в замкнутой системе и др., существуют объективные общесистемные закономерности, такие как сохранение динамического равновесия между упорядоченностью и беспорядком (энтропийное равновесие или баланс) в природе и обществе и др. системные закономерности, которые повсеместно наблюдаются в мире, тогда можно найти объяснение возникновению стихийных бедствий, войн, экологических катастроф, эпидемий, возникновению конфликтов в семье и в человеческом обществе, а также многим интересным фактам и явлениям, наблюдаемым в природе и обществе, но не имеющим сколько-нибудь убедительного объяснения.

Необходимо отметить следующее, уменьшение энтропии в одной системе приводит к увеличению приблизительно на столько же или чуть больше энтропии в другой системе или в окружающей среде, чтобы сохранить общее энтропийное равновесие. В общем случае, по законам термодинамики, снижение энтропии в одной части системы обязательно сопровождается повышением энтропии в другой части системы или окружающей среде. Успехи развития одной группы людей (даже внутри одной семьи), или одного слоя общества, или одного государства и, следовательно, снижение их энтропии возможно только при одновременном повышении энтропии в других группах людей, в других слоях общества, в других государствах, или окружающей среде, соответственно.

Поэтому невозможны всеобщее благоденствие и всемирный прогресс, если не научимся отводить всю лишнюю энтропию (отходы) во внешнюю среду, или в мировое пространство (космос). Для обеспечения прогресса любую человеческую деятельность надо направлять таким образом, чтобы добиваться более высоких темпов снижения энтропии по сравнению с темпами ее роста и из альтернативных способов ведения процессов выбрать такой, который обеспечит преобладание роста негэнтропии

над ростом энтропии, и научиться эффективно отводить эту излишнюю энтропию от системы в окружающую среду, а еще лучше во всемирное пространство.

Еще раз повторим, что когда человек преобразует окружающую среду, строя города, заводы, дамбы, искусственные водоемы и т.п., то этот процесс сопровождается как уменьшением энтропии по одним показателям, так и увеличением его по другим показателям. Однозначно ответить на вопрос, каково при этом итоговое изменение энтропии, больше или меньше нуля, достаточно трудно из-за того, что система «человечество-природа» не полностью закрытая. Предполагается, что в открытой системе в результате созидательной человеческой деятельности итоговым изменением энтропии является ее уменьшение.

Так, например, известно, что если люди уходят из города, то город разрушается, и энтропия города увеличивается, из чего делается вывод, что именно человек поддерживает в городе уровень энтропии меньше, чем в окружающей среде. И таких фактов много. Конечно, такого рода соображения еще не есть точное доказательство, однако они указывают на разумность и правдоподобность выдвигаемого предложения.

Величина взаимодействия открытой системы с внешней средой определяет значение порога допустимого уменьшения энтропии системы, или критического уровня организации системы, при достижении которого процессы самоорганизации и дезорганизации в системе уравниваются друг друга.

Если реальное значение энтропии системы превышает критический уровень, то в системе преобладающими окажутся процессы дезорганизации (усиление стихийных бедствий, или разрушение экосистем, разрушение озонового слоя или возникновение новых болезней, войн и т.п.), а если критический уровень еще не достигнут, то будут преобладать процессы самоорганизации.

Очевидно, что все это пока гипотеза, научное предположение, однако все аргументы говорят в пользу этого, и множество фактов и практических параметров иллюстрируют справедливость вышеуказанной закономерности.

### **15.3.2. Закономерность зависимости потенциала системы от характера взаимодействия ее структурных элементов или степени организованности системы**

Не вызывает никакого сомнения, что технический, экономический, политический, военный, научный, интеллектуальный, образовательный и другие потенциалы сложной системы существенно зависят от того, насколько целенаправленно, взаимосогласованно и рационально взаимодействуют элементы между собой и настолько рационально организована сама система, ее структура (экономическая, политическая, военная, образовательная, научная и т.п.). Помимо указанных выше энтропийных процессов и закона возрастания и убывания энтропии в системе, существует еще одна важная общесистемная закономерность, определяющая зависимость потенциала системы от степени ее организованности и характера взаимодействия структурных элементов в системе. Из этой объективной закономерности следует, что если взаимодействия структурных элементов ( $a_1, a_2, \dots, a_n$ ) системы  $A$  целенаправленны и взаимосогласованы, то систему следует считать хорошо организованной. Чем выше целенаправленность и взаимосогласованность действий элементов, тем выше организованность системы. В организованной системе потенциал  $P$  системы  $A$  многократно превышает сумму потенциалов всех составляющих элементов (подсистем):  $P(A) > [P(a_1) + P(a_2) + \dots + P(a_n)]$ .

Что касается энтропии системы  $A$ , то она меньше, чем сумма энтропии входящих элементов из-за четкого и согласованного взаимодействия

элементов системы. Если при интеграции (объединении) энтропия системы уменьшается, это означает, что появляется новое интегративное свойство системы, которое до объединения элементов не существовало.

Если степень организованности, например, страны как системы высока и взаимодействие ее субъектов носит взаимосогласованный и целенаправленный характер, то потенциал (экономический, научный, военный и т.п.) страны много больше суммы потенциалов ее субъектов, а энтропия меньше суммы энтропии ее субъектов. Аналогично этому, в хорошо организованном коллективе, кафедре, лаборатории, отделе, институте при обсуждении новых проблем рождаются новые знания, новые решения проблемы, которых не было до этого у отдельных членов коллектива, поэтому знание коллектива (интеллектуальный потенциал) больше, чем сумма знаний отдельных членов коллектива. Знание порождает новое знание, и согласование взаимодействий членов коллектива во много раз повышает результативность каждого из них.

В нейтральных системах, где степень организованности не обеспечивает эффективного и согласованного взаимодействия элементов, потенциал системы равен сумме потенциалов составных элементов  $P(A)=[P(a_1) + P(a_2) + \dots + P(a_n)]$ , и энтропия системы равна сумме энтропий составных элементов.

В плохо организованных или неорганизованных системах, когда взаимодействие элементов носит случайный или хаотический характер, потенциал системы равен потенциалу ее отдельного усредненного элемента  $P(A) > [P(a_1) + P(a_2) + \dots + P(a_n)] / n$ . В плохо организованной системе, когда взаимодействие элементов носит антагонистический характер и каждый элемент системы противодействует всем остальным, тогда потенциал системы меньше потенциала самого слабого элемента систем, а энтропия системы, наоборот, больше энтропии самого слабого элемента системы:  $P(A) < \min[P(a_1), P(a_2), \dots, P(a_n)]$ . Из сказанного следует, что бывают плохо ор-



ганизованные системы, или псевдосистемы, которые, в строго научном понимании», не удовлетворяют системным требованиям и, в первую очередь, интегративным свойствам. У таких «плохих» систем, или псевдосистем, потенциал системы равен или меньше суммы потенциалов составных элементов и даже одного элемента.

### **15.3.3. Фоновый принцип и фоновая общесистемная закономерность**

Фоновый принцип и фоновая закономерность позволяют при определенных условиях по изменению фона обнаружить наличие объектов. Он носит универсальный, всеобщий характер и широко применим в технике, биологии, медицине, метеорологии, социально-экономической среде, лингвистике и т.п. Фон является атрибутом системы, в качестве фона системы часто выступают стабильные процессы, обеспечивающие функционирование законов композиции отношений систем. Фоновый принцип обнаружения исследуемого объекта состоит в том, что фоновые излучения функционально связаны с объектом и поэтому, исследуя только сигналы фона или его состояние, можно судить об объекте.

Фоновая закономерность заключается в функциональной зависимости изменения сигнала фона или состояний фона от воздействия объекта. При использовании фонового принципа или фоновой закономерности в наиболее общем случае систему представляют как состоящую из объекта, фона, наблюдателя и их отношений. Возьмем упрощенный пример воздействия объекта на фон. В качестве фона может служить обычная семья, состоящая из родителей и детей, которые в процессе длительного взаимного притирания образуют некоторое привычное состояние семьи, или фона, со своим характерным спектром. Если в эту семью войдет чужой человек, например, в качестве зятя или невестки, представляющих исследуемый объект, то это внесет в устоявшуюся семью некоторое возмущение и по изме-

нению состояния (спектра) семьи (фона) наблюдатель может судить об объекте. То есть вместо исследования самого объекта, когда это сложно, можно исследовать изменение состояния (спектр) фона из-за воздействия объекта, и по этому изменению судить об объекте.

Получение сигнала о подвижном объекте при помощи фонового принципа изменяет и дополняет традиционные представления о сигнале и шуме. Традиционно считается, что сигнал можно получить, исследуя непосредственно объект, а излучение от фона является шумом, помехой, и его подавляют. Согласно фоновому принципу, фоновое излучение функционально связано с объектом и поэтому, исследуя функциональную зависимость сигнала фона (шума) от объекта, можно судить об объекте. Это особенно важно, когда излучение, рассеянное фоном (традиционный шум, помеха), много больше, чем традиционный полезный сигнал.

Важно отметить, что при использовании фонового принципа отражающая способность цели никак не влияет на эффективность обнаружения цели, так как обнаружение происходит в результате когерентного приема фонового излучения, а излучение, отраженное от цели, обнуляется в результате временного усреднения.

Предлагаемый новый метод обнаружения, основанный на научном открытии, сделанном в Институте проблем управления РАН, является эффективным также при полном отсутствии контраста между подвижным объектом и фоном. Использование фонового принципа приводит к переоценке ценностей в области обнаружения подвижных объектов и изменяет смысл понятий «мешающий фон», «фоно-целевая обстановка», «сигнал-помеха» и т.п., дополняет эффект Доплера и является как бы обратной стороной медали, поэтому два метода необходимо использовать параллельно.

Практическая реализация фонового принципа осуществлена на экспериментальных установках и макетных образцах в области обнаружения обычно «невидимых» радарными средствами подвижных объектов, изготовленных по

технологии «Стелс», в охранных устройствах, в биологии, медицине (анализ крови), психологии, а также может быть успешно осуществлена в социально-экономических средах, экологии, при прогнозе чрезвычайных ситуаций и т.п.

Фоновый принцип также используют в военном деле. В криминалистике его применимость связана с поиском следов, присущих искомому объекту. Здесь фоновый принцип реализуется при появлении некоторых изменений в этом фоне. Эти изменения носят статический характер, например, отпечатки пальцев, наличие вновь появившихся предметов типа улик и т.д.

Интенсивность зондирующего сигнала, отраженного от фона, может меняться по закону непрерывной или дискретной функции. Это позволяет обнаруживать как движущиеся, так и уже неподвижные на момент обнаружения объекты. Для обнаружения вновь появившегося на фоне, но уже неподвижного объекта необходимо производить запоминание (через некоторые промежутки времени) интенсивности суммарного уровня сигнала, отраженного от фона, и попарное их вычитание друг из друга. При наличии разности, превышающей некоторый выбранный пороговый уровень шума, считается, что появился новый неподвижный объект за тот интервал времени, через который производят запоминание фона. Для освобождения памяти компьютера необходимо одновременно с запоминанием нового фона производить стирание самого первого фона и так далее. Разность уровней фона, не превышающая пороговое значение, означает, что за время между экспозициями фона новый неподвижный объект не появился.

Фоновый принцип широко применим в технике, биологии, медицине, метеорологии, социологии, лингвистике и семиотике, в рекламе и т.п. При этом диапазон подвижных и неподвижных объектов настолько широк, что даже трудно представить. По размерам этот диапазон простирается от микро до макрообъектов. Так, от обнаружения подвижных прозрачных

микрообъектов в медицине (лейкоцитов или сперматозоидов) можно перейти к обнаружению прозрачных воздушных и океанских течений вокруг Земли. При этом надо только изменить выбор длины волны зондирующего сигнала и поменять условия когерентного приема различных длин волн таких разных объектов.

В социологии фоновый принцип применяют при выборочном опросе населения, при определении рейтинга политических деятелей. При этом нужную часть выборки могут оставить, а нежелательную просто умолчать. Величина фона в социологии зависит от количества сторонников того или иного лидера. Иногда производят замену истинного фона на ложный и таким образом навязывают нужного лидера. Фоновый объем мнений о том или ином лидере составляет их рейтинг. Мнение, в свою очередь, зависит от времени, затрачиваемого рекламу на того или иного лидера. Рекламное же время стоит дорого, особенно телевизионное.

В биологии и медицине фоновый принцип пока не нашел широкого применения. Однако значимость его от этого не уменьшается. Многие процессы в организме могут быть поняты с позиций фонового принципа, это может оказать существенное влияние на формирование логики научных исследований в этих областях знания, и, соответственно, дать практический выход.

#### **15.3.4. Закономерность четырехэтапного эволюционного развития системы на каждом витке эволюционной спирали**

Любая реальная система, существующая в природе и обществе, состоит из структурных элементов. Для общественной системы структурными элементами являются люди или группа людей, для системы атома - элементарные частицы. Элементы объединяются в противоположности, которые стремятся уравновесить друг друга. В простой системе содер-

жится две противоположности. Так, в обществе как системе одной противоположностью можно рассматривать руководителей, облеченных властью, а другой - подчиненных, не обладающих этой властью, в семье - мужа и жену с детьми, в организме - органы, выполняющие внешние и внутренние функции, в солнечной системе - горячее, массивное солнце и холодные, маленькие планеты, в атоме - положительно заряженные протоны и отрицательно заряженные электроны и т.п. Из двух противоположностей системы, как правило (за редким исключением), в течение некоторого времени одна из противоположностей всегда «сильнее», более «энергонасыщенна», чем другая. Так, в обществе руководители сильнее и более энергонасыщенны, чем их подчиненные; в семье, как правило, мужчина крупнее, сильнее и более энергонасыщен, чем женщина; в солнечной системе массивная и горячая звезда более сильна и энергонасыщена, чем все маленькие и холодные планеты; в атоме, как и в системе, протоны сильнее и энергонасыщеннее электронов. Таким образом, как правило, каждая простая система состоит из «сильной» и «слабой» противоположности. Схематически такое соотношение двух противоположностей по силе или по энергонасыщенности условно изображено на рис. 11.

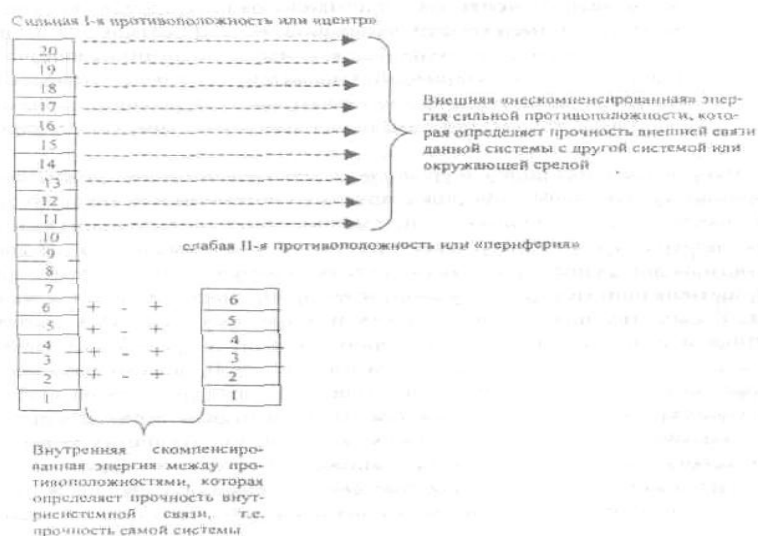


Рис. 11. Структура простой системы, когда «Центр» (1-я противоположность) сильнее или более энергонасыщен, чем «периферия» (2-я противоположность) условно соответствует состоянию «диктатуры».

Как видно из рис. 11 прочность самой системы определяется прочностью связей между сильными и слабыми противоположностями, или антагонистами, а это определяется величиной внутренней «скомпенсированности» и энергией системы. Прочность внешней связи системы со средой или другими системами определяется внешней «нескомпенсированной» энергией сильной противоположности.

Из рис. 11 видно, что одна часть энергии у «сильной» или «энергонасыщенной» противоположности компенсируется (нейтрализуется, поглощается) другой, более слабой противоположностью, а другая часть энергии, исходящей от «сильной» противоположности остается, свободной, не поглощенной (не скомпенсированной, не нейтрализованной) другой слабой противоположностью. Первая часть энергии используется внутри данной системы на взаимодействие между противоположностями, на их взаимоуравновешивание и, тем самым, на поддержание стабильности самой системы; эта энергия называется внутренней энергией системы.

Вторая часть излишней энергии, не задействованная внутри системы, используется для взаимодействия с другими системами или внешней средой, обеспечивает устойчивость системы более высокого уровня (надсистемы) и поэтому эта часть называется внешней энергией системы. В зависимости от внутреннего состояния системы и окружающих систему условий соотношение между внутренней и внешней энергией системы меняется. Господствующая (более сильная и энергонасыщенная) в системе противоположность определяет величину внешней энергии взаимодействия с другими системами. Господство той или иной противоположности придает системе соответствующий «заряд». Например, в атоме кислотных (галогенных) металлов господство положительных зарядов - протонов - вызывает в нем кислотные свойства, а в атоме щелочных металлов господство отрицательных зарядов электронной оболочки вызывает в нем ще-

лочные свойства. В любой системе две основные противоположности можно условно назвать «центром» и «периферией». Так, в человеческом обществе как системе центром можно считать власть, а периферией население страны. В Российской Федерации центр представляет Кремль и Белый дом, а периферию - регионы страны. В семье как системе центром можно считать отца семейства, а периферией - жену и детей. В организме человека центром можно считать мозг, а периферией - тело. В живой клетке роль центра выполняет ядро клетки, а роль периферии - цитоплазма с оболочкой. В атоме центр - это ядро с положительным зарядом, а периферия - электронная оболочка с отрицательным зарядом. Одна, весьма важная функция центра состоит в объединении и управлении периферией, а наиболее важной функцией периферии является обеспечение существования центра.

Эволюция любой системы связана с изменением соотношений между центром и периферией как противоположностей. Поэтому **характер изменения энергетики центра и периферии** позволяет изучить механизм эволюции простых систем. Любая система в период эволюционного развития проходит четыре этапа, в ходе которых поочередно превалирует энергонасыщенность, организованность и, следовательно, господство то центра, то периферии, т.е. то одной, то другой противоположности, вследствие чего противоположности то отдают, то принимают энергию.

У сильной или господствующей противоположности (центр или периферия) часть энергии остается свободной (внешней), не погашенной (не нейтрализованной, некомпенсированной) взаимодействием с более слабой (не господствующей) противоположностью, благодаря чему эта система при помощи внешней энергии господствующей противоположности может взаимодействовать с другими системами или окружающей средой. Такие взаимодействия можно наблюдать в любых, кроме нейтральных, системах живой и неживой природы.

Если господствующей в системе является не центр, а периферия (вторая противоположность) (рис. 12), тогда энергонасыщенности центра не хватает для равноценного противостояния и компенсации энергии периферии, поэтому энергетический излишек вынуждает периферию искать какой-либо дополнительный центр на стороне (вне системы), у другой системы для компенсации.

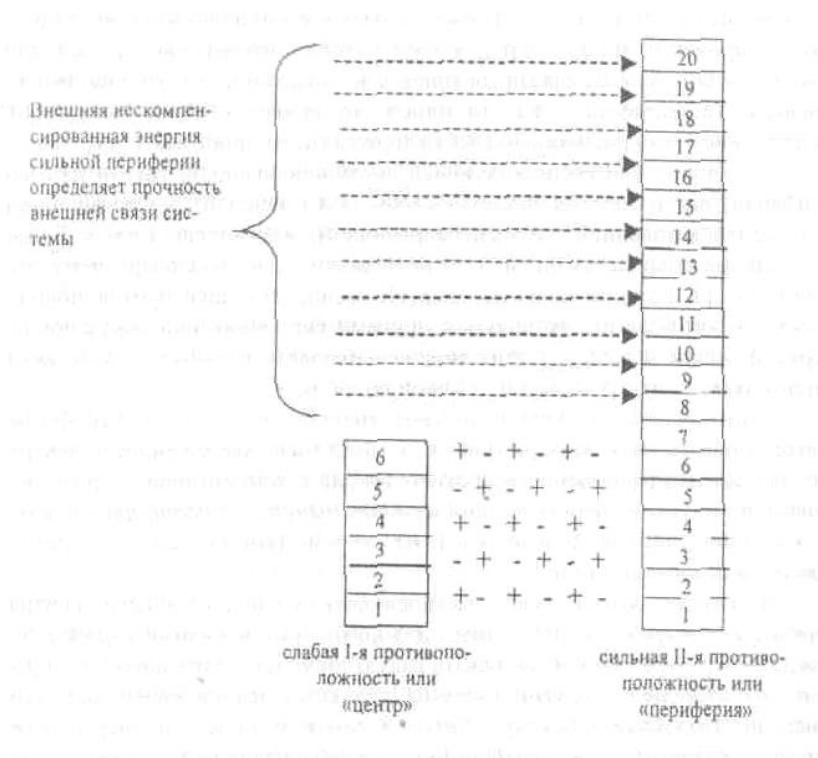


Рис. 12. Структура системы, когда «центр» (I-я противоположность) слабее или менее энергонасыщен, чем «периферия» (II-я противоположность) (состояние или этап «анархии»)

В эволюционном процессе смены господства одной противоположности над другой, отдающей энергию на принимающую, можно выделить следующие четыре основных этапа (состояния): 1) предпочтительное развитие центра до его господства; 2) предпочтительное развитие периферии; 3) слабое взаимодействие центра и периферии и 4) одинаковое развитие центра и периферии и сильное их взаимодействие. Эти четыре этапа или состояния в эволюционном развитии систем наблюдаются во всех природных и общественных системах. В природе наглядно прослеживается четы-



рехэтапный виток эволюционной спирали. Четырехэтапная очередность спирального развития систем, событий, явлений или общественного строя, условно названными за похожесть политическими терминами диктатура, демократия, анархия, революция, хорошо прослеживаются и в таблице Д.И. Менделеева, и в истории России и других стран, а также во всеобщей истории развития человечества и во всех природных системах.

В любой системе суммарное количество энергии внутреннего и внешнего взаимодействия (сумма внутренней и внешней энергии системы) остается постоянной (неизменной). В ходе четырехэтапной эволюции энергия взаимодействия может только «переливаться» из одной противоположности в другую, из центра в периферию и обратно, но не уходит из системы или поступать в нее. Она постоянно циркулирует в системе.

Первый этап, или первое состояние, системы, условно называемый диктатурой, соответствует состоянию, когда центр системы по сравнению с периферией значительно мощнее и энергонасыщеннее (рис. 11) и поэтому диктует периферии свои условия и принимает основные решения. Центр организует взаимосвязь элементов системы таким образом, чтобы деятельность каждого из них в сумме охватывала весь спектр взаимодействия системы с окружающей ее средой. В диктаторской системе все элементы системы подчинены одной общесистемной цели - благополучию всей системы, а не отдельных элементов. Центр, компенсируя энергию элементов периферии, полностью подчиняет их себе. Имея максимально развитый центр (как это было, например, в СССР) диктаторская система содержит в себе минимальные остатки анархии, которая как оппозиция продолжает свою борьбу с центром.

Второй этап, или второе состояние системы, условно называемый анархией, характеризуется в противовес диктатуре слабым центром и сильной, энергонасыщенной периферией (рис. 12). Такая система нацелена на максимальное удовлетворение личных потребностей периферии, а не

центра, и поэтому периферия жестко диктует центру, а центр в силу своей слабости подчиняется. Элементы периферии приобретают большую самостоятельность и свободу и крайне слабо связаны с центром, находясь на грани отрыва от него. Для полного их отделения от центра необходима небольшая добавка энергии. Это анархия, но не хаос. В случае анархии элементы системы крайне слабо, но все-таки связаны между собой, а в случае хаоса не имеют между собой связи, и каждый элемент существует полностью самостоятельно, независимо. В анархической системе центр выполняет требования периферии, существуя исключительно для себя, и не может подчинить себя общей для системы цели. Анархическая система означает, что элементы системы получают неограниченную свободу действий, и каждый реализует свои собственные интересы без общей цели. На анархическую систему похожа нынешняя система СНГ, где мало общих целей, слабый центр, и отдельные страны, имея большую свободу, защищают свои собственные интересы, а связь между ними для выполнения общей цели слабая. На примере семьи этому соответствует состояние системы, когда отец семейства постарел, ослаб и потерял контрольно-управляющие функции, а дети выросли, окрепли и каждый тянется к своему независимому состоянию и интересам. Собственные интересы детей превалируют над общими интересами семьи, поэтому внутренние семейные связи ослабевают и дети делают то, что они считают важным и не слушаются слабого центра (старого и немощного отца семейства).

Третье состояние системы, условно называемое демократией, характеризуется тем, что как одна противоположность - диктатура, так и другая противоположность - анархия, одинаково слабы. Только около 50% всей их энергии тратится на взаимодействие друг с другом, а другие 50% энергии (рис. 13) расходуются на взаимодействие с окружающей средой. В состоянии демократии противоположности во взаимной борьбе уравниваются. Однако это равенство крайне неустойчивое и шаткое. В услови-

ях демократической системы свобода людей наполовину ограничена в интересах государства.

Четвертый этап, системы условно называемый революцией, характеризуется не борьбой противоположностей, а подстраиванием их друг под друга. Революция нераздельно объединяет в одной системе диктатуру (сильный центр) и анархию (сильная периферия). Как диктатура (центр), так и анархия (сильная периферия), обе одинаково сильные, одинаково энергонасыщенные противоположности (рис. 14).

Здесь полнейшая внутренняя взаимозависимость обеих противоположностей и нет зависимости от внешних обстоятельств, так как отсутствует у системы внешняя энергия. Революционный этап системы обладает свойством нейтрального равновесия, как это имеют химические элементы неон и углерод, которые ни с какими другими элементами не объединяются. Закономерность изменения отношений между элементами системы (диктатура, демократия, анархия, революция) по витку эволюционной спирали является универсальной для всех систем, т.е. общесистемной закономерностью.

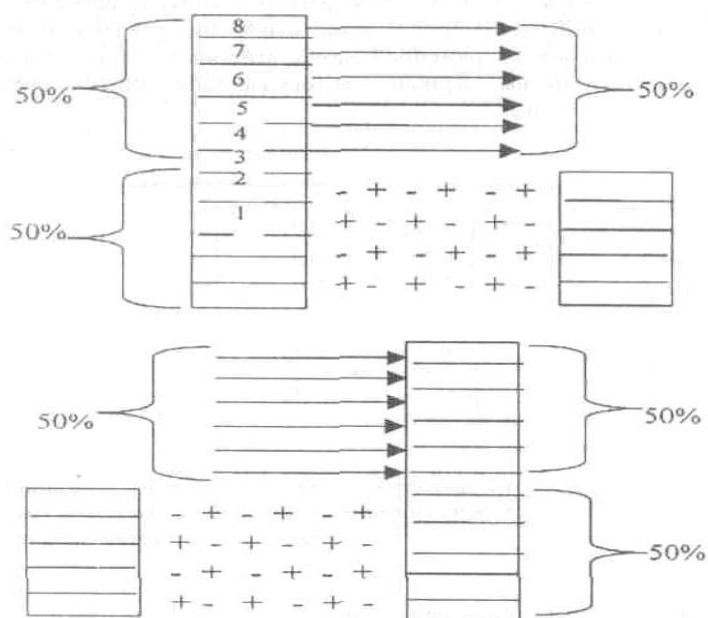


Рис. 13. Состояние или этап демократии, когда 50% всей энергии центра или периферии уходит на внутреннее взаимодействие, а другие 50% - на внешнее взаимодействие

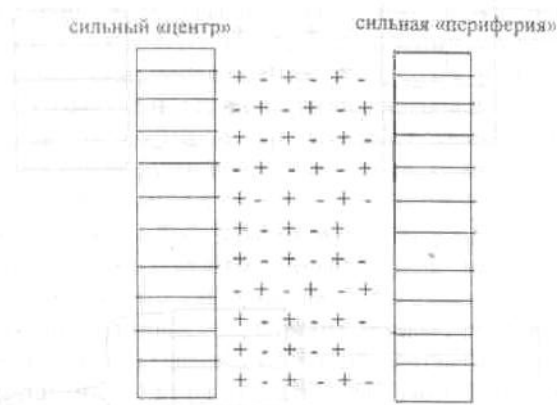


Рис. 14. Структура простых систем в состоянии революции, когда обе противоположности одинаково сильны, энергонасыщены и уравнивают друг друга (состояние или этап революции)

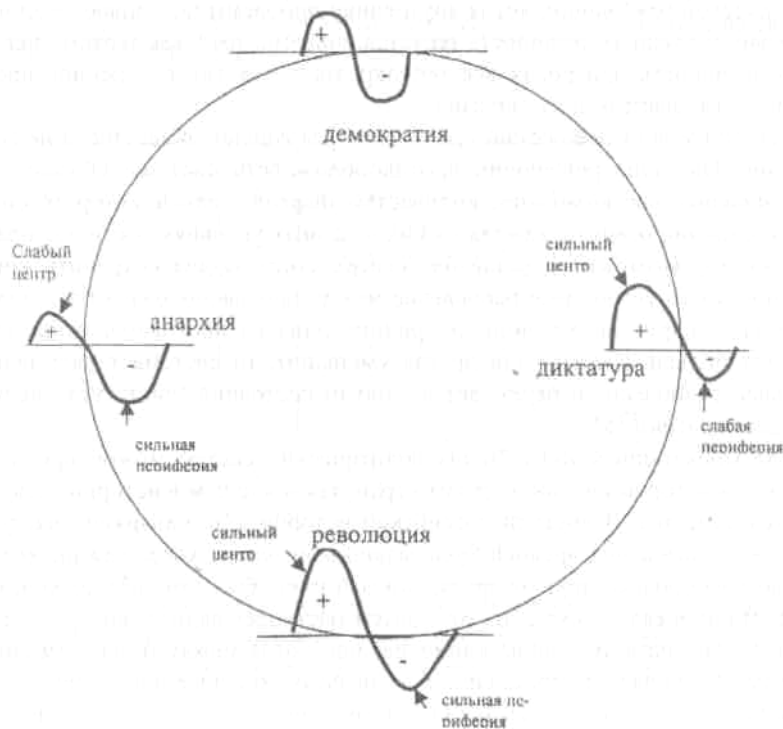


Рис. 15. Развитие волны по витку эволюционной спирали

Четырехэтапный цикл смены политических систем можно проследить как в истории России и других стран, так и в целом в истории развития человечества. На рис. 15 показан схематично в виде волн четырехэтапный цикл по одному витку эволюционной спирали.

Закономерности эволюции справедливы для всех развивающихся систем без исключения (атом, молекула, живая клетка, человек, человеческое общество, вселенная, химические элементы из таблицы Д.И. Менделеева).

леева и др.) и являются универсальными. Именно закономерности изменения являются тем общим знаменателем, который уравнивает между собой любые системы, независимо от размеров, энергонасыщенности, уровня и степени организации.

### **15.3.5. Закономерность объединения («склеивания») противоположностей (антагонистов) и их распада («расщепления»)**

Эта системная закономерность является отражением диалектического закона единства и борьбы противоположностей. Известно, что в любой гомеостатической модели системы всегда присутствуют минимум две противоположности (антагонисты), которые в автономном режиме функционирования могут быть как устойчивыми, так и неустойчивыми. Однако эти противоположности, будучи объединенными, или «склеенными» в единую систему в соответствии с определенными условиями, образуют объединенную устойчивую систему в виде балансного гомеостата.

Поскольку сложные системы различной природы, как правило, являются гомеостатическими, то при формировании такой системы важнейшую роль играют гомеостатические принципы управления. Механизмы гомеостатического управления, обеспечивающие нахождение жизненно важных параметров системы в допустимых пределах, лежат в основе как живых, так и неживых систем, как природных, так и общественных систем.

Объединение противоположностей может создать устойчивую гомеостатическую систему. Так, социально-политический гомеостат США, полученный «склеиванием» противоположностей в виде демократической и республиканской партий США, обеспечивает высокую устойчивость политической системы США, так как обе партии постоянно уравнивают друг друга. Аналогично «склеивание» противоположностей лейбористской и консервативной партий в Англии уравнивает друг друга и создает

высокую устойчивость политической системы. США и бывший СССР можно рассматривать как своего рода мировых антагонистов в военной области, которые образовывали компенсационный гомеостат с определенным паритетом, т.е. устойчивую и уравновешенную систему.

В устойчивой рыночной системе гомеостат образует «склеивание» противоположностей типа спрос и предложение, которые должны сбалансировать друг друга. В экономической системе противоположностями, находящимися в динамическом взаимодействии, являются производство и потребление, и для обеспечения гомеостатизма или жизнеспособности системы эти противоположности (противоположные процессы) должны находиться в динамическом равновесии.

Как видим, сами противоположности могут иметь самую разную природу - противоположные заряды, химические вещества, противоположные партии, спрос и предложение на рынке, производство и потребление в экономике и т.п., а их соответствующее «склеивание» обеспечивает устойчивую систему.

Распад или «расщепление» противоположностей (антагонистов) приводит либо к «разлетанию» антагонистов, либо нарушается приоритет между ними и они не могут уравновешивать друг друга, либо поврежденный антагонист становится сателлитом другого.

Гомеостатическая система «расщепляется» естественно или искусственно путем разрыва связей, обеспечивающих «склеивание» антагонистов, в результате чего антагонисты перестают взаимодействовать между собой, а если они были еще и неустойчивыми, то антагонисты разлетаются в разные стороны и система распадается. Их разлетание происходит в соответствии с приобретенной ими энергией, которая пропорциональна квадрату внутреннего противоречия и энергетической постоянной деградации. Эта энергия может негативно воздействовать как на окружающую среду, так и на самих бывших антагонистов. Под действием «энергии расщепления»,

поглощаемой бывшими антагонистами, может произойти их вторичное «расщепление», если их устойчивость меньше полученной ими «энергии деградации». Лавинообразные процессы «расщепления» явно проявляют себя при развитии государства, гибели живых организмов и т.п. Энергия деградации создает агрессивную среду, которая в случае развала государства вызывает дальнейший развал выделившихся образований, если их устойчивость недостаточна. В обществе внешне это проявляется через сепаратистское движение, как, например, в Югославии, в Абхазии, Карабахе, Молдавии, Чечне.

Для моделирования процессов в живой и неживой природе используется гомеостат первого, второго и более высоких порядков, построенный на принципе взаимодействия двух и более антагонистических структур управления и фундаментальной закономерности «склеивания» антагонистов в устойчивые системы и их «расщепления». Так, например, «склеивание» противоположностей типа «вируса» и «антивируса» (антитела) обеспечивает достаточно устойчивую нейтральную систему, или компенсационный гомеостат. Аналогично компенсационный гомеостат образует противоположности типа производство и предложение, а в рыночной системе - противоположности: спрос и предложение.

### **15.3.6. Колебательный и циклический характер функционирования систем, приводящий к поочередному объединению и распаду систем**

Следующей важной общесистемной закономерностью, во многом определяющей развитие государств, регионов, межнациональные и межрелигиозные отношения и т.п., является колебательный и циклический характеры функционирования различных систем. Многие предметы, материя, процессы, явления, события реального мира как системы находятся в колебательном состоянии определенными циклами.

Такой закономерный колебательный и циклический процесс системы с непрерывным переходом из одного состояния в другое, противоположное и обратно происходит непрерывно. Применение закономерности колебательного и циклического функционирования различных систем приводит к оригинальным решениям той или иной проблемы различных общественных и природных систем и позволяет в достаточной степени предсказать развитие сложных общественных и природных систем типа государства, региона, города, межнациональных отношений и т.п.

Если применять указанный колебательный и циклический подходы к анализу истории развития государств, регионов, политических процессов, то необходимо, прежде всего, определить два противоположных состояния, между которыми и происходит колебание, повторяющееся через более или менее одинаковые промежутки времени. Если анализировать историю развития государств, то увидим два противоположных процесса: первый - стремление объединиться в одно целое государство с единым управлением и второй - стремление к дроблению на отдельные регионы, ослаблению экономической и военной мощи государства, централизованной власти и тяга к самостоятельности, к самоопределению, сепаратизму. Указанным двум противоположным процессам соответствуют и два процесса становления власти. С одной стороны, это установление возможно жесткой централизации и территориальной целостности, а с другой - распад, децентрализация и усиление процесса размежевания. Анализ процессов, направленных на выявление их колебательного и циклического характера, показывает, что объединение (склеивание) отдельных государств во многом способствуют глобализация экономики и появление транснациональных корпораций, требующих свободного перемещения сырья, товаров, продукции, людей и отсутствия жестких государственных границ. Процесс объединения государств и создание единой валюты, законодательства, правительства, парламента и т.д. уже происходит в Европе. Однако следу-



ет отметить, что объединение государств как правило не приводит к исчезновению существующих наций, национальностей и их языков.

Особо большой интерес представляет цикличность в эволюции образования структурных уровней материи.

Все процессы окружающей нас действительности имеют ритмические пульсации или циклическую закономерность, выражающиеся в периодической повторяемости событий типа кризисов, взлетов, падений и т.п. Циклическая закономерность природы или периодическая повторяемость процессов, явлений хорошо известны в восточной философской школе и широко используются в повседневной жизни. О том, что мир развивается циклически, и определенные процессы и явления повторяются через определенные периоды времени, знали многие российские и европейские ученые. Цикличность солнечных явлений и их влияние на людей изучал Чижевский, периодичность экономических кризисов изучал Кондратьев (волны Кондратьева) и т.п. Наш соотечественник Л. Гумилев обнаружил периодичность и цикличность в развитии этнических процессов, а А. Чудаков и И. Чудакова обнаружили 11-ти тысячелетний цикл в историческом развитии человечества. Известно также много примеров в истории развития человечества и т.п. Грамотное использование результатов природных циклов могло бы существенно облегчить повседневную жизнь и помогло бы людям правильно планировать свою деятельность, исходя из знаний о событиях, произошедших в прошлом.

В книге Прангишвили приведены исследования колебания мощи (силы) российского государства в истории России более чем за 1200 лет и обнаружена строгая цикличность или повторяемость аналогичных состояний России. Для оценки состояния России взяты такие показатели как: целостность России, ее экономическое положение, военные успехи, внутренняя борьба за власть.

В более чем тысячелетней истории России наблюдаются поочередная смена, через определенные (равные) интервалы времени, состояния России и превращение ее из сильной и целостной в слабую и раздробленную и наоборот. Установлена четкая закономерность колебательного характера смены этих состояний.

Сильным считается российское государство в тех интервалах времени, в которых государство целостное, не раздроблено, экономическое положение крепкое, имеются военные успехи и население не желает изменить власть. Такое состояние государства в названо «вершиной» и представляет благополучный для государства интервал времени. Самые неблагоприятные интервалы времени, в которых государство раздроблено, наблюдается экономический упадок, военные поражения и население стремится изменить власть, условно названо «впадиной». Интервал времени, в котором наблюдается движение государства от «вершины» во «впадину» и обратно, называется спадами и победами.

В истории России обнаружено четыре повторяющихся цикла с продолжительностью каждого в 375 лет. В каждом из четырех циклов содержится точно четыре последовательных вершины, или периода, когда Россия сильная, целостная, четыре «впадины», или периода, когда Россия слабая, раздробленная, и четыре переходных периода «подъема» и «спада», когда Россия из слабого раздробленного государства переходит в разряд сильного объединенного государства и, наоборот, из сильного целостного переходит в разряд слабого и раздробленного.

На Рассмотрим четыре цикла истории России более чем за тысячелетие. Такое изображение наглядно показывает расположение сильных и слабых состояний внутри каждого цикла российского государства, чередующихся с четкой закономерностью. Как следует из графика, началом первого цикла является примерно 862 год н.э., а концом 1238 год, т.е. продолжительность цикла 375 лет. Началом второго цикла является 1238 год,

а концом 1613 год и продолжительность второго цикла опять 375 лет. Началом третьего цикла является 1613 год, а концом 1989 год и началом четвертого цикла 1989 год, а концом (через 375 лет) 2364 год.

В начале каждого цикла (862 г., 1238 г., 1613 г., 1989 г.) обязательно происходит сильное падение или катастрофа России. Первое известное сильное падение в России произошло около 862 года, когда началось безвластие и междоусобицы. Второе падение началось около 1238 года, когда произошло татаро-монгольское нашествие. Третье крупное падение России началось около 1613 года, после правления царя Василия Шуйского, а четвертое - в 1989 год (получен прибавлением к 1613 году 375 или 376 лет). Важно отметить, что эти крупные падения России происходят через ровно одинаковые промежутки времени (375-376 лет), что говорит о поразительно точной цикличности катастроф с погрешностью в один год.

В годы крупных падений, или катастроф, в начале циклов 862 г., 1238 г., 1613 г., 1989 г. происходили необычные явления в экономике, в социальных сферах и т.п. Так, можно считать, что в 1989 г. утрачиваются основополагающие принципы политической, экономической и военной деятельности государства, выработанные в СССР.

Мы живем в начале четвертого цикла, протекающего с 1989 года по 2364-65 год. С 862 года по 1989 год за три цикла Россия 12 раз объединялась в сильное целое государство и 12 раз распадалась на отдельные княжества и города, превращаясь в слабое раздробленное государство со слабой экономикой и слабой военной мощью. Если за основу формирования картины развития российского государства взять циклическую колебательную (пульсационную) закономерность, то можно с определенным допущением предсказать картину развития России в будущем четвертом цикле по данным результатов развития (усиления и ослабления России) в предыдущих трех циклах истории России.

В четвертом цикле должны наблюдаться также четыре сильных и четыре слабых состояния России. Четвертый цикл начался в 1989 г. с критического падения России. Первый подъем России должен наступить через 14-17-32 лет/года, то есть в 2003-2007-2021 годах, а достижение вершины государственности должно наступить через 76-90 лет с начала цикла, то есть в 2065-2079 годах. Далее Россия в четвертом цикле должна также пройти за 375 лет четыре периода взлета (усиления) и падения своей мощи, которые можно спрогнозировать по аналогии с предыдущими тремя циклами. Причем следует отметить, что в началах и концах 375-летних циклов обязательно происходит дробление России на мелкие части (княжества, области, города).

Прогнозирование будущих исторических процессов с высокой достоверностью вряд ли можно осуществить только на основе колебательной и циклической закономерности развития страны и наличие аналогичных периодов и состояний в предыдущих циклах. Однако использование интуитивной аналогии и перенос знаний помогают за счет конкретного наблюдения за историей определить закономерности функционирования общества в различных исторических периодах.

Колебательной, пульсационной и циклической закономерности подчиняется не только поочередная смена мощи или силы государств, общественных формаций, но и биологические, неорганические и другие природные и общественные системы. Это позволяет выявлять те стороны процесса, которые обнаруживаются путем аналогий, и дает возможность прогнозировать состояние будущего.

### **15.3.7. Закономерность «лестничного» характера развития систем**

В условиях отрицательного внешнего воздействия среды всякая природная система стремится сохранить свою устойчивость, чтобы не раз-

рушиться и не погибнуть. Эта устойчивость достигается за счет общесистемной закономерности «лестничного» характера эволюционного развития систем. Чем на более высокую ступень «лестницы» переходит система, тем более устойчивой она становится к внешним возмущениям. Поэтому каждая природная система постепенно стремится попасть на более высокую ступень лестницы. Когда определенная система исчерпает резерв своего развития, тогда на базе этой системы на следующей ступени образуется новая, более сложная система или надсистема, которая будет более устойчивой к внешним возмущениям. Затем эта новая система вновь исчерпает резерв своего развития, и на ее основе, на следующей ступени, сформируется следующая, новая, еще более сложная и более устойчивая система.

Пример наглядной демонстрации закона «лестничного» характера развития систем - это биологические и социальные системы. Известно, что отдельные атомы не устойчивы к внешним условиям и их развитие происходит путем их объединения в молекулы, что обеспечивает большую устойчивость к внешним условиям среды; развитие молекул заканчивается с появлением белков, и эстафета передается клеткам; далее происходит развитие клеток, на их основе образуется более устойчивая система в виде различных организмов, включая организм человека; развитие организма резко сокращается, когда на базе объединения людей формируется более устойчивая система в виде коллектива и общества; развитие общества опять происходит до определенного времени, пока за счет объединения не образуется еще более устойчивая к внешним возмущениям система в виде надобщества, которая находится на еще более высокой ступени «лестничного» развития. На уровне надобщества может оказаться также сверхцивилизация (или внеземная цивилизация), являющаяся более развитой и более энерговооруженной, чем сегодняшнее общество. Организм для общества выполняет ту же роль, что клетка для организма. Эволюционное развитие системы по закону «лестницы» имеет ускоряющийся, а может быть даже

экспоненциальный, характер, что означает, что каждая ступень лестницы более быстро создает условия для создания следующего этажа. Так, общество, которое более устойчиво к отрицательным внешним воздействиям, чем отдельный организм, заканчивает свое развитие и создание следующей системы за более короткое время, чем организм. Закономерности «лестничного» характера развития подчиняются не только природные биологические и социальные системы, но и экономические, и технические, или искусственные, системы. Поэтому с целью увеличения устойчивости различных систем к внешним возмущениям среды необходимо с помощью управления переводить систему на более высокую ступень «лестницы» за счет новых принципов построения технических систем или различного резервирования, создания более сложной иерархической структуры и т.п.

«Лестничный» характер развития технических систем наглядно можно продемонстрировать на примере истории развития кораблестроения. Так, первые корабли, приводимые в движение веслами, не могли устойчиво противостоять внешним возмущениям и не имели нужные характеристики, поэтому они постепенно были вытеснены парусно-гребными кораблями. С постепенным развитием парусов они стали чисто парусными. Затем с повышением устойчивости и других основных показателей кораблей произошел постепенный переход к более сложной системе - парусно-паровым кораблям. Темпы развития парусов постепенно замедлились, и с целью улучшения важнейших параметров произошел переход к чисто паровым кораблям.

Иногда закономерность «лестничного» характера развития систем рассматривается как закономерность (или закон) перехода в надсистему: исчерпав резервы развития, техническая система входит в качестве подсистемы в состав более сложной системы - надсистемы, и дальнейшее развитие идет уже на уровне надсистемы. При этом развитие исходной системы резко замедляется и эстафету перехватывает надсистема.

### **15.3.8. Закономерность системы, заключающаяся в стремлении сохранить равновесие за счет противодействия внешнему возмущению**

Принцип устойчивости гомеостатической системы или закономерность, выражающаяся в стремлении сохранить равновесие со средой, сформулировал А.Л. Ле-Шателье в следующем виде: «Если существующее равновесие системы подвергается внешнему воздействию, изменяющему какое-либо из условий равновесия, то в ней возникают процессы, направленные так, чтобы противодействовать этому изменению». То есть при внешнем возмущении, нарушающем условие равновесия, в системе развиваются противоположно действующие процессы, и до определенного уровня возмущения они нейтрализуют эффект внешнего воздействия.

Для наглядной иллюстрации этой закономерности рассмотрим простейшую систему: смесь из воды и льда в одном сосуде при 0 градусов Цельсия, т.е. при температуре замерзания и таяния. Если извне нагревать этот сосуд, то часть льда поглощает внешнюю тепловую энергию, переходит в воду, и тем самым противодействует повышению температуры и, следовательно, нагреванию. Пока не растает весь лёд, температура смеси сохраняется прежней (0 градусов C). Если вместо нагревания ту же смесь подвергнуть повышенному давлению, то часть льда, переходя опять-таки в воду, объем которой меньше, чем льда, тем самым противодействует повышению давления внутри смеси. Таким образом, росту температуры или давления в смеси лёд-вода противодействует таяние льда, и тем самым, несмотря на внешнее воздействие, сохраняется равновесие (или прежнее значение) как по температуре, так и по давлению. Аналогично этому, если в электрическом проводнике циркулирует постоянный ток, то всякая попытка изменения этого тока (увеличения или уменьшения) вызывает электромагнитную индукцию, которая направлена противоположно этому изменению, уменьшая его. Живые организмы как системы в обычных усло-

виях к внешним воздействиям относятся подобным же образом, стараясь сохранить равновесие. Так, например, если человеческое тело подвергать охлаждению, в нем немедленно начинают усиливаться окислительные и другие химические процессы, развивающие теплоту, чем сохраняется температурное равновесие в организме. Если нагревать человеческое тело извне, то повысится потоотделение с последующим испарением, поглощающим теплоту, и тем самым сохранится внутренняя температура тела и, следовательно, температурное равновесие, а вместе с ним и устойчивость системы.

Таким образом, принцип Ле-Шателье определяет механизм гомеостаза относительно саморегуляции в системе и направлен на удержание равновесного состояния системы. В электродинамике известное правило Ленца имеет тот же смысл, что и принцип Ле-Шателье. В самом деле, как было указано выше, «принцип Ла-Шателье гласит, что если на какой-либо системе, находящейся в состоянии устойчивого равновесия, производится внешнее воздействие, выводящее систему из равновесия, то равновесие смещается в том направлении, при котором эффект внешнего воздействия ослабляется». А правило Ленца гласит, что «индукционный ток в контуре имеет такое направление, что создаваемый им магнитный поток через поверхность, ограниченную контуром, уменьшает изменения магнитного поля, которые вызвали появление индукции тока».

В природе встречаются как уравновешенные, так и неуравновешенные системы. В неуравновешенных системах изменения могут идти одновременно в двух противоположных направлениях, и если из этих двух одно окажется более устойчивым, то и целое преобразовывается в эту сторону. Одна и та же система по отношению к одним и тем же внешним воздействиям оказывается уравновешенной, а по отношению к другим внешним воздействиям - неуравновешенной. Закономерность сохранения



равновесия системы со средой или неуравновешенности систем имеет большое практическое значение в жизни людей, животных, растений и т.п.

Одна и та же система может быть уравновешенной по отношению к одним своим моментам и неуравновешенной по отношению к другим. Так, человеческий организм является уравновешенным со средой в термическом отношении, когда на усиление нагревания тела происходит потовыделение и испарение, обуславливающее поглощение излишнего тепла. Этот процесс можно назвать процессом автоматического уравновешивания. Но одновременно с указанным автоматическим уравновешиванием человек начинает обмахиваться веером, а движение рук человека само по себе сопровождается переходом механической и химической энергии в тепловую, что ведет к еще большему нагреванию тканей тела. Отсюда ясно, что по отношению к нервно-мышечным движениям (обмахивание веером) организм представляет явно или скрытно неуравновешенную систему.

Отметим один важный момент, связанный с зависимостью величины амплитуды внешнего раздражителя системы с величиной внутреннего ощущения системы. Согласно закону Вебера-Фехнера по мере роста величины внешнего раздражителя величина внутреннего ощущения восприятия системы растет значительно медленнее, а именно пропорционально логарифму роста величины внешнего раздражителя.

Например, если воздействие на систему внешнего раздражителя увеличивается в геометрической прогрессии (1, 2, 4, 8, 16, 32, ...), то величина ощущения системой этого раздражителя будет расти с арифметической прогрессией (1, 2, 3, 4, 5, 6). Это может означать, что с ростом величины внешнего раздражителя еще быстрее растет сопротивление ему, так что до нервных центров энергия наиболее сильных раздражений доходит в меньшей степени, иначе эти центры с их тонкой чувствительностью быстро разрушились бы. Так, наше зрение по своей чувствительности может вос-

принимать слабый свет звезды 6-й величины и одновременно воспринимает раздражение от сверхяркого солнечного диска, в 10 раз превышающего яркость свечения звезды 6-й величины. Никакие глаза не выдержат такой огромный перепад или различие силы воздействия. Только слишком быстрый рост сопротивления росту воздействия позволяет глазу воспринимать как слабый свет от звезды, так и сверхяркий свет от диска солнца.

### **15.6.9. Закономерность «наиболее слабых мест»**

Важно найти связь между устойчивостью всей системы и устойчивостью всех ее отдельных составных частей (подсистем). Эта связь определяется следующим образом: во всякий момент устойчивость всей системы зависит от наименее сопротивляющихся входящих подсистем или наиболее слабых мест в системе. Эта закономерность попросту гласит, «где тонко, там и рвется». Структурная устойчивость (неразрушимость, приспособленность) системы (целого) определяется наименьшей его частичной устойчивостью, или устойчивостью наиболее слабой подсистемы. Там, где относительное сопротивление будет меньше необходимого, там произойдет разрушительный процесс. Так, например, холод вызывает разрушительный эффект в наименее защищенных частях тела, в тех, которые не покрыты одеждой (лицо, уши), и в тех, в которых слабее кровообращение (ноги). Поэтому легче всего отмораживаются уши и ноги, имеющие пониженное сопротивление. На этой же закономерности основывается обеспечение устойчивого состояния организации. Если руководитель правильно ведет управление организацией, но в одном важном вопросе ослабил внимание, то тем самым не смог обеспечить устойчивость организации. Эта закономерность определяет поведение военных и полицейских формирований, поведение конструкторов, судьбу человеческих организаций, финансовых систем и др.

Трудно проиллюстрировать роль этой закономерности в творчестве, музыке, в живописи, литературе. Но всякий автор литературного, музыкального произведения ищет слабые места для критики и укрепляет (улучшает) эти места, чтобы уменьшить «поражаемую поверхность» и увеличить общее сопротивление системы.

Всякая устойчивость и жизнеспособность относительна. Если в одной среде система устойчива, то в другой, более агрессивной, может оказаться неустойчивой.

### **15.3.10. Закономерность расхождения темпов жизненных функций элементов системы**

Многие системы развиваются, меняются во времени, например проходят жизненный цикл рождения, детства, зрелости, старения и смерти, но при этом их элементы обладают своим темпом жизненных функций (темпом выполнения своих функций). В таких системах одним из видов системобразующих отношений является согласованность темпов жизненных функций элементов. Без согласованности система может лишиться целостности, потерять способность выполнения своих функций. Для таких систем характерна закономерность расхождения или рассогласования темпов жизненных функций элементов.

В самом деле, многие системы имеют свой привычный ритм, нарушение которого порождает сигнал тревоги. Системное расхождение или рассогласование означает постепенное увеличение различия между составными элементами системы, их дифференциацию. Это означает, что части целого становятся различными. Со временем рассогласование элементов системы становится слишком большим и части целого становятся настолько различными, что начинают расходиться по их темпам жизни, по

силе относительного сопротивления среде, что ведет к дезорганизации всей системы, а затем и ее смерти.

Рассмотрим упрощенный пример. Пусть часовщик сделал несколько механических часов, очень точных и одновременно пустил их в ход. По закону расхождения темпов функционирования, они будут неодинаково отклоняться от истинного времени. Одни будут спешить, другие отставать и притом в разной мере. Чтобы все эти часы составили одну целую систему, их стрелки можно связать между собой нитями. Тогда они неизбежно рано или поздно остановят друг друга, и система закончит свое существование. Аналогично этому, произошло расхождение темпов функционирования элементов системы, что привело к дезорганизации всей системы, ее остановке или гибели.

Аналогично этому, во многих системах различной природы рано или поздно происходит расхождение темпов жизненных функций элементов системы, что шаг за шагом дезорганизует всю систему и вызывает ее смерть. Так, болезнь тоже может представлять собой расхождение темпов жизненных функций отдельных элементов организма. Например, почки служат для выведения из организма определенных ядов, образующихся при жизнедеятельности органов и тканей тела, т.е. продуктов их непрерывного распада. Достаточно, чтобы деятельность почки отставала по темпу жизненных функций, и организм хронически отравляется. Несогласованность темпов жизненных функций различных элементов тела (почки, печень, сердце, легкие и т.п.) дезорганизует (рассогласовывает) организм.

Закономерность «системного расхождения», или дифференциации, существует во всех областях, и чем выше уровень организованных форм, тем с большей отчетливостью она обнаруживается. С одной стороны, расхождение и дифференциация через дополнительные связи вызывает стремление все большей устойчивости форм, но, с другой стороны, стремление к последующему разложению через накапливающиеся про-

тиворечия. Чем значительнее начальное различие в системе, тем быстрее должно идти дальнейшее расхождение, а следовательно, и развитие противоречий, приводящих к разрыву связей.

### **15.3.11. Закономерность перевода системы из одного качественного состояния в другое минимальным воздействием в критической точке фазового перехода**

Для уяснения этой закономерности отметим, что кризисное состояние развивающейся системы можно рассматривать как разновидность фазового перехода системы из одного качественного состояния в другое со своей критической точкой, в которой для названного перехода достаточно небольшого (минимального) воздействия. Еще из школьных учебников известно, что существуют фазовый переход вещества из одного качественного состояния в другое и критическая точка, часто называемая точкой кристаллизации (или плавления, кипения, испарения, перехода в газовую фазу или точками бифуркации). При этом достаточно самого незначительного воздействия - «ядра кристаллизации», чтобы начался ее лавинообразный переход из одного качественного состояния в другое.

Исследования показали, что экономический кризис производства, отрасли, региона, страны также представляет собой разновидность фазового перехода со своей критической точкой (точкой бифуркации), и если в этой точке (в этот момент) внести «ядро кристаллизации», чему соответствуют небольшие инвестиции, то малыми усилиями можно быстро получить существенный экономический эффект. Такая аналогия с функционированием систем разного типа исходя из общей теории систем и теории управления правомочна.

В нашей кризисной экономике фазовому переходу соответствует активный процесс разрыва старых устоявшихся связей, уничтожения старых

структур и образования новых связей и новых структур, а критической точке фазового перехода соответствует момент, когда старые связи структуры уничтожены или очень ослаблены, а новые еще недостаточно сформировались и окрепли. Можно ожидать, что именно в этот момент самыми минимальными инвестициями в качестве ядра кристаллизации можно перевести экономическую систему производства, отрасли или региона в новое качественное состояние, а все остальное система «сделает сама».

### **15.3.12. 20%-я закономерность**

Из статистических материалов следует, что в мире 20% крупных предприятий и концернов создают 80% всей продукции, в то время как 80% средних и мелких предприятий и организаций создают 20% продукции, или 20% населения мира, живущего в странах с самым высоким уровнем доходов, имеет 80% мирового объема внутреннего валового продукта (ВВП), 82% мировых экспортных рынков и т.п. Эта закономерность распространяется и на научные, и на трудовые коллективы. Так, 20%-я наиболее активная часть ученых создает 80% научной продукции, а другая, менее активная, 80%-я часть создает 20% продукции. Но при этом, для создания всей 100%-ой продукции обе части одного целого должны существовать. Очевидно, если возникает вопрос поощрения коллектива грантами и другими премиями по конечным результатам созданной продукции, то следует, в первую очередь, поощрять 20%-ю наиболее активную часть ученых и специалистов, создающих основную (80%-ю) часть продукции. Зарубежная статистика также подтверждает, что 20% наиболее активных мужчин в Германии и Чехословакии выпивает 80% пива, а 80% менее активных - 20%.

Эта 20%-я закономерность создания продукции распространяется на пчеловодство и даже на муравейник, где также существует 20% активная

часть муравьев, создающая 80% продукции. При этом если условно выбрать наиболее активную 20%-ю часть и переселить отдельно, то из них опять образуется новая более активная (20%-я) и менее активная (80%-я) части.

### **15.3.13. Закономерность прохождения всех этапов эволюционного развития, или закономерность эволюции**

Данная закономерность утверждает, что развивающаяся система, чтобы получиться гармоничной в ходе своего индивидуального развития, должна обязательно проходить собственный эволюционный путь, включая все его этапы (аналогично проходящему все эволюционные этапы развития человека человеческому плоду в чреве матери). Нельзя ни в экономике, ни в экологии, ни в социальных сферах совершать «большой скачок» и пропускать одну или несколько эволюционных стадий. Следует обязательно пройти все этапы эволюции, хотим мы этого или нет, иначе получится урод. Правда, длительность каждого эволюционного этапа можно искусственно замедлить или ускорить, но «перепрыгивать» через этапы развития нецелесообразно.

### **15.3.14. Закономерность «пирамиды»**

Эта закономерность основана на реализации в системе первого и второго законов термодинамики, гласящих, что КПД любых реальных термодинамических систем не может достигать 100%, так как часть энергии рассеивается в окружающую среду. В экономической системе начальная энергия, почерпнутая извне, далее последовательно, от уровня к уровню, концентрируется в конечном целевом продукте. Так, в промышленном производстве обязательно выполняется следующая последова-

тельность: сначала производится сырье, затем комплектующие, а потом осуществляется сборка готовых изделий, и начальный запас энергии системы по мере достижения конечной цели уменьшается (наподобие движения к вершине «пирамиды»), так как часть энергии на каждом этапе производства должна затрачиваться на взаимодействие с окружающей средой подобно закону рассеяния энергии в термодинамике. Закономерность «пирамиды», со своей стороны, порождает свои внутренние закономерности определенной соразмерности этапов, например, «закономерность 10% энергии», ограничивающую устойчивое состояние системы переходом на вышележащий уровень пирамиды от 7 до 17% энергии. Исходя из этой закономерности, крупные хаотические дотации, кредиты и взаиморасчеты, вытребованные без достаточной аргументации промышленниками России у правительства летом 1992г., соответствуют искусственному вливанию энергии на верхний уровень пирамиды, что привело к разбалансированности всей экономической системы. Оказывается, по закономерности «пирамиды» всегда, когда в промышленной или экономической системе наблюдается значительная подкачка денег, ресурсов, энергии на верхний уровень пирамиды, систему начинает «трясти», вследствие чего теряются ее стабильность и устойчивость.

### **15.3.15. Закономерность неравномерного развития составных частей системы**

Чем сложнее система, тем не равномернее развиваются ее составные части. А вообще, составные части любой системы развиваются обязательно не равномерно. Из-за этой закономерности возникают технические и физические противоречия. Это наглядно можно проиллюстрировать на примере развития крупнотоннажных грузовых судов. С развитием тоннажа грузовых судов быстро росла мощность двигателей, а что касается другой



части системы, а именно средств торможения, то они развивались медленно. Поэтому возникло противоречие, не могли эффективно затормозить все крупные корабли и танкеры. Сегодня от начала торможения до полной остановки крупные корабли и танкеры успевают пройти несколько миль. Закономерность неравномерности развития составных частей системы по своему содержанию близка и перекликается с закономерностью «наименьших относительных сопротивлений или наиболее слабых мест в системе», рассмотренной выше.

Общие системные законы и закономерности неумолимы, и основные процессы в природе или в обществе, хотим мы этого или не хотим, будут стремиться протекать в соответствии с этими законами и закономерностями. И если внешнее управленческое воздействие на систему не совпадает с системными закономерностями, а наоборот, противоречит им, то оно не даст положительного результата. Известно, что бессмысленно плевать против ветра или управлять процессами инженерной деятельности в направлении создания вечного двигателя при существующем универсальном законе сохранения и превращения энергии. Поэтому нельзя нарушать основные законы и закономерности существования и развития систем. Знание этих закономерностей необходимо изобретателям, научным сотрудникам, управленцам и хозяйственникам. Объективные общесистемные закономерности детерминируют, т.е. делают жестко определенным, научное мышление, внося в него определенную структурную упорядоченность. Так, законы термодинамики настолько детерминировали изобретательскую мысль, что исключили из сферы поиска «вечный двигатель», а законы химии исключили поиск «философского камня» и превращения его в золото.

Игнорирование общесистемных законов и закономерностей может привести к неустойчивости систем, катастрофам, разрушениям или развалу. Напротив, планомерный и систематический учет системных законо-

мерностей позволит обеспечить наибольшую устойчивость технических, экономических, социальных и организационных систем. Задачи, в решении которых эти системные закономерности должны сознательно применяться, весьма разнообразны.

Применение известных в общей теории систем и теорий управления (частично рассмотренных в этой разделе) общесистемных закономерностей, позволяет проанализировать и понять важные процессы, происходящие в кризисной ситуации в сложных системах, независимо от их типа и природы. Они позволяют сделать попытку осуществления научного подхода к анализу и решению конкретных управленческих задач в сложных слабоструктурированных и слабоформализуемых системах, как технической и социально-экономической, так и другой природы.

#### **15.4. Примеры использования переноса системных знаний и методологий из области живых организмов в область общественных систем при глубокой аналогии и значительном изоморфизме**

Для иллюстрации примеров переноса знаний из более изученных сложных систем в менее изученные при наличии общности процессов системных изоморфизмов глубокой аналогии рассмотрим процесс быстрой деградации в живых организмах и общественных системах.

Лавинообразные процессы развития имеют место во многих системах различной природы. Например, в природе лавинные процессы имеются при снежных лавинах в горах, делении обогатленного урана, распространении эпидемии гриппа, при росте и размножении раковых клеток, при раковом заболевании организма, распространении большинства вирусных инфекций и т.п. Лавинообразные процессы наблюдаются также при развитии и распространении преступности, возникновении забастовок и социальных взрывов и т.п. Особенно опасны лавинообразные процессы

деградации общества или организма, если общество или живой организм находятся в зоне бифуркации, где небольшие изменения параметров процесса могут вызвать скачкообразные изменения, приводящие или к нарушению функционирования не только отдельных элементов системы, но и параличу системы, или полной деградации живой или общественной системы.

Чтобы проследить процесс передачи знаний из одной сложной системы в другую при наличии общности лавинообразных процессов, ниже рассмотрим, с одной стороны, более изученные в медицине развитие и быструю деградацию живого организма, заболевшего раком, и, с другой стороны, лавинообразное распространение преступности в нашем нестабильном обществе при наличии общности процессов в этих двух системах и постараемся дать необходимые рекомендации на основе объективных закономерностей рассматриваемых систем. Сначала рассмотрим систему, представляющую организм, заболевший раком. Известно, что в организме каждого человека каждый час появляются раковые клетки, однако только некоторые люди испытывают на себе ужас раковой болезни. Условие возникновения ракового заболевания как лавинообразного процесса, определяется известной в медицине формулой:  $Y = K t_{жк} (1 - P_a) (1 - P_b) (1 - P_c) > 1$ , где  $K$  - коэффициент репродукции раковых клеток; примем  $K=3$ , это означает, что с высокой вероятностью за единицу времени  $\Delta t$  из одной раковой клетки возникнет 3 другие раковые клетки;  $t_{жк} = m \Delta t$  - время жизни раковой клетки;  $P_a$  - вероятность обнаружения и ликвидации раковой клетки антителами (или, иначе, защитными клетками - «убийцами»);  $P_b$  - вероятность обратного перерождения раковой клетки в нормальную;  $P_c$  - вероятность срабатывания механизма самоликвидации раковой клетки. Процесс приобретает лавинообразный характер, если  $Y > 1$ . При этом, чем больше  $Y$  превышает 1, тем выше скорость нарастания лавинообразного процесса.

Специалисты считают, что этой же формулой будет определяться лавинообразный процесс деградации общества за счет «вируса преступности», а значит, между этими системами имеется глубокая аналогия и изоморфизм.

Любое общество, как сверхсложная система, неизбежно имеет преступников, представляющих перерожденную в патологические элементы части членов общества, которые становятся опасными для жизнедеятельности всего общества. В стабильном и устойчивом обществе, например Европе, отсутствует лавинообразный рост преступности, особенно тяжких, тогда как в нашем нестабильном, неустойчивом обществе, наоборот, происходит лавинообразный рост тяжких преступлений. Чтобы качественно оценить ситуацию с преступностью в нашей стране, в приведенную формулу надо подставить следующие ориентировочные показатели:

$K = 2$  - количество людей, которые в среднем могут быть вовлечены одним преступником в преступную деятельность в течение времени  $\Delta t$ , например в течение 1 года (или из одной раковой клетки за единицу времени ( $\Delta t$ ) возникают две раковые клетки),  $t_{ж} = 5$  лет - среднее время активной деятельности каждого преступника (или время жизни раковой клетки в организме),  $P_a = 0,1$  - небольшая вероятность пресечения (обнаружения и ликвидации) преступной деятельности (этот показатель для живых организмов, например, в системах защиты от раковых клеток высокий и превышает 0,99, т.е. антитела или клетки «убийцы» с вероятностью более 0,99 обнаруживают и убивают раковые клетки);  $P_b = 0,3$  - вероятность перевоспитания преступника (в живых организмах вероятность обратного перерождения раковой клетки ничтожно мала  $P_b = 0,01$ );  $P_c = 0,2$  - вероятность самоубийства преступника или его гибель в результате алкогольного или другого отравления (вероятность самоубийства раковых клеток в организме при нормальном функционировании гомеостатов весьма высока - более 0,9). Если подставить указанные данные в вышеприведенную формулу, то

для преступности получим:  $U_{пр} = 2 \times 5 (1 - 0,1)(1 - 0,3) 0 - 0,2 = 2 \times 5 \times 0,9 \times 0,7 \times 0,8 = 5,04 > 1$ .

Из полученного результата следует, что при существующем положении дел в стране процесс лавинообразного нарастания деградации в нашем обществе вполне закономерен. Можно, конечно, спорить о точности взятых показателей, но порядок цифр останется примерно таким же и не может исключить лавинообразное нарастание преступности и соответствующую деградацию нашего общества аналогично тому, как происходит лавинообразный рост раковых клеток у заболевших раком и деградация организма.

Чтобы остановить лавинообразный процесс деградации общества от роста преступности или деградацию организма за счет лавинообразного роста раковых клеток, как следует из формулы, необходимо воздействовать на следующие четыре основных показателя: 1) уменьшить коэффициент репродукции преступности или раковых клеток ( $K$ ), что означает улучшение общего состояния общества или организма; 2) уменьшить среднее время активной преступной деятельности преступника или среднее время жизни раковых клеток ( $t_{ж}$ ) путем изоляции преступника от общества или раковой клетки от организма; 3) повысить вероятность раскрытия тяжких преступлений и наказать самым жестким образом преступника или раковую клетку ( $P_a$ ); 4) повысить вероятность перевоспитания преступника в нормального человека или обратного перерождения раковой клетки в нормальную клетку ( $P_b$ ), что очень трудно.

Известно, что у человека для защиты от роста раковых клеток живой организм и его гомеостат выработал самое жесткое из возможных наказаний - смертную казнь. Несмотря на то, что и раковые клетки являются собственными клетками организма, нарушая всякий гуманизм, они безжалостно уничтожаются защитными силами организма (иммунной системой). Если живой организм не проявит жесткую позицию и не накажет

«смертной казнью» свои раковые клетки, то организм деградирует. Аналогично этому, для исключения деградации общества от лавинообразного нарастания тяжких преступлений в нашем обществе, необходимо применить самые строгие формы наказания, включая смертную казнь. Нестабильное или неустойчивое общество не должно относиться гуманнее к своим преступникам-убийцам, чем это делает живой организм по отношению к своим раковым клеткам. Перевоспитывать или преобразовывать можно только тех преступников и раковые клетки, которые к этому способны, но не убийц и тяжких преступников. Поэтому смертную казнь для особо опасных преступников пока отменять нельзя.

Наряду с лавинообразным ростом преступности к быстрой деградации общества может привести также крайний национализм и политический экстремизм. Одной из причин лавинообразной деградации животного организма является «гормон смерти организма». Этот гормон наблюдается, когда после некоторой хирургической операции вдруг начинается отказ или серьезные нарушения работы многих основных органов человека, и чтобы как-то поддержать жизнедеятельность всего организма, приходится подключать искусственные органы для обеспечения кровообращения, дыхания, очистки крови и т.п., которые затем, при невозможности реанимации больного, приходится отключать. Происходит паралич гомеостата. Роль «гормона смерти государства» в нашем нестабильном обществе может сыграть крайний национализм и политический экстремизм. Здесь передача знаний и методов из области медицины по деградации за счет «гормона смерти организма» в область общественной деятельности позволяет корректно исследовать, а иногда и решать сложные слабоструктурированные задачи.

Как показывают исследования, любые сложные реальные общественные и природные системы по своей основе оказываются гомеостатическими, так как они содержат жизненно важные параметры, нарушение ко-

торых приводит либо к гибели системы, либо к потере устойчивости и невозможности выполнения возложенных функций. Для человеческого организма этими параметрами являются кровяное давление, ритм сердца, содержание сахара или гемоглобина в крови, состояние иммунной защитной системы и т.п. Для экономики - это уровень инфляции, величина ВВП и бюджета, уровень безработицы, обеспечение прожиточного минимума и т.п. Применение гомеостатических принципов при управлении экономикой, обществом, производством, отдельной фирмой или организацией, отраслью или государством в целом повысит их живучесть, помехоустойчивость и экономическую эффективность. Поэтому при реформировании и реструктуризации производства, сельского хозяйства, экономики, военного дела, науки, образования необходимо закладывать гомеостатические принципы и механизмы управления как наиболее современные и эффективные. При построении гомеостатических моделей рынка (баланса спроса и предложений товаров и услуг), как было показано выше, необходимо учитывать как теневую экономику, так и влияние криминальных структур на производство и потребление.

#### **15.5. Системные и когнитивные подходы к решению слабоструктурированных и плохо формализованных задач**

С каждым днем возрастает число сложных и очень сложных крупномасштабных систем управления в социально-экономической, экологической, организационной, технической и других сферах. Эти задачи по своей сути являются слабоструктурированными, слабоформализуемыми, содержат многие противоречивые цели и критерии и требуют способов решения задач с нечеткими знаниями, целями и данными. При их решении возникают серьезные неопределенности, связанные с недостаточностью и нечеткостью наших знаний о проблеме, невозможностью учитывать реакцию

окружающей среды, других лиц на предпринятые действия, а также неопределенности из-за нечетко определенных данных, критериев, целей и т.п.

Характерной чертой современных сложных объектов управления является также многосвязанность. На результаты функционирования большинства многосвязанных систем влияет одновременно множество управляемых величин и их взаимосвязи. Поэтому для таких систем проблема оптимизации сводится к экстремизации функционала, зависящего одновременно от множества управляемых величин в их взаимосвязи. К многосвязанным системам относятся энергетические системы, металлургические комплексы, нефтедобывающие и нефтехимические объекты, социально-экономические, экологические системы и др.

При решении задач оптимизации управления сложными многосвязанными системами возникает дополнительная проблема большой размерности. Однако пока еще не разработаны научно обоснованные методы решения названных задач управления, а традиционные методы управления для таких задач малопригодны. Поэтому важнейшими проблемами в сфере управления политическими, социально-экономическими, экологическими, организационными и другими системами являются разработка теории и технологии принятия решений и создание информационно-управляющих систем их поддержки. Актуальность проблемы «выживания» сложных социально-экономических, экологических, организационных систем в кризисных ситуациях породила необходимость разработки методологии моделирования сложных крупномасштабных развивающихся систем при неполных и нечетких знаниях и слабой формализации задач.

Для выявления базисных социально-политических, экономических, экологических проблем и генерирования рекомендаций по методам управления сложными системами необходимо разработать компьютерные когнитивные модели для качественного моделирования ситуации. Качественные модели сложных и очень сложных систем достаточно эффективно



строятся на основе математического аппарата знаковых и взвешенных графов, которые позволяют формализовать взаимодействие основных положительных и отрицательных обратных связей, существующих между процессами, определяющими функционирование и развитие сложной социально-политической, экономической или экологической системы. При построении таких моделей может быть использована неполная, нечеткая и даже противоречивая информация.

Когнитивные модели на основе аппарата знаковых и взвешенных графов успешно применяются в США компанией Rand Corporation для анализа названных задач. В Институте проблем управления РАН (Москва) такие модели получили дальнейшее развитие и применялись для анализа влияния теневой экономики на экономику России, прогноза развития событий в чрезвычайных ситуациях; выживания предприятий с различными организационно-правовыми формами в условиях кризисной экономики (инфляции, скачков цен на ресурсы и энергоносители и др.), а в последнее время для разработки стратегий развития регионов и управления развитием потребительского рынка г. Москвы.

Таким образом, удобным инструментом исследования слабоструктурированных, плохо формализуемых задач является когнитивная структуризация, которая способствует углублению понимания проблем, выявлению противоречий, качественному их анализу. Цель когнитивной структуризации состоит в формировании и уточнении гипотезы о функционировании исследуемого объекта. Чтобы понять и проанализировать поведение сложной системы с помощью когнитивного подхода, строится структурная схема причинно-следственных связей. При этом элементы системы А и В, изображаемые на схеме в виде отдельных вершин графа, соединяют ориентированной дугой, если элемент А связан с элементом В причинно-следственной связью:  $A \rightarrow B$ , где А - причина, В - следствие. Рассматриваемые причинно-следственные связи разделяют на положи-

тельные и отрицательные. Связь  $A \rightarrow B$  называется положительной, если увеличение  $A$  ведет к увеличению (усилению)  $B$  и уменьшение  $A$  ведет к уменьшению (ослаблению)  $B$  при прочих равных условиях. Отрицательный знак (-) над дугой  $A \rightarrow B$  означает, что связь отрицательна, т.е. при прочих равных условиях увеличение  $A$  приводит к уменьшению (ослаблению)  $B$ . Подобные схемы причинно-следственных связей широко используются для анализа сложных систем в экономике, социологии, в политике, в технике. Такие схемы, интерпретирующие мнение, взгляды лица, принимающего решение, называются **когнитивной картой**. На математическом языке когнитивная карта называется знаковым (взвешенным) ориентированным графом (орграфом). Для определения изменений параметров вершин, с учетом влияния контуров обратной связи пользуются развитием импульсного процесса в знаковых и взвешенных орграфах, который устанавливает, как отклонения одной или нескольких переменных распространяются за некоторое время по структуре графа. Приобретая опыт в анализе знаковых графов, можно избавиться от целого ряда типичных ошибок, свойственных несистемному мышлению. Нередко исследователь ошибочно предполагает, что каждое событие имеет только одну причину, не замечая важных обратных связей, как положительных, так и отрицательных.

Когнитивное или графовое моделирование сложных процессов позволяет дать качественные оценки протеканию процессов. Вершины графа соответствуют рассматриваемым процессам, направленные дуги графа отражают влияние процессов друг на друга, а степень такого влияния отображается путем приписывания соответствующего веса каждой дуге. Первоначально степень влияния отображается с помощью лингвистических переменных типа «сильно», «умеренно», «слабо» и т.п. В зависимости от совокупности значений той или иной лингвистической переменной выбирают числовую шкалу соответствующей метрики; с помощью таких шкал качественным значениям переменных присваивают определенные число-

вые значения по соответствующим шкалам, в результате получаем взвешенный ориентированный граф.

Если графовая модель среды достаточно правдоподобна, то поставленные цели можно интерпретировать в терминах моделей как подмножество «благоприятных» ситуаций. Под допустимым решением будем понимать решение, переводящее систему в какую-либо благоприятную ситуацию и удерживающую ее в этой ситуации. Процесс такого перевода назовем управлением ситуациями, а переводимые ситуации - управляемыми ситуациями.

Экономические, социальные, политические системы в отличие от технических систем характеризуются отсутствием детального количественного описания происходящих в них процессов. Информация имеет в основном качественный характер. Системному аналитику доступна лишь качественная информация о текущем состоянии того или иного фактора. Для описания текущего состояния факторов и характера влияния факторов друг на друга выбирается совокупность соответствующих лингвистических переменных типа: «влияние положительное» или «отрицательное». Для описания степени такого влияния используются лингвистические переменные типа: «сильно», «слабо», «больше», «меньше» и т.п. Совокупность базисных факторов вместе с описанием непосредственного влияния факторов друг на друга называется **ситуацией**.

**Графовая модель ситуации** строится следующим образом. Вершины соответствуют базисным факторам  $V_i$ . Дуга  $(i,j)$ , проведенная от вершины  $i$  к вершине  $j$ , отображает тот факт, что изменение значений фактора  $V_i$  влияет на изменение значений фактора  $V_j$ . Дуга  $(i,j)$  имеет знак (+), если это влияние «положительно», и знак (-) в противоположном случае. Лингвистическим переменным, описывающим степень такого влияния, сопоставим следующие значения из интервала  $[0,1]$ : 0,1 - «очень слабое»; 0,3 - «умеренное»; 0,5 - «существенное»; 0,7 - «сильное»; 1,0 - «очень сильное».

Таким образом, каждая дуга  $(i, j)$  снабжается весом  $a_{i,j} \in 0,1 \div 1$ . В итоге получаем модель ситуации в виде взвешенного орграфа  $G = (V, A)$ , где  $V$  - множество вершин - факторов, а  $A$  - множество взвешенных дуг.

Графовая модель, несмотря на числовые значения весов дуг, также является качественным (когнитивным) описанием ситуации. Для компьютерного анализа происходящих в ситуации процессов с помощью графовой модели в последнюю вводят понятие времени и сопоставляют числовую шкалу лингвистическим переменным, описывающим текущее состояние базисных факторов. Компьютерное моделирование процессов в ситуации проводится в дискретном времени. Изменения факторов рассматриваются на каждом интервале квантования  $T$ , для содержательной предметной интерпретации последний имеет определенную размерность (секунда, час, сутки, неделя, месяц, квартал и т.п.). Для простоты интервал квантования  $T$  считают совпадающим с машинным тактом (т.е.  $T = 1$ ), имея в виду, что при последующей интерпретации такт имеет заранее выбранную размерность. Для факторов также используется некоторая совокупность лингвистических переменных. Так, например, фактор «инфляция» использует значения типа «высокая», «умеренная», «низкая». Для фактора «социальная напряженность» - «сильная», «слабая». Так как используются лингвистические переменные, то результаты моделирования являются качественными. Выбор лингвистических шкал для факторов дуг между ними осуществляют привлеченные эксперты, хорошо знающие предметную область.

Когнитивные технологии завоевывают все большее доверие у структур, занимающихся стратегическим и оперативным планированием на всех уровнях и во всех сферах управления. Применение когнитивных технологий в экономической сфере позволяет в сжатые сроки разработать и обосновать стратегию экономического развития предприятия, банка, региона или целого государства с учетом влияния изменений во внешней среде. В сфере финансов и фондового рынка когнитивные технологии позволяют

учесть ожидания участников рынка. В военной области и области информационной безопасности применение когнитивного анализа и моделирования позволяет противостоять стратегическому информационному оружию, распознавать конфликтные структуры, не доводя конфликт до стадии вооруженного столкновения.

В целом когнитивные технологии способствуют решению следующего круга задач:

- 1) качественный анализ политической, экономической, социальной и пр. информации с целью прогнозирования и ранней идентификации угроз национальной безопасности;
- 2) качественный анализ ситуации с целью выявления факторов, влияющих на ее развитие;
- 3) моделирование ситуации с целью прогнозирования возможных вариантов ее развития и определения действий, способствующих ее развитию в направлении, соответствующем национальным интересам.

Одним из наиболее перспективных направлений развития и внедрения средств когнитивного анализа и моделирования является их интеграция с традиционными средствами анализа и моделирования, что реализует возможность поддержки принятия решений практически на всех уровнях управления.

Таким образом, методы когнитивного исследования тенденций развития ситуаций базируются на использовании возможностей человека по описанию факторов, определяющих исследуемую ситуацию, и, особенно, по описанию взаимозависимостей этих факторов. Разрабатываемые методы ориентированы прежде всего на использование Первыми лицами (руководителями предприятий, производственных и общественных организаций, партий, регионов, субъектов федерации и т.д.) оценивающими и принимающими решения по наиболее ответственным перспективным стратегическим вопросам.

## Глава 16. Роль измерений в создании моделей систем

Модель и эксперимент находятся в одном цикле. Эксперимент источник информации для моделирования (проверить и уточнить модель). Модель источник информации для эксперимента (какой именно проводить эксперимент). Модель чёрного ящика (выбор входов и выходов), пассивный эксперимент (наблюдение), активный (управляемый эксперимент). Результаты опытов фиксируются с помощью измерений. Современное понимание измерений стало шире классического, предусматривающего лишь количественные и однозначные измерения. Измерение - акт присвоения чисел вещам (предметам или событиям) согласно некоторой системе правил. (Гейзенберг, Фейнман: не нужно говорить о том, что все равно нельзя измерить).

1) Стало ясно, что есть наблюдаемые явления, в принципе не допускающие числовой меры, но которые можно фиксировать в качественных, слабых шкалах и результаты учитывать в моделях, получая качественные, но вполне научные выводы.

2) Измерение может не снимать неопределенность, если она имеет расплывчатую природу (расплывчатость некоторых наблюдений их неотъемлемое природное свойство), разработан специальный формальный аппарат – теория нечетких множеств.

3) Измерение обычно сопровождаются неизбежными погрешностями

4) Интересующая величина часто ненаблюдаема и поддается лишь косвенным измерениям (статистические измерения: оценивание функционалов распределений вероятностей по реализации случайного процесса).

Измерение - это алгоритм, операция, которая данному наблюдаемому состоянию объекта, процесса, явления ставит в соответствие определенное обозначение: число, номер или символ. Нужная нам информация получается из результатов измерения с помощью их преобразования (об-

работка данных). Степень соответствия между состояниями и их обозначениями зависит не только от организации измерения (эксперимента), но и от природы исследуемого явления, сама степень соответствия определяет допустимые (и недопустимые) способы обработки данных.

### 16.1. Измерительные шкалы

Для измерений важны три свойства: **тождество**: как состояния объекта, так и их обозначения удовлетворяют следующим условиям:

1. Либо  $A=B$ , либо  $A \neq B$  = равенство для чисел, отношение эквивалентности для состояний (про
2. Если  $A=B$ , то  $B=A$  вивалентности для состояний (про
3. Если  $A=B$  и  $B=C$ , то  $A=C$  любые два состояния мы можем сказать, различимы они или нет и поставить им в соответствие разные или одинаковые обозначения.

### 16.2. Шкалы наименований

Предположим, что число различимых состояний (математический термин-число классов эквивалентности) конечно. Класс - обозначение, измерение - принадлежность к тому или иному классу, записывается с помощью символа. Измерение в шкале наименований (номинальная шкала). Для обозначения классов могут использоваться как слова естественного языка (географические названия, имена людей), произвольные символы (герб, флаг, эмблема), номера и их различные комбинации.

Обозначения класса произвольно, свободу выбора можно использовать для удобства (например, иерархически вводить обозначение: почтовые адреса, автомобильные номера). Классификационные состояния могут образовывать непрерывное множество, задача сводится к предыдущей, ес-

ли все множество разбить на конечное число подмножеств, искусственно образуя классы эквивалентности (условность введения класса): название болезней: шизофрения, паранойя, психоневроз (внутри класса на самом деле имеются различия).

Допустимые операции над данными, выраженными в номинальной шкале. Даже если это числа. Футболисты 4 и 8, единственный вывод – это разные люди: нельзя сказать, что второй в два раза лучше или у него форма новее. Шкалы наименований, по существу, качественны: определены отношения только равенства или неравенства. Операция совпадения и несовпадения:  $\delta_{ij} = \{1: x_i = x_j; 0: x_i \neq x_j\}$ . Допускаются некоторые более сложные преобразования (статистические операции: можно сосчитать число индивидов каждого класса и определить частоты, найти наиболее многочисленный класс).

Число наблюдений каждого класса  $n_k = \sum_{j=1}^n \delta_{kj}$ ;  $n$ - общее число наблюдений.

Относительные частоты классов  $p_k = \frac{n_k}{n}$ .

Мода  $k_{\max} = \arg \max_k p_k$  (номер наиболее часто встречающегося класса).

### 16.3. Шкалы порядка

Ранговый порядок:

4. Если  $A > B$ , то  $B < A$
5. Если  $A > B$  и  $B > C$ , то  $A > C$ .

Если наблюдаемый признак имеет природу, позволяющую не только отождествлять, но и сравнивать в каком-то отношении, то надо выбрать более сильную шкалу.



Шкала простого порядка (нумерация очередности, воинские звания, призовые места конкурса).

Если не каждую пару можно упорядочить по предпочтениям, то добавляются в 4 и 5 равенства: шкала слабого порядка (степень родства с конкретным лицом мать=отец>сын=дочь, дядя=тетя<брат=сестра). Пары классов несравнимые между собой (т.е. ни  $A \leq B$ , ни  $B \leq A$ ). Шкалы частичного порядка (часто возникают в социологических исследованиях субъективных предпочтений: товары, любимые занятия). Отношения порядка ничего не говорит о дистанции между сравниваемыми классами (данные не числа). Допустима операция предпочтения: введем индикатор положительных чисел  $c(t) = \{1: t \geq 0; 0: t < 0\}$ . Тогда если  $x_i \geq x_j$  и мы ввели цифровую шкалу порядка, то  $c(x_i - x_j) = 1$ , а  $c(x_j - x_i) = 0$ , что позволяет установить предпочтительность  $x_i$  перед  $x_j$ . Число  $R_i = \sum_{j=1}^n c(x_i - x_j)$ , где  $n$  – число сравниваемых объектов ( $1 \leq R_i \leq n$ ) называется рангом  $i$ -того объекта. Если имеет место слабый порядок, то часть наблюдений совпадает (связка) и все члены связки получают одинаковый ранг (старший или средний или еще какой-нибудь). Можно вычислить  $\delta_{ij}$  и  $R_i$ . С этими числами можно работать дальше: нахождение частот, мод, выборочная медиана (наблюдение с рангом  $R_i$ , ближайшем к числу  $n/2$ ); разбить выборку на части в любой пропорции, находя выборочные квантили любого уровня  $p$ ,  $0 < p < 1$  (т.е. наблюдения с рангом  $R_i$ , ближайшем к величине  $pn$ ), определять коэффициенты ранговой корреляции между двумя сериями наблюдений и другие статистические процедуры.

Но всё равно это измерения в порядковой шкале (тест - умственная способность, время хоть и измеряется в числовой шкале, но как мера интеллекта принадлежит порядковой шкале.) У этих шкал нет общепринятого, а тем более абсолютного стандарта. Поэтому при определенных условиях справедливо: первый в мире, второй в Европе.

Элементы на шкалах порядка не обязательно располагаются равномерно по шкале, поэтому арифметические операции и другие статистические, кроме перечисленных выше исключаются.

#### 16.4. Шкалы интервалов

Если упорядочивание объектов можно выполнить настолько точно, что известны расстояния между любыми двумя из них (измерения выражать в единицах). Равные интервалы измеряются одинаковыми по длине отрезками шкалы, где бы они не располагались. Следствием такой равномерности шкалы - независимость отношения двух интервалов от того, в какой из шкал эти интервалы измерены (от начала отсчета и единиц длины). Связь между показаниями в шкалах:  $y=ax+b$ ,  $a>0$ ,  $\frac{\Delta_1 x}{\Delta_2 x} = \frac{\Delta_1 y}{\Delta_2 y}$ .

Шкала интервалов единственна с точностью до линейных преобразований: температура, время, высота местности. Только интервалы имеют смысл настоящих чисел и только над интервалами можно выполнять арифметические операции (от 9 до 18 С, от 37 до 42 Фаренгейта). Новая операция - определение интервала между наблюдениями, Над интервалами - любые арифметические операции, а вместе с ними подходящие способы статистической и иной обработки. Центральные моменты (дисперсия) имеют объективный физический смысл, а начальные моменты (в том числе среднее значение) являются относительными наряду с началом отсчета.

#### 16.5. Шкалы отношений

Пусть наблюдаемые величины удовлетворяют аксиомам аддитивности:

6. Если  $A=P$  и  $B>0$ , то  $A+B>P$

7.  $A+B=B+A$

8. Если  $A=P$  и  $B=Q$ , то  $A+B=P+Q$

9.  $(A+B)+C=A+(B+C)$ .

Существенное усиление шкалы, измерения - полноправные числа, можно выполнять любые арифметические действия. Свойство этих шкал: отношение двух наблюдаемых значений измеряемой величины не зависит от того, в какой из таких шкал произведены измерения:  $\frac{x_1}{x_2} = \frac{y_1}{y_2}$ . Этому

требованию удовлетворяет соотношение вида  $y=ax$  ( $a \neq 0$ ). Шкалы имеют естественный, абсолютный 0, хотя и остается свобода в выборе единиц.

Преобразования шкал: в номинальной - любое преобразование чисел; в шкалах порядка - любое монотонное преобразование, не нарушающее порядка; в шкалах интервалов -  $y=ax+b$ ; в шкалах отношений -  $y=ax$ . Некоторые виды преобразований могут изменить уровень измерения.

## Глава 17. Задачи системного анализа

### 17.1. Характеристика задач системного анализа

Системный анализ в настоящее время вынесен на самое острие научных исследований. Он призван дать научный аппарат для анализа и изучения сложных систем. Лидирующая роль системного анализа обусловлена тем, что развитие науки привело к постановке тех задач, которые призван решать системный анализ. Особенность текущего этапа состоит в том, что системный анализ, еще не успев сформироваться в полноценную научную дисциплину, вынужден существовать и развиваться в условиях, когда общество начинает ощущать потребность в применении еще недостаточно разработанных и апробированных методов и результатов и не в состоянии отложить решение связанных с ними задач на завтра. В этом источник как силы, так и слабости системного анализа: силы - потому, что он постоянно ощущает воздействие потребности практики, вынужден непрерывно расширять круг объектов исследования и не имеет возможности абстрагироваться от реальных потребностей общества; слабости - потому, что нередко применение «сырых», недостаточно проработанных методов системных исследований ведет к принятию скороспелых решений, пренебрежению реальными трудностями.

Рассмотрим основные задачи, на решение которых направлены усилия специалистов и которые нуждаются в дальнейшей разработке. Во-первых, следует отметить задачи исследования системы взаимодействий анализируемых объектов с окружающей средой. Решение данной задачи предполагает:

- проведение границы между исследуемой системой и окружающей средой, предопределяющей предельную глубину влияния рассматриваемых взаимодействий, которыми ограничивается рассмотрение;

- определение реальных ресурсов такого взаимодействия;
- рассмотрение взаимодействий исследуемой системы с системой более высокого уровня.

Системный анализ в настоящее время вынесен на самое острие научных исследований. Он призван дать научный аппарат для анализа и изучения сложных систем. Лидирующая роль системного анализа

Задачи следующего типа связаны с конструированием альтернатив этого взаимодействия, альтернатив развития системы во времени и в пространстве. Важное направление развития методов системного анализа связано с попытками создания новых возможностей конструирования оригинальных альтернатив решения, неожиданных стратегий, непривычных представлений и скрытых структур. Другими словами, речь здесь идет о разработке методов и средств усиления индуктивных возможностей человеческого мышления в отличие от его дедуктивных возможностей, на усиление которых, по сути дела, направлена разработка формальных логических средств.

Исследования в этом направлении начаты лишь совсем недавно, и единый концептуальный аппарат в них пока отсутствует. Тем не менее, и здесь можно выделить несколько важных направлений - таких, как разработка формального аппарата индуктивной логики, методов морфологического анализа и других структурно-синтаксических методов конструирования новых альтернатив, методов синтектики и организации группового взаимодействия при решении творческих задач, а также изучение основных парадигм поискового мышления.

Задачи третьего типа заключаются в конструировании множества имитационных моделей, описывающих влияние того или иного взаимодействия на поведение объекта исследования. Отметим, что в системных исследованиях не преследуется цель создания некоей супермодели. Речь

идет о разработке частных моделей, каждая из которых решает свои специфические вопросы.

Даже после того как подобные имитационные модели созданы и исследованы, вопрос о сведении различных аспектов поведения системы в некую единую схему остается открытым. Однако решить его можно и нужно не посредством построения супермодели, а анализируя реакции на наблюдаемое поведение других взаимодействующих объектов, т. е. путем исследования поведения объектов-аналогов и перенесения результатов этих исследований на объект системного анализа.

Такое исследование дает основание для содержательного понимания ситуаций взаимодействия и структуры взаимосвязей, определяющих место исследуемой системы в структуре суперсистемы, компонентом которой она является.

Задачи четвертого типа связаны с конструированием моделей принятия решений. Всякое системное исследование связано с исследованием различных альтернатив развития системы. Задача системных аналитиков выбрать и обосновать наилучшую альтернативу развития. На этапе выработки и принятия решений необходимо учитывать взаимодействие системы с ее подсистемами, сочетать цели системы с целями подсистем, выделять глобальные и второстепенные цели.

Наиболее развитая и в то же время наиболее специфическая область научного творчества связана с развитием теории принятия решений и формированием целевых структур, программ и планов.

Здесь не ощущается недостатка и в работах, и в активно работающих исследователях. Однако и в данном случае слишком многие результаты находятся на уровне неподтвержденного изобретательства и разночтений в понимании как существа стоящих задач, так и средств их решения. Исследования в этой области включают:

а) построение теории оценки эффективности принятых решений или сформированных планов и программ;

б) решение проблемы многокритериальности в оценках альтернатив решения или планирования;

в) исследования проблемы неопределенности, особенно связанной не с факторами статистического характера, а с неопределенностью экспертных суждений и преднамеренно создаваемой неопределенностью, связанной с упрощением представлений о поведении системы;

г) разработка проблемы агрегирования индивидуальных предпочтений на решениях, затрагивающих интересы нескольких сторон, которые влияют на поведение системы;

д) изучение специфических особенностей социально-экономических критериев эффективности;

е) создание методов проверки логической согласованности целевых структур и планов и установления необходимого баланса между определенностью программы действий и ее подготовленностью к перестройке при поступлении новой информации как о внешних событиях, так и изменении представлений о выполнении этой программы.

Для последнего направления требуется новое осознание реальных функций целевых структур, планов, программ и определение тех, которые они *должны* выполнять, а также связей между ними.

Рассмотренные задачи системного анализа не охватывают полного перечня задач. Здесь перечислены те, которые представляют наибольшую сложность при их решении. Следует отметить, что все задачи системных исследований тесно взаимосвязаны друг с другом, не могут быть изолированы и решаться отдельно как по времени, так и по составу исполнителей. Более того, чтобы решать все эти задачи, исследователь должен обладать широким кругозором и владеть богатым арсеналом методов и средств научного исследования.

## 17.2. Особенности задач системного анализа

Конечной целью системного анализа является разрешение проблемной ситуации, возникшей перед объектом проводимого системного исследования (обычно это конкретная организация, коллектив, предприятие, отдельный регион, социальная структура и т. п.). Системный анализ занимается изучением проблемной ситуации, выяснением ее причин, выработкой вариантов ее устранения, принятием решения и организацией дальнейшего функционирования системы, разрешающего проблемную ситуацию. Начальным этапом любого системного исследования является изучение объекта проводимого системного анализа с последующей его формализацией. На этом этапе возникают задачи, в корне отличающие методологию системных исследований от методологии других дисциплин, а именно, в системном анализе решается двуединая задача. С одной стороны, необходимо формализовать объект системного исследования, с другой стороны, формализации подлежит процесс исследования системы, процесс постановки и решения проблемы. Приведем пример из теории проектирования систем. Современная теория автоматизированного проектирования сложных систем может рассматриваться как одна из частей системных исследований. Согласно ей проблема проектирования сложных систем имеет два аспекта. Во-первых, требуется осуществить формализованное описание объекта проектирования. Причем на этом этапе решаются задачи формализованного описания как статической составляющей системы (в основном формализации подлежит ее структурная организация), так и ее поведение во времени (динамические аспекты, которые отражают ее функционирование). Во-вторых, требуется формализовать процесс проектирования. Составными частями процесса проектирования являются методы формирования различных проектных решений, методы их инженер-



ного анализа и методы принятия решений по выбору наилучших вариантов реализации системы.

Важное место в процедурах системного анализа занимает проблема принятия решения. В качестве особенности задач, встающих перед системными аналитиками, необходимо отметить требование оптимальности принимаемых решений. В настоящее время приходится решать задачи оптимального управления сложными системами, оптимального проектирования систем, включающих в себя большое количество элементов и подсистем. Развитие техники достигло такого уровня, при котором создание просто работоспособной конструкции само по себе уже не всегда удовлетворяет ведущие отрасли промышленности. Необходимо в ходе проектирования обеспечить наилучшие показатели по ряду характеристик новых изделий, например, добиться максимального быстродействия, минимальных габаритов, стоимости и т. п. при сохранении всех остальных требований в заданных пределах. Таким образом, практика предъявляет требования разработки не просто работоспособного изделия, объекта, системы, а создания оптимального проекта. Аналогичные рассуждения справедливы и для других видов деятельности. При организации функционирования предприятия формулируются требования по максимизации эффективности его деятельности, надежности работы оборудования, оптимизации стратегий обслуживания систем, распределения ресурсов и т.п.

В различных областях практической деятельности (технике, экономике, социальных науках, психологии) возникают ситуации, когда требуется принимать решения, для которых не удастся полностью учесть предопределяющие их условия. Принятие решения в таком случае будет происходить в условиях неопределенности, которая имеет различную природу. Один из простейших видов неопределенности - неопределенность исходной информации, проявляющаяся в различных аспектах. В первую очередь, отметим такой аспект, как воздействие на систему не-

известных факторов. Приведем примеры, поясняющие данный тип неопределенности. Проектируется дамба, которая должна защитить населенные пункты от селевых потоков. Ни моменты наступления неблагоприятных событий, ни размеры их заранее неизвестны. Тем не менее, строить защитные сооружения необходимо и необходимо принимать решения об их размерах. Причем лицо, принимающее решение, должно понимать уровень ответственности, которая на него ложится. Строительство слишком массивных конструкций потребует необоснованно больших материальных затрат. С другой стороны, экономия в этом вопросе в случае наступления паводков или селевых потоков может повлечь за собой несоизмеримые экономические убытки, а нередко и человеческие жертвы.

Другой пример приведем из области организации функционирования предприятия легкой промышленности. Предприятие планирует ассортимент товаров на будущий календарный период. Задача предприятия состоит в максимизации прибыли после реализации произведенного товара. Однако заранее неизвестно, какой товар будет пользоваться максимальным спросом, так как спрос определяется многими факторами, такими как соотношение цены и качества товара, моды, уровня жизни населения и прочими факторами. В условиях неопределенности многих факторов руководство предприятия должно разработать план работы.

Неопределенность, обусловленная неизвестными факторами, также бывает разных видов. Наиболее простой вид такого рода неопределенности - *стохастическая неопределенность*. Она имеет место в тех случаях, когда неизвестные факторы представляют собой случайные величины или случайные функции, статистические характеристики которых могут быть определены на основании анализа прошлого опыта функционирования объекта системных исследований. Пример, поясняющий стохастическую неопределенность, следующий. На предприятии планируются восстановительные мероприятия с целью под держания оборудования

на высоком уровне надежности. К таким мероприятиям относятся плановые профилактические работы, контрольные проверки исправности функционирования, ремонты. Частота и длительность соответствующих мероприятий зависит от надежности оборудования, для которого данные мероприятия разрабатываются. Нарботки оборудования до отказа, длительности ремонтов, профилактик, проверок - величины случайные, в общем случае неизвестные. Однако характеристики случайных величин, входящих в задачу, могут быть получены, если организовать сбор соответствующей статистической информации.

Еще раз подчеркнем, что стохастическая неопределенность - одна из самых простых типов неопределенности. Задача исследователя заключается в определении вероятностных характеристик случайных факторов и постановке задачи принятия решения в форме статистической оптимизации. Гораздо хуже обстоит дело, когда неизвестные факторы не могут быть изучены и описаны статистическими методами. Это бывает в двух случаях: 1) когда распределение вероятностей для неизвестных факторов в принципе существует, но к моменту принятия решения не может быть получено; 2) когда распределение вероятностей для неизвестных факторов вообще не существует. Приведем пример, иллюстрирующий первый тип. Пусть планируется система профилактического обслуживания оборудования на вновь строящемся предприятии. В отличие от предыдущего примера у лица, принимающего решение, нет статистических данных о наработках оборудования, поскольку оно еще не работало. А решение принимать надо. В этом случае можно назначить время проведения профилактических работ из разумных субъективных соображений, а по мере накопления информации о работе оборудования скорректировать данное решение, иными словами, в процессе функционирования проводить адаптацию решения с учетом опыта эксплуатации.

Второй тип может быть рассмотрен на следующем примере. При подготовке к поездке в район с резко меняющимися климатическими условиями возникает задача оптимизации гардероба (одежда, зонт, обувь), который необходимо иметь во время поездки. В северных районах Сибири в июне месяце температура воздуха может меняться от  $-10$  до  $+30^{\circ}\text{C}$ , при этом возможна ясная погода, дождь различной интенсивности (вплоть до ливневого) и снег. Никакие многолетние наблюдения за погодой в данном регионе не дают прогноза в конкретный период времени. Вероятностного распределения в данном случае просто не существует. В данной ситуации необходимо принимать решения, которые наверняка будут далеки от оптимальных. В таких условиях лучше перестраховаться и быть готовым к самому неблагоприятному стечению обстоятельств.

Следующий вид неопределенности - *неопределенность целей*. Формулирование цели при решении задач системного анализа является одной из ключевых процедур, потому что цель является объектом, определяющим постановку задачи системных исследований. Неопределенность цели является следствием из многокритериальности задач системного анализа. Назначение цели, выбор критерия, формализация цели почти всегда представляют собой трудную проблему. Задачи со многими критериями характерны для крупных технических, хозяйственных, экономических проектов. Скажем, при создании проекта нового транспортного средства конструкторы пытаются добиться, чтобы это средство обладало максимальными скоростями, высокой надежностью, высокими техническими характеристиками, и при этом ставят задачу минимизации затрат. Здесь, во-первых, видно, что при формулировании задачи используется несколько критериев, во-вторых, критерии противоречивы между собой. Строго говоря, задача в сформулированной постановке вообще не имеет решения, поскольку минимум затрат - это их полное отсутствие, т. е. при такой постановке затраты должны быть равны нулю. Но тогда выполнение

всего проекта невозможно. Следовательно, необходимо очень тщательно анализировать выдвигаемые критерии и грамотно формулировать цель исследования. Один из возможных путей решения данной проблемы - это постановка задачи на условный экстремум, когда ряд критериев переводят в разряд ограничений. Также возможно переходить к сложным, комбинированным критериям. Формализация цели в системном анализе - труднейшая часть проблемы. Можно заметить, что в системных исследованиях главный момент - формулирование цели, которую должен преследовать проект. Цель становится самостоятельным объектом исследования.

стратегий. И конечно же на этапе формирования решения и принятия управляющего воздействия аналитики могут не представлять себе полной картины развития ситуации. При принятии решения существуют различные рекомендации прогнозирования развития системы во времени. Один из таких подходов рекомендует прогнозировать некоторую «среднюю» динамику развития системы и принимать решения исходя из такой стратегии. Другой подход рекомендует при принятии решения исходить из возможности реализации самой неблагоприятной ситуации.

В качестве следующей особенности системного анализа отметим роль моделей как средства изучения систем, являющихся объектом системных исследований. Любые методы системного анализа опираются на математическое описание тех или иных фактов, явлений, процессов. Употребляя слово «модель», всегда имеют в виду некоторое описание, отражающее именно те особенности изучаемого процесса, которые и интересуют исследователя. Точность, качество описания определяются, прежде всего, соответствием модели тем требованиям, которые предъявляются к исследованию, соответствием получаемых с помощью модели результатов наблюдаемому ходу процесса. Если при разработке модели используется язык математики, говорят о математических моделях. Построение математической модели является основой всего системного анализа. Это

центральный этап исследования или проектирования любой системы. От качества модели зависит успешность всего последующего анализа.

Построение моделей - процедура всегда неформальная, она очень сильно зависит от исследователя, его опыта, научной интуиции, всегда опирается на определенный экспериментальный материал. Модель должна достаточно адекватно отражать описываемое явление и, кроме того, быть удобной для использования. Поэтому определенные требования предъявляются к степени детализации модели. Форма представления модели должна определяться целями исследования.

Обсуждая особенности задач системного анализа, нельзя не остановиться еще на одной из них. Ранее отмечалась большая роль математических методов и процедур при проведении системных исследований. Построение моделей исследуемого объекта, формулирование целей и критериев исследования в большой степени базируются на использовании аналитических методов либо процедур формализации закономерностей развития системы и методов проведения исследований. Однако в системном анализе наряду с формализованными процедурами большое место занимают неформальные, эвристические методы исследования. Этому есть ряд причин. Первая состоит в следующем. При построении моделей систем может иметь место отсутствие или недостаток исходной информации для определения параметров модели. В этом случае проводится экспертный опрос специалистов с целью устранения неопределенности или, по крайней мере, ее уменьшения, т. е. опыт и знания специалистов могут быть использованы для назначения исходных параметров модели.

Еще одна причина применения эвристических методов состоит в следующем. Попытки формализовать процессы, протекающие в исследуемых системах, всегда связаны с формулированием определенных ограничений и упрощений. Здесь важно не перейти ту грань, за которой

дальнейшее упрощение приведет к потере сути описываемых явлений. Иными словами, желание приспособить хорошо изученный математический аппарат для описания исследуемых явлений может исказить их суть и привести к неверным решениям. В этой ситуации требуется использовать научную интуицию исследователя, его опыт и умение сформулировать идею решения задачи, т. е. применяется подсознательное, внутреннее обоснование алгоритмов построения модели и методов их исследования, не поддающееся формальному анализу. Эвристические методы поиска решений формируются человеком или группой исследователей в процессе их творческой деятельности. Эвристика - это совокупность знаний, опыта, интеллекта, используемых для получения решений с помощью неформальных правил. Эвристические методы оказываются полезными и даже незаменимыми при исследованиях, имеющих нечисловую природу или отличающихся сложностью, неопределенностью, изменчивостью.

Наверняка, при рассмотрении конкретных задач системного анализа можно будет выделить еще какие-то их особенности, но, по мнению автора, отмеченные здесь особенности являются общими для всех задач системных исследований.

## Лабораторные работы

### 1. Система

*Пример 1.* Описать входные, выходные данные, возможные состояния системы вуз (цель – обучение студентов).

Примерами параметров системы могут быть: входные – уровень подготовки поступающих, уровень проведения вступительных экзаменов; выходные – уровень профессиональной подготовки и адаптационные возможности молодых специалистов после окончания вуза; внутренние – уровень и качество научной методической работы, уровень организации самостоятельной работы студентов, профессиональный уровень и состав преподавателей вуза.

*Пример 2.* Указать подсистемы системы, приведенной в предыдущем примере.

Примерами подсистем системы вуз могут быть такие системы: деканат (цель – управления факультетом), бухгалтерия (цель – обеспечение финансово-экономической жизни вуза), студенческий совет (цель – обеспечение студенческого самоуправления) и др.

*Пример 3.* Классифицировать приведенные выше системы.

Системы – "Вуз", "Деканат", "Бухгалтерия", "Студенческий совет" можно отнести:

- 1) по взаимоотношениям со средой – к открытым;
- 2) по происхождению – к смешанным (организационного типа);
- 3) по описанию – к смешанным;
- 4) по управлению – к комбинированным;
- 5) по функционированию – типа непараметрических систем.



## Задачи для самостоятельного решения

1. Указать пропущенные атрибуты системы и охарактеризовать их:

№	Вход	Выход	Цель	Система
1	Студенты	Знание темы		Лекция
2	Студенты	Оценка	Проверка знаний	
3		Текущее время	Показ времени	
4			Передвижение	Автомобиль
5		Предмет коллекции	Антиквариат	Автомобиль
6		Специалист		Студент
7				Семья
			Защита прав	Государство

2. Заполнить пропущенные места.

а) Если входные посылки, цель, условие задачи или решение плохо описываемы, формализуемы, то такие задачи называются...

б) Если структура проблем (модели, алгоритма, решения) плохо описываемы или определяемы, то такая проблема называется...

в) Сложные системы бывают сложности структурной (т.е. ...), или динамической (т.е. ...), или вычислительной (т.е. ...).

3. Указать подсистемы систем приведенных в задаче 1. Какие связи между ними существуют? Описать их внешнюю и внутреннюю среду, структуру. Классифицировать (с пояснением) системы, приведенные в задаче 1, и указать какие из них большие, а какие сложные системы и почему. Описать вход, выход, цель, связи указанной системы и ее подсистем.

4. Привести синонимы и антонимы следующих понятий:

а) целостность, структурированность, системность, системный анализ;

б) междисциплинарность, междисциплинарная проблема.

5. Привести пример системы, указать ее связи с окружающей средой, входные и выходные параметры, возможные состояния системы, подсистемы.

## 2. Описание системы

*Пример 1.* Система "Налоговая инспекция (ГНИ)". Информация может быть разных типов:

1) входная и выходная информация: информация о физических и юридических лицах; заявления; акты; декларации о доходах; уставы и учредительские договоры; свидетельства о регистрации, лицензии; ИНН и даты регистрации, реестры и др.; балансы; информация о платежах; иски, справки и др.; отчеты, приказы и др.; юридические документы и правовые акты и др.; нормативно-справочная информация; сведения о финансовых операциях и др.;

2) внутрисистемная информация: информация об отдельных физических и юридических лицах; заявления; акты; декларации о доходах; сведения о доходах; материалы к балансу; иски, справки и др.; постановления, приказы, заключения и др.; письма, запросы, инструкции и др.; нормативно-справочная информация; сведения о финансовых операциях и др.

Основные системные функции: учет налогоплательщиков; анализ налоговых платежей; организация и проведение необходимых налоговых мероприятий; внедрение систем новых информационных технологий; совершенствование функционирования налоговых систем и др.

Основные системные цели системы: обеспечение соблюдения правовых актов и законов; обеспечение учета платежей и плательщиков, правильности исчисления платежей; обеспечение взаимодействия с другими органами; обеспечение правильного применения штрафных санкций; обеспечение представления отчетности и документации другим органам.

Упрощенно инспекцию можно представим в виде подсистем линейной структуры:

n	...	2	1
---	-----	---	---

Внутреннее описание системы может иметь вид:

$$x(t+1,i) = x(t,i) - a(t,i)x(t,i) + b(t,i)x(t,i),$$

где  $x(t,i)$  – объем затрат на налоговые мероприятия в  $i$ -ой подсистеме в момент времени  $t$  ( $t=0, 1, 2, \dots, T$ );  $a(t,i)$  – коэффициент недобора (например, отношение объема обложенных налогами, к потенциально возможному объему или его эквиваленту) в  $i$ -й подсистеме в момент времени  $t$ ;  $b(t,i)$  – коэффициент экономии затрачиваемых ресурсов в  $i$ -й подсистеме в момент времени  $t$  ( $a, b$  – входные параметры).

Это открытая смешанного происхождения система, основные переменные которой можно описывать также смешанным образом (количественно и качественно), в частности, собираемость налогов – это обычно количественно описываемая характеристика; структуру налоговой инспекции можно описать и качественно, и количественно.

По типу описания закона (законов) функционирования системы эту систему можно отнести к не параметризованным в целом, хотя возможно выделение подсистем различного типа и описания, в частности, подсистемы анализа, информационного обеспечения, работы с юридическими и физическими лицами, юридический отдел и др.

Основные управляющие параметры в системе – параметры, стимулирующие своевременную и полную уплату налогов, прибыльность предприятий, а не штрафные санкции. Например, налог на прибыль – основной управляющий фактор. В налоговых системах имеются два основных типа управляющих параметров – фискального и стимулирующего характера.

*Пример 2.* Морфологическое описание экосистемы может включать структуру обитающих в ней хищников и жертв, их трофическую структуру или структуру пищи, их свойства, связи. Трофическая структура типа "хищники и жертвы" образуют две непересекающиеся совокупности  $X$  и  $Y$  со свойствами  $S(X)$  и  $S(Y)$ .

Возьмем в качестве языка морфологического описания русский язык с элементами алгебры. Тогда можно предложить следующее упрощенное модельное морфологическое описание такой системы:  $S=\{A, X, Y, B, R\}$ , где  $A=\{\text{человек, тигр, коршун, щука, баран, газель, пшеница, кабан, клевер, полевая мышь (полевка), змея, желудь, карась}\}$ ,

$X=\{\text{человек, тигр, коршун, щука, кабан, змея, баран}\}$ ,

$Y=\{\text{газель, пшеница, клевер, полевка, желудь, карась}\}$ ,

$S(X)=\{\text{пресмыкающееся, двуногое, четырехногое, плавающее, летающее}\}$ ,

$S(Y)=\{\text{живое существо, зерно, трава, орех}\}$ ,

$B=\{\text{обитатель суши, обитатель воды, растительность}\}$ ,

$R=\{\text{хищник, жертва}\}$ .

Трофическую структуру системы можно описать таблицей:

Y \ X	Человек	Тигр	Коршун	Щука	Змея	Кабан	Баран
Газель	1	1	0	0	0	0	0
Пшеница	1	0	0	0	0	1	0
Клевер	0	0	0	0	0	0	1
Полевка	0	0	1	0	1	0	0
Желудь	0	0	0	0	0	1	0

Информационное описание системы с помощью графа (рис. 10):

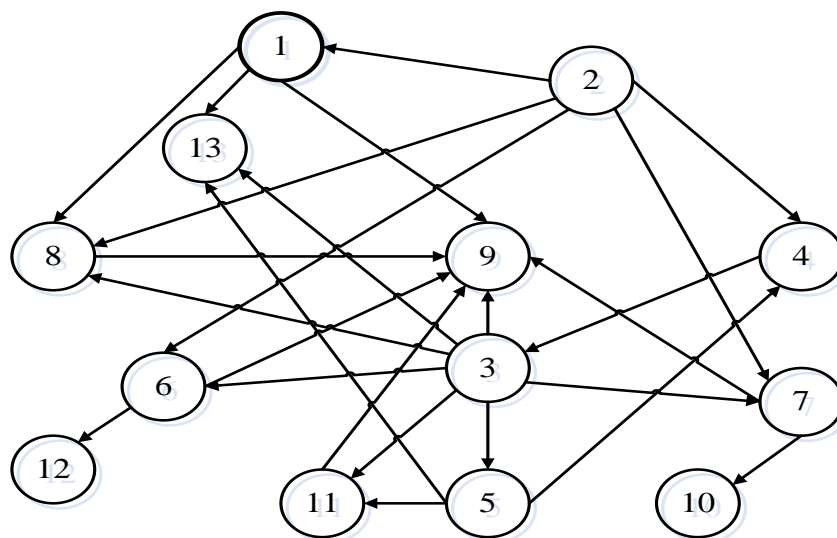


Рис. 10. Граф информационного описания:

1 – человек, 2 – тигр, 3 – коршун, 4 – щука, 5 – змея, 6 – кабан, 7 – баран, 8 – газель, 9 – пшеница, 10 – клевер, 11 – желудь, 13 – карась.

*Пример 3.* Морфологическое описание системы зависит от учитываемых связей, их глубины (связи между главными подсистемами, между второстепенными подсистемами, между элементами), структуры (линейная, иерархическая, сетевая, матричная, смешанная), типа (прямая связь, обратная связь), характера (позитивная, негативная).

Например, морфологическое описание автомата для производства некоторого изделия может включать геометрическое описание изделия, программу (описание последовательности действий автомата), описание операционной обстановки (маршрут обработки, ограничения действий и др.). При этом в данном случае описание зависит от типа и глубины связей, структуры изделия, заготовки и др.

*Пример 4.* Структурная когнитивная схема для анализа проблемы налогообложения фирмы (рис. 11) может иметь следующий вид:

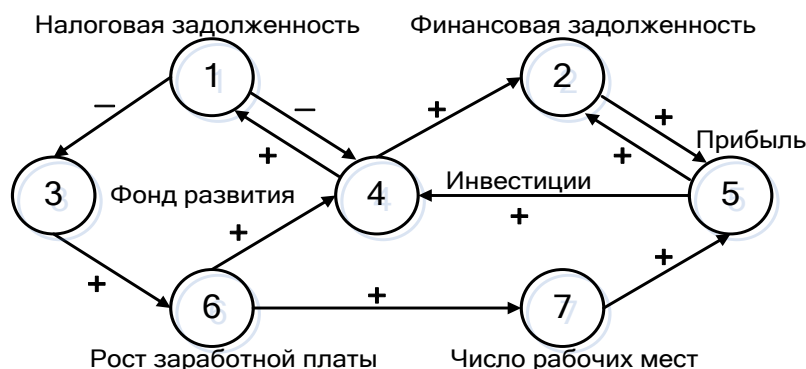


Рис. 11. Структурная когнитивная схема для анализа проблемы налогообложения фирмы

Когнитивная решетка образуется с помощью системы факторных координат, где каждая координата соответствует одному фактору, показателю (например, финансовому) или некоторому интервалу изменения этого фактора. Каждая область решетки соответствует тому или иному поведению. Показатели могут быть относительными (например, от 0 до 1), абсолютными (например от минимального до максимального), биполярными (высокий или большой – низкий или маленький).

Решетка для анализа и распределения основной группы налогов между федеральным и региональным бюджетами показана на рис. (в биполярной системе показателей), где зона В – наиболее благоприятная, зона С – наименее благоприятная.

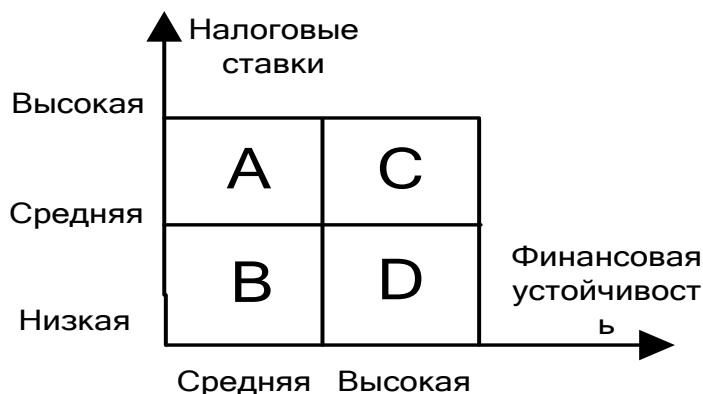


Рис. 12. Когнитивная решетка финансовой устойчивости фирмы:

### Задачи для самостоятельного решения

1. Построить пример одной, двух систем, указать входную и выходную, внутрисистемную информацию, системные функции и системные цели, построить внутреннее и внешнее описание, указать тип системы, описать основные управляющие параметры, сделать рисунки.
2. Привести морфологическое описание одной, двух систем. Привести графовое или другое описание, указать оценку глубины связей.
3. Построить одну, две когнитивные схемы и проанализировать с их помощью одной, двумя системами для принятия решений.

### 3. Сложность и связность систем

*Пример 1.* Система соединенных проводников с сопротивлениями  $x_1, x_2, \dots, x_n$  (или химических соединений с концентрациями  $x_1, x_2, \dots, x_n$  реагентов). Поведение этой системы описывается системой линейных алгебраических уравнений:

$$X = AX + B,$$

$$X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_3 \end{pmatrix}, \quad A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_3 \end{pmatrix}.$$

Заполненность матрицы  $A$  (связность) будет отражать сложность системы. Если, например,  $A$  – верхнетреугольная матрица, то независимо от  $n$  (размерности системы) она легко исследуется на разрешимость. Для этого достаточно выполнить обратный ход метода Гаусса.

Если  $A$  – общего вида (ни симметрична, ни ленточна и т. д.), то системе сложнее исследовать (необходимо выполнить вычислительно и динамически сложный прямой ход метода Гаусса).

Следовательно, система будет обладать структурной сложностью (которая уже может повлечь за собой и вычислительную сложность, например, при нахождении решения).

Если число  $n$  достаточно велико, то неразрешимость задачи хранения матрицы  $A$  верхнетреугольного вида в ОЗУ компьютера может стать причиной вычислительной и динамической сложности исходной задачи. Попытка использовать эти данные путем считывания с диска приведет к многократному увеличению времени счета.

*Пример 2.* Упрощение технических средств для работы в сетях, например, достижения, позволяющие подключать компьютер непосредственно к розетке электрической сети, связано с усложнением самих сетей – увеличением количества абонентов и информационных потоков в Интернете. Наряду с усложнением Интернет упрощает (для пользователя!) средства доступа, увеличивает вычислительные возможности.

*Пример 3.* Рассмотрим множество друзей  $X=\{\text{Иванов, Петров, Сидоров}\}$  и городов  $Y=\{\text{Москва, Париж, Нальчик}\}$ . Тогда можно построить 3D-структуру в  $R^3$  (в пространстве трех измерений – высота, ширина, длина), образуемую связыванием элементов  $X$  и  $Y$ , например, по принципу "кто где был" (рис. 13). В этой структуре использованы сетевые 2D-структуры  $X, Y$  (в которых, в свою очередь использованы 1D-структуры). При этом элементы  $X$  и  $Y$  можно брать как точки пространства нулевого измерения –  $R_0$ .

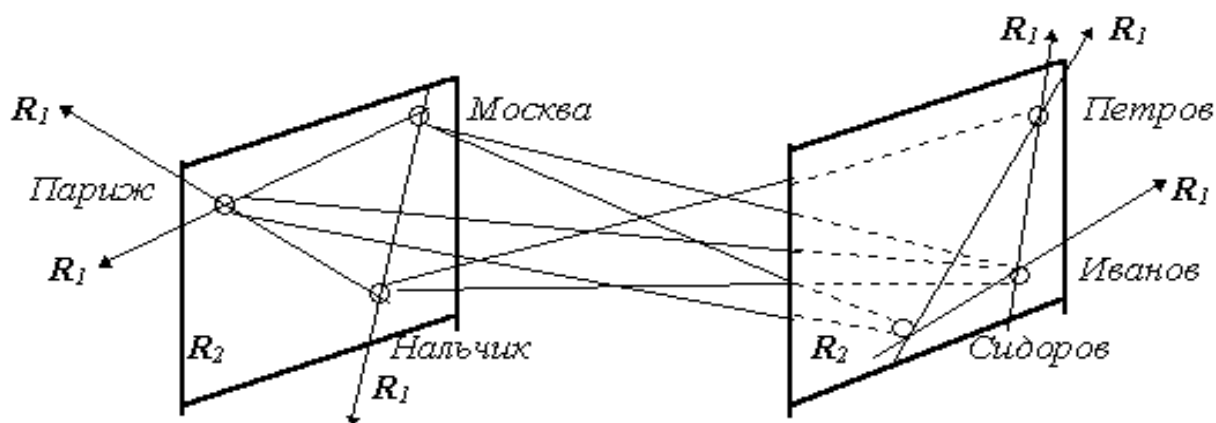


Рис. 13. Геометрическая иллюстрация сложных связанных структур:

*Пример 4.* Плохо структурируемыми будут проблемы описания многих исторических эпох, проблем микромира, общественных и экономических явлений, например, динамики курса валют, поведения толпы и др.

*Пример 5.* Аналитичность человеческого знания проявляется в существовании различных наук, в дифференциации наук, в более глубоком изучении все более узких вопросов, каждый из которых сам по себе и интересен, и важен, и необходим. Вместе с тем столь же необходим и обратный процесс синтеза знаний. Так возникают пограничные науки – бионика, биохимия, синергетика и другие.

*Пример 6.* Компьютеризация без постановки новых проблем, т.е. "навешивание компьютеров на старые методы и технологии обработки



информации" – это функционирование, а не развитие. Упадок моральных и этических ценностей в обществе могут привести к функционированию не только отдельных людей, но и социальных слоев общества.

*Пример 7.* Если на рынке труда будет повышен спрос на квалифицированный труд, появится стремление к росту квалификации, образования, что приведет к появлению новых образовательных услуг, качественно новых форм повышения квалификации. Развитие фирмы, появление сети филиалов может привести к новым организационным формам, в частности, к компьютеризованному офису, виртуальному офису или виртуальной корпорации.

*Пример 8.* В системе ООН для оценки социально-экономического развития стран используют индекс HDI (Human Development Index – индекс развития человечества, человеческого потенциала), который учитывает четыре основных параметра, изменяемых от минимальных до максимальных значений:

- ожидаемая продолжительность жизни (25–85 лет);
- уровень неграмотности взрослого населения (0–100 %);
- средняя продолжительность обучения в школе (0–15 лет);
- годовой доход на душу населения (200–40000 \$).

Эти сведения приводятся к общему значению HDI. По HDI все страны делятся на высокоразвитые, среднеразвитые и низкоразвитые. Изменение HDI (параметров, влияющих на него) влияет на экономические и другие параметры. Уровень HDI, наоборот, также может привести к переходу страны из одной категории (развитости по данному критерию) в другую, в частности, если в 1994 году Россия стояла на 34 месте в мире (из 200 стран), то в 1996 году – уже на 57 месте; это приводит к изменениям и во взаимоотношениях с окружающей средой, в том числе, – в политике.

*Пример 9.* В эколого-экономических системах сложность системы может часто пониматься как сложность эволюции системы, в частности, мера сложности – как мера, функция изменений, происходящих в системе в результате контакта с окружающей средой, ее управляемости.

### **Задачи для самостоятельного решения**

1. Привести пример одной, двух систем, пояснить причины и тип ее сложности, взаимосвязь сложностей различного типа. Указать меры (приемы, процедуры) оценки сложности. Проверить аксиомы сложности.

2. Построить 3D-, 2D-, 1D-структуры сложных систем (комплексов). Сделать рисунки.

3. Привести и описать примеры плохо структурируемых и плохо формализуемых систем, анализа и синтеза таких систем.

4. Определить сложность иерархической системы как число уровней иерархии. Увеличение сложности при этом требует больших ресурсов для достижения цели. Определить сложность линейной структуры как количество подсистем системы. Определить сложность сетевой структуры как максимальную из сложностей всех линейных структур, соответствующих различным стратегиям достижения цели (путей ведущих от начальной подсистемы к конечной). Сложность системы с матричной структурой можно определить количеством подсистем системы.

## **4. Управление в системе и системой**

*Пример 1.* **Управление в системе** – внутренняя функция системы, осуществляемая в системе независимо от условий внешней среды. **Управление системой** – выполнение внешних функций управления, обеспечивающих необходимые взаимоотношения системы со средой. Управление системой (в системе) используется для различных целей:

- увеличение скорости передачи сообщений;
- увеличение объема передаваемых сообщений;
- уменьшение времени обработки сообщений;
- увеличение степени сжатия сообщений;
- увеличение (модификации) связей системы;
- увеличение информации (информированности).

*Пример 2.* Появление возможности управлять электрическими и магнитными колебаниями сделало массово доступным радио, телевидение, при этом скорость передачи информации достигла скорости света; пропускная способность телеканала при этом, по сравнению с пропускной способностью телефонного канала выросла примерно в 2000 раз, ускорение обработки – в миллионы раз. Выросли сжатость информации и информативность сообщений.

*Пример 3.* Известен **принцип Эшби**: управляющая подсистема системы должна иметь более высокий уровень организации (или большее разнообразие, больший выбор), чем управляемая подсистема.

Например, менеджер фирмы должен быть более подготовлен, более грамотен, организован, свободен в своих решениях, чем, например, продавец фирмы. Малые, средние фирмы, ООО, АО – необходимый фактор разнообразия, успешного развития бизнеса, так как они более динамичны, гибки, адаптируемы к рынку. В развитых рыночных системах они имеют больший вес, например, в США доля крупных корпорации не более 10 %.

*Пример 4.* Основные функции и задачи управления системой:

1. *Организация системы* – выделение подсистем, описание их взаимодействий и структуры системы.
2. *Прогнозирование поведения системы.*

3. *Планирование ресурсов и элементов, структуры системы*, необходимых (достаточных – в случае оптимального планирования) для достижения цели системы.

4. *Учет и контроль ресурсов*, приводящих к тем или иным желаемым состояниям системы.

Функции и задачи управления системой взаимосвязаны и зависимы.

Нельзя, например, осуществлять полное планирование в экономической системе без прогнозирования, учета и контроля ресурсов, без анализа спроса и предложения – основных регуляторов рынка.

Экономика любого государства – всегда управляемая система, хотя подсистемы управления могут быть организованы по-разному, иметь различные элементы, цели, структуру, отношения.

Выявление управляющих параметров и их использование для управления системой может также уменьшить сложность системы. В свою очередь, уменьшение сложности системы может сделать систему полностью управляемой.

### **Задачи для самостоятельного решения**

1. Привести пример управляемой и неуправляемой системы. Указать основные управляемые и неуправляемые параметры системы. Указать основные функции и задачи управления.

2. Привести пример, показывающий необходимость принципа Эшби.

3. Привести пример, показывающий уменьшение (увеличение) сложности системы за счет изменения управления (управляемости). Попытайтесь оценить количественно это изменение.

## 5. Управление в системе

*Пример 1.* Чему равно количество информации в системе, принимающей  $n$  равновероятных состояний, если известно состояние системы.

Так как состояния равновероятны ( $p_i=1/n$ ), то  $I=\log_2 n$ . Если же выбор  $i$ -го варианта predetermined заранее (выбора фактически нет), например, состояние системы известно, в частности, она – в  $k$ -ом состоянии, то для  $p_i=0$ , кроме  $p_k=1$ , то тогда  $I=\log_2 1=0$ , т.е. здесь получение новой информации исключено.

*Пример 2.* Выяснить, сколько бит информации несет каждое двузначное число (отвлекаясь при этом от его конкретного числового значения).

Так как таких чисел может быть всего 90 (10–99), то информации будет количество  $I=\log_2 90$  или приблизительно  $I=6.5$ . Так как в таких числах первая цифра имеет 9 значений (1–9), а вторая – 10 значений (0–9), то  $I=\log_2 90=\log_2 9+\log_2 10$ . Приблизительное значение  $\log_2 10$  равно 3,32. Отсюда можно сделать вывод о том, что сообщение в одну десятичную единицу несет в себе в 3.32 больше информации, чем в одну двоичную единицу.

*Пример 3.* Имеются 192 монеты из которых одна фальшивая (легче). Сколько взвешиваний нужно произвести, чтобы определить ее?

Если положить на весы равное количество монет, то получим три возможности: а) чашки уравновешены; б) левая чашка ниже; в) правая чашка ниже.

Итак, каждое взвешивание дает информацию  $I=\log_2 3$  и, следовательно, для определения этой фальшивой монеты нужно сделать  $k$  взвешиваний, где  $k$  удовлетворяет условию  $\log_2 3^k \geq \log_2 192$ .

Отсюда,  $k \geq (6 + \log_2 3) / \log_2 3$  или, приблизительно,  $k \geq 4,89$ . Следовательно, необходимо сделать не менее  $\text{int}(k+0,5)=5$  взвешиваний (достаточно пяти взвешиваний).

*Пример 4.* ДНК человека можно представить себе как некоторое слово в четырехбуквенном алфавите, где каждой буквой помечается звено цепи ДНК или нуклеотид. Сколько информации (в битах) содержит ДНК, если в нем содержится примерно  $1,5 \times 10^{23}$  нуклеотидов?

На один нуклеотид приходится  $\log_2(4)=2$  (бит) информации. Следовательно, ДНК в организме человека позволяет хранить  $3 \times 10^{23}$  бит информации. Это вся информация, куда входит и избыточная.

Реально используемой, – структурированной в памяти человека информации, – меньше. Следует заметить, что человек за среднюю продолжительность жизни использует около 5–6 % нейронов (нервных клеток мозга – "ячеек ОЗУ человека").

*Пример 5.* В сообщении 4 буквы "а", 2 буквы "б", 1 буква "и", 6 букв "р". Определить количество информации в одном таком сообщении.

Число  $N$  различных возможных сообщений длиной в 13 букв будет равно величине:

$$N = \frac{13!}{(4! \times 2! \times 1! \times 6!)} = \frac{(6! \times 7 \times 8 \times 9 \times 10 \times 11 \times 12 \times 13)}{(6! \times 2! \times 4!)} = 7 \times 2 \times 9 \times 10 \times 11 \times 13 = 180180.$$
 Количество информации  $I$  в одном сообщении будет равно величине:  $I = \log_2(N) = \log_2(180180) = 17,5$  (бит).

### **Задачи для самостоятельного решения**

1. В какой из цифр 7 числа 777 больше информации и почему?
2. Определить количество информации (в битах) в одной букве русского (латинского) алфавита. Найти какое количество информации определяется двухбуквенными сочетаниями (всем алфавитом)?

3. Сообщение может содержать только по три знака "-" и два знака "+". Определить количество информации в одном таком сообщении.

4. Частотный словарь русского языка (словарь относительных частот, вероятностей появления букв в произвольном тексте языка) приведен ниже. Определить количество информации каждой буквы словаря.

Буква	Частота	Буква	Частота	Буква	Частота
о	0.090	к	0.028	ь, ъ, б	0.014
е, е	0.072	м	0.026	ч	0.013
а, и	0.062	д	0.025	й	0.012
т, н	0.053	п	0.023	х	0.009
с	0.045	у	0.021	ж, ю, ш	0.006
р	0.040	я	0.018	ч, щ, э	0.003
в	0.035	ы, з	0.016	ф	0.002

5. Сравнить и обосновать, хотя бы качественно, изменение информации и энтропии в сосуде с водой до и после замораживания.

6. Составить одну задачу на использование формулы Шеннона.

## Контроль знаний

### 1. Теоретические вопросы

1. Предпосылки развития системных представлений. Потребности научного познания. Потребности проектирования, создания, эксплуатации и управления сложными объектами.
2. Предмет и метод теории систем.
3. Терминология теории систем: понятие «система».
4. Терминология теории систем: элемент, подсистема, внешняя среда, состояние, поведение, равновесие, устойчивость, цель.
5. Терминология теории систем: связь, структура.
6. Терминология теории систем: организованность и упорядоченность, развитие, гомеостаз, управление.
7. Понятие функции системы. Классификация функций сложной системы.
8. Дерево функций системы. Взаимосвязь функций и структуры сложной системы.
9. Классификация систем: по генетическому признаку, по степени определенности функционирования, по типу переменных системы.
10. Классификация систем: по сложности структуры и поведения, по характеру взаимодействия со средой.
11. Аспекты (принципы) системного подхода: системно-интегративный, системно-компонентный, системно-коммуникационный.
12. Аспекты (принципы) системного подхода: историчности, иерархичности, множественности описаний.
13. Качественные и количественные методы описания систем.
14. Предположения о характере функционирования систем.



15. Система как отношение на абстрактных множествах. Временные и алгебраические системы.

16. Множество моментов времени. Входные и выходные сигналы систем.

17. Пространство состояний системы.

18. Операторы переходов детерминированной системы без последствия. Движение и фазовая траектория системы.

19. Операторы выходов детерминированной системы без последствия. Процесс функционирования системы.

20. Детерминированная система без последствия с входными сигналами двух классов.

21. Стохастические системы.

22. Понятие «агрегат» в теории систем.

23. Операторы переходов агрегата.

24. Операторы выходов агрегата.

25. Агрегативные системы. Схема сопряжения элементов системы.

## **2. Задачи**

1. Описание на теоретико-множественном языке входного, выходного процессов, пространства состояний конкретной системы.

2. Описание на теоретико-множественном языке движения, фазовой траектории, процесса функционирования конкретной системы.

3. Описание процесса функционирования агрегата общего вида.

4. Описание процесса функционирования одноканальной системы массового обслуживания как агрегата.

### 3. Тестовый контроль

1. *Базисом развития системных идей и системного подхода можно назвать следующие факторы:*

а) Современные научные фундаментальные и прикладные исследования с подходом целостности, организованности объектов исследования, как, например, кибернетика, биология, психология, лингвистика;

б) современная сложная техника и программное обеспечение, в которой системный подход представляет ведущий принцип разработки и проектирования сложных объектов;

в) организация производства и управления и социально-экономическая сфера общества, когда к анализу процессов приходится привлекать экономические, экологические, социологические, организационные, психологические, правовые и этические соображения;

г) все перечисленные.

2. *В чем отличие системного подхода от традиционного?*

а) Мысль движется от простого к сложному, от части к целому, от элемента к системе;

б) мысль движется от целого к составным частям, от системы к элементам, от сложного к простому.

3. *Что такое системный подход?*

а) Совокупность методов и средств, позволяющих исследовать свойства, структуру и функции объектов, явлений или процессов в целом, представив их в качестве систем со всеми сложными межэлементными взаимосвязями, взаимовлиянием элементов на систему и на окружающую среду, а также влиянием самой системы на ее структурные элементы;

б) совокупность методов и средств, позволяющих исследовать свойства, структуру и функции объектов, явлений или процессов в целом, выделив их из внешней среды.

4. *Каких видов может быть отношение исследователя к объекту исследования?*

- а) Созерцательное, экспериментальное и потребительское;
- б) созерцательное, экспериментальное и эмпирическое;
- в) теоретическое, экспериментальное и эмпирическое.

5. *Система – ...*

а) Множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, которое образует определенную целостность, единство;

б) совокупность взаимосвязанных элементов, объединенных единством цели (или назначения) и функциональной целостностью;

в) объект, представляющий собой множество элементов, находящихся в рациональных отношениях и связях между собой и образующих целостность, единство, границы которого задаются пределами управления;

г) все перечисленные.

б. *Поведение системы – ...*

а) Способность системы возвращаться в состояние равновесия после того, как она была из этого состояния выведена под влиянием внешних возмущающих воздействий;

б) совокупность значений существенных свойств системы в определенный момент времени;

в) способность системы в отсутствие внешних возмущающих воздействий (постоянных воздействиях) сохранять свое состояние сколь угодно долго;

г) множество последовательных во времени состояний системы.

7. *Какими основными признаками должен обладать объект, чтобы его можно было считать системой?*

а) Признаки целостности и членимости объекта;

б) наличие более или менее устойчивых связей и интегративных свойств;

в) организованность;

г) все перечисленные.

8. *Устойчивость системы – ...*

а) Способность системы возвращаться в состояние равновесия после того, как она была из этого состояния выведена под влиянием внешних возмущающих воздействий;

б) способность сохранять динамическое равновесие со средой, способность к изменению и адаптации;

в) все перечисленные.

9. *Структура системы – ...*

а) Устойчивая упорядоченность в пространстве и во времени ее элементов и связей между ними, определяющая функциональную компоновку системы и ее взаимодействие с внешней средой;

б) множество всех возможных отношений между подсистемами и элементами внутри системы;

в) то, что остается неизменным в системе при изменении ее состояния, при реализации различных форм поведения, при совершении операции;

г) все перечисленные.

10. *Неиерархические структуры удовлетворяют следующим требованиям:*

а) Каждая подсистема является либо управляющей, либо подчиненной, либо (по отношению к различным подсистемам) то и другое одновременно; 2) существует по крайней мере одна только подчиненная система; 3) существует одна и только одна управляющая подсистема; 4) любая подчиненная подсистема непосредственно взаимодействует с одной и только одной управляющей (обратное не обязательно);

б) 1) не существует подсистемы, которая является только управляющей; 2) не существует подсистемы, которая является только подчиненной; 3) любая подчиненная подсистема взаимодействует более чем с одной управляющей (обратное необязательно);

в) все перечисленные.

11. *Перечислите основные системные характеристики функций.*

а) Совместимость на элементарном уровне, изменчивость (лабильность), возможность актуализации на свойствах элементов;

б) интенсивность (выраженность) функции и степень детерминированности;

в) все перечисленные.

12. *Противоположные типы структур системы?*

а) Экстенсивные и интенсивные;

б) редуцирующие и деградирующие;

в) плоские и объемные.

13. *Функционал, количественно или качественно описывающий деятельность (действие) системы, называют ...*

а) Функционалом эффективности;

- б) качественным функционалом ;
- в) функционалом деятельности.

14. *Для чего предназначено морфологическое описание системы?*

- а) Представление о свойствах и поведении системы;
- б) представление о функционале системы;

представление о строении системы, ее подсистемах и элементах.

15. *Какие системы считаются гетерогенными?*

- а) Содержат однотипные элементы;
- б) содержат разнотипные элементы.

16. *Какие классы сходства систем Вы знаете?*

- а) Идентичность;
- б) эквивалентность;
- в) толерантность;
- г) все перечисленные.

17. *По физическому наполнению связи в системе делятся на ...*

- а) Вещественные, энергетические, информационные, смешанные и не наполненные;
- б) прямые, обратные, контрсвязи и нейтральные.

18. *К системоформирующим факторам (F-факторам) относятся...*

- а) Число существенных связей, которыми может обладать элемент; число системнозначных свойств связей; число квантов пространства и времени, в которых может находиться и существовать элемент, связь и их свойства;

- б) число элементов системы; число системнозначных свойств элемента;
- в) все перечисленные.

19. *Какие критерии развития системы Вы знаете?*

- а) Увеличение порядка, рост организованности;
- б) все перечисленные;
- в) увеличение информации, снижение энтропии систем.

20. *Управление объектом (системой) – ...*

- а) Реализация его сущности и заложенного в нем потенциала;
- б) воздействие с целью достичь желаемых свойств его поведения;
- в) совокупность значений существенных свойств системы в определенный момент времени.

21. *На сколько групп могут быть условно разделены все функции, реализуемые сложной системой?*

- а) 3;
- б) 5;
- в) 7.

22. *На какие виды делятся материальные системы?*

- а) Описательные, символические (формализованные);
- б) естественные, искусственные (технические), смешанные системы.

23. *Какие системы являются детерминированными?*

- а) Поведение системы иногда предсказуемо, иногда непредсказуемо;

- б) поведение системы в любой момент времени предсказуемо;
- в) поведение в любой момент времени точно нельзя определить.

24. *Сколько элементов содержится в ультрасложных системах?*

- а)  $10..10^3$ ;
- б)  $10^4-10^7$ ;
- в)  $10^7..10^{30}$ ;
- г)  $>10^{30}$ .

25. *Принцип целостности – ...*

- а) Система активно воздействует на компоненты, преобразуя их соответственно собственной природе;
- б) процедура выявления связей, примененная ко всей системе целиком приводит к принципу учета внешней среды, который можно не считать самостоятельным принципом;
- в) свойства системы (целого) не являются суммой свойств элементов или частей (несводимость целого к простой сумме частей).

26. *Какие принципы системного подхода Вы знаете?*

- а) Принципы целостности, системно-омпонентный, коммуникативности, историчности, иерархичности, множественности описания;
- б) принципы конечной цели, модульного построения, функциональности, децентрализации, неопределенности, чувствительности, свертки;
- в) все перечисленные.

27. *Какие методы относятся к качественным?*

- а) Методы, связанные с оценкой показателей, характеризующих различные свойства систем, выбором оптимальной структуры системы, выбором оптимальных значений ее параметров;



б) методы типа «мозговой атаки» или коллективной генерации идей, методы типа сценариев, методы экспертных оценок, морфологические методы, методы типа «дерева целей» и другие.

28. *Специфический объект, создаваемый с целью получения и (или) хранения информации, отражающий свойства, характеристики и связи объекта оригинала произвольной природы, существенные задачи, решаемой субъектом –...*

- а) Система;
- б) модель;
- в) образец;
- г) прототип.

29. *Модель состоит из следующих компонент:*

- а) Субъект; язык описания модели;
- б) субъект; объект-оригинал; язык описания модели;
- в) объект-оригинал; задача, решаемая субъектом; язык описания отношений субъекта и объекта;
- г) объект-оригинал; субъект; задача, решаемая субъектом; язык описания модели.

30. *Материальному объекту соответствует ...*

- а) Одна адекватная модель, связанная с одной задачей;
- б) конечное множество адекватных, но различных по существу моделей, связанных с разными задачами;
- в) бесконечное множество адекватных, но разных по существу моделей, связанных с разными задачами.

31. *К характеристикам связи между элементами системы относят:*

- а) Физическое наполнение, направленность, скорость потока.
- б) направленность, мощность, начальная точка, роль в системе.
- в) направление стока, мощность, физическое наполнение.
- г) мощность, роль в системе, физическое наполнение, направленность.

32. *Паре (задача, объект) соответствует также множество моделей, содержащих одну и ту же информацию, но различающихся ...*

- а) Формами хранения информации;
- б) формами передачи информации;
- в) формами представления информации;
- г) формами получения и вывода информации.

33. *Роль связи в системе определяется ...*

- а) Силой связи;
- б) характером влияния связи;
- в) направлением связи.

34. *В зависимости от степени воздействия на внешнюю среду и характера взаимодействия с другими системами, какую функцию нельзя причислить к разделению функций по возрастающим рангам?*

- а) Пассивное существование;
- б) материал для других систем;
- в) обслуживание систем более высокого порядка;
- г) паразитирование на других системах;
- д) противостояние другим системам, среде (выживание);
- е) поглощение (экспансия) других систем и среды;
- ж) преобразование других систем и среды.

35. *Можно свести систему к простой совокупности ее элементов?*

- а) Да;
- б) нет;
- в) да, но с ограничениями.

36. *Что показывает энтропия?*

- а) Степень точности построения системы;
- б) степень неопределенности;
- в) степень взаимовлияния элементов системы.

37. *Для чего не предназначены информационные элементы системы?*

- а) Прием информации;
- б) выработка энергии;
- в) запоминание информации;
- г) преобразование информации.

38. *Равновесие системы – ...*

- а) Способность системы перейти из начального состояния в конечное без потери энергии;
- б) способность системы в отсутствие внешних возмущающих воздействий сохранять свое состояние сколь угодно долго;
- в) способность системы при отклонении от своего начального положения вернуться в исходное положение.

39. *Как будет изменяться организованность системы, если она станет полностью открытой?*

- а) Уменьшится;

- б) остается неизменной;
- в) возрастает.

40. *Что определяет глубину описания и степень детализации элементов системы при морфологическом описании?*

- а) Количество исходной информации;
- б) назначение системы;
- в) сложностью системы.

41. *Морфологические свойства системы существенно зависят от...*

- а) Сложности системы;
- б) характера связей;
- в) языком описания системы.

42. *Информационное описание должно давать представление о.*

- а) Задании информационных потоков;
- б) указании, какая информация необходима для описания системы;
- в) организации системы.

### Библиографический список

1. Антонов, А.В. Системный анализ: учебник для вузов/ А.В. Антонов. – М.: Высшая школа, 2004. – 454 с.
2. Бусленко, Н. П. Моделирование сложных систем/ Н. П. Бусленко. – М.: Наука, 1978.
3. Губанов, В. А., Введение в системный анализ / В. А. Губанов, В. В. Захаров, А. Н. Коваленко. – Ленинград: Изд-во ЛГУ, 1988. – 232 с.
4. Заболеева-Зотова, А.В. Системный анализ: учеб. пособие / А.В. Заболеева-Зотова, С.А. Фоменков, Ю.А. Орлова; ВолгГТУ. - Волгоград, 2011. - 140 с.
5. Заболеева-Зотова, А.В. Естественный язык в автоматизированных системах. Семантический анализ текстов: монография / А.В. Заболеева-Зотова; ВолгГТУ. - Волгоград: РПК "Политехник", 2002. - 228 с.
6. Заболеева-Зотова, А.В. Лингвистические системы: модели, методы, приложения: монография / А.В. Заболеева-Зотова; ВолгГТУ. - Волгоград: РПК "Политехник", 2004. - 190 с.
7. Заболеева-Зотова, А.В. Введение в системологию: учеб. пособ.(гриф). Рек. учебно.-метод. объедин. вузов по образ. в обл. машиностр. / А.В. Заболеева-Зотова; ВолгГТУ. - Волгоград, 1999. - 109 с.
8. Заболеева-Зотова, А.В. Лингвистическое обеспечение автоматизированных систем: учеб. пособ.(гриф). Доп. УМО вузов по университетскому политехн. образованию / А.В. Заболеева-Зотова, В.А. Камаев. - М.: Высшая школа, 2008. - 244 с.
9. Заболеева-Зотова, А.В. Развитие системы автоматизированного определения эмоций и возможные сферы применения / А.В. Заболеева-Зотова, Ю.А. Орлова, В.Л. Розалиев, А.С. Бобков // Открытое образование. - 2011. - № 2. - С. 59-62.
10. Заболеева-Зотова, А.В. Применение нечётких темпоральных высказываний для описания движений при эмоциональных реакциях / А.В.

Заболеева-Зотова, Ю.А. Орлова, В.Л. Розалиев, А.С. Бобков // Изв. ВолгГТУ. Серия "Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах". Вып. 10 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. - Волгоград, 2011. - № 3. - С. 60-64.

11. Заболеева-Зотова, А.В. Атрибутная грамматика формального документа "Техническое задание" / А.В. Заболеева-Зотова, Ю.А. Орлова // Изв. ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах»: межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. - Волгоград, 2008. - Вып. 4, № 2. - С. 39-43.

12. Заболеева-Зотова, А.В. Автоматизация семантического анализа документации технического задания / А.В. Заболеева-Зотова, Ю.А. Орлова // Вестник компьютерных и информационных технологий. - 2008. - № 9. - С. 26-34.

13. Заболеева-Зотова, А.В. Моделирование лексического анализа текста технического задания / А.В. Заболеева-Зотова, Ю.А. Орлова // Изв. ВолгГТУ. Серия "Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах": межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. - Волгоград, 2007. - Вып.2, №2. - С. 39-42.

14. Заболеева-Зотова, А.В. Автоматизация процедур семантического анализа текста технического задания / А.В. Заболеева-Зотова, Ю.А. Орлова // Известия ВолгГТУ. Серия "Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах": межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. - Волгоград, 2007. - Вып.3, №9. - С. 49-52.

15. Заболеева-Зотова, А.В. Автоматизация начальных этапов проектирования программного обеспечения / А.В. Заболеева-Зотова, Ю.А. Орлова // Изв. ВолгГТУ. Серия "Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах". Вып. 8 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. - Волгоград, 2010. - № 6. - С. 121-124.

16. Казиев, В.М. Введение в анализ, синтез и моделирование систем / В. М. Казиев. – М: БИНОМ. Лаборатория знаний, ИНТУИТ.ру, 2006. – 248с.
17. Клир, Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач/ Дж. Клир. – М.: Радио и связь, 1990. – 544 с.
18. Камаев В. А. Интеллектуальные системы автоматизации управления энергосбережением / В. А. Камаев, М. В. Щербаков, А. Бребельс // Открытое образование. – 2011. – № 2. – С. 227–231.
19. Концептуальное проектирование. Развитие и совершенствование методов: монография. [коллективная] / В.А. Камаев, Л.Н. Бутенко, А.М. Дворянкин, С.А. Фоменков, Д.В. Бутенко, Д.А. Давыдов, А.В. Заболеева-Зотова, И.Г. Жукова, А.В. Кизим, С.Г. Колесников, В.В. Костерин, А.В. Петрухин, М.В. Набока. - М.: Машиностроение-1, 2005. - 360 с.
20. Орлова, Ю.А. Автоматизация семантического анализа текста технического задания// автореферат диссертации - Волгоград: РПК «Политехник», 2008. – 24с.
21. Орлова, Ю.А. Автоматизация семантического анализа текста технического задания// диссертация - Волгоград: РПК «Политехник», 2008. – 228с.
22. Орлова, Ю.А. Анализ и оценка эмоциональных реакций пользователя при речевом взаимодействии с автоматизированной системой / Ю.А. Орлова, В.Л. Розалиев // Открытое образование. - 2011. - № 2. - С. 83-85.
23. Орлова, Ю.А. Обзор современных автоматизированных систем распознавания эмоциональных реакций человека / Ю.А. Орлова, В.Л. Розалиев // Изв. ВолгГТУ. Серия "Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах". Вып. 10 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. - Волгоград, 2011. - № 3. - С. 68-72.

24. Орлова, Ю.А. Расширенная нечёткая атрибутивная грамматика над фреймовой структурой текста технического задания / Ю.А. Орлова // Изв. ВолгГТУ. Серия "Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах". Вып. 9 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. - Волгоград, 2010. - № 11. - С. 60-63.

25. Орлова, Ю.А. Основные функциональные возможности автоматизированных обучающих систем и целесообразность подготовки преподавателя к эффективному их использованию в педагогической деятельности / Ю.А. Орлова, Ю.А. Зубарев // Философия социальных коммуникаций. - 2010. - № 1. - С. 124-132.

26. Орлова, Ю.А. Анализ моделей и методов повышения эффективности проектирования программного обеспечения / Ю.А. Орлова // Изв. ВолгГТУ. Серия "Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах". Вып. 9 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. - Волгоград, 2010. - № 11. - С. 137-141.

27. Орлова, Ю.А. Алгоритмическое обеспечение анализа текста технического задания и построения моделей программного обеспечения / Ю.А. Орлова // Изв. ВолгГТУ. Серия "Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах". Вып. 8: межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. - Волгоград, 2010. - № 6. - С. 68-72.

28. Орлова, Ю.А. Информационные технологии при подготовке менеджеров в вузах физической культуры и спорта / Ю.А. Орлова // Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта. - 2008. - № 6. - С. 78-82.

29. Заболеева-Зотова, А.В. Автоматизация семантического анализа текста технического задания : монография / А.В. Заболеева-Зотова, Ю.А. Орлова; ВолгГТУ. - Волгоград, 2010. - 155 с.

30. Орлова, Ю.А. Современные информационные технологии в подготовке менеджеров: монография / Ю.А. Орлова. - Волгоград, 2009. - 213 с.



31. Острейковский, В. А. Теория систем/ В. А. Острейковский. – М.: Высшая школа, 2007. – 410 с.
32. Перегудов, Ф. И. Введение в системный анализ/ Ф. И. Перегудов, Ф. П. Тарасенко. – М.: Высшая школа, 1989. – 367 с.
33. Прангишвили, И. В. Системный подход и повышение эффективности управления/ И. В. Прангишвили. – М.: Наука, 2005. – 422 с.
34. Прангишвили, И. В. Системный подход, системное мышление и энтропизация фундаментальных знаний/ И. В. Прангишвили // Проблемы управления. – 2003. – №1. – С. 3–7.
35. Розалиев, В.Л. Моделирование эмоционального состояния человека на основе гибридных методов / В.Л. Розалиев, А.В. Заболеева-Зотова // Программные продукты и системы. - 2010. - № 2. - С. 141-146.
36. Розалиев, В.Л. Моделирование эмоциональных реакций пользователя при речевом взаимодействии с автоматизированной системой / В.Л. Розалиев // Изв. ВолгГТУ. Серия "Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах". Вып. 8 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. - Волгоград, 2010. - № 6. - С. 76-79.
37. Розалиев, В.Л. Применение нейронных сетей и грануляции при построении автоматизированной системы определения эмоциональной реакции человека / В.Л. Розалиев, А.С. Бобков, О.С. Федоров // Изв. ВолгГТУ. Серия "Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах". Вып. 9 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. - Волгоград, 2010. - № 11. - С. 63-67.
38. Сборник задач по курсам "Математическое моделирование", "Методы оптимизации": учеб. пособ.(гриф). Рек. УМО вузов по образ. в обл. машиностр. и приборостр. / В.А. Камаев, С.А. Фоменков, М.Б. Сипливая, В.В. Костерин, Н.П. Садовникова; ВолгГТУ. - Волгоград: РПК "Политехник", 1999. - 86 с.

39. Система формирования знаний в среде Интернет: монография / В.И. Аверченков, А.В. Заболеева-Зотова, Ю.М. Казаков, Е.А. Леонов, С.М. Рошин; Брянский гос. техн. ун-т. - Брянск: Изд-во БГТУ, 2008. - 180 с.

40. Спицнадель, В. Н. Основы системного анализа/ В. Н. Спицнадель. – СПб.: Изд. Дом «Бизнес–пресса», 2000. – 326 с.

41. Теоретические основы системного анализа / В. И. Новосельцев [и др.] ; под ред. В. И. Новосельцев. – М.: Майор, 2006. – 592 с.

42. INTUIT [Электронный ресурс].- 2010.- Режим доступа: [www.intuit.ru](http://www.intuit.ru)

Научное издание

Алла Викторовна **Заболеева-Зотова**,

Сергей Алексеевич **Фоменков**,

Юлия Александровна **Орлова**

## **ОСНОВЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА**

*Учебное пособие*

Редактор

Компьютерная верстка

Темплан заказных изданий 2012 г. Поз. №

Подписано в печать ...12.2012. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.

Гарнитура Times. Печать офсетная Усл. Печ. Л. \_\_. Уч.изд. л. \_\_\_\_.

Тираж 100 экз. Заказ

Волгоградский государственный технический университет

400131, г. Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, 28, корп.1

Отпечатано в типографии ВолгГТУ.

400131, г. Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, 28, корп.7