## ИНСТИТУТ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА

И СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

**ОСНОВЫ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ**

**КИБЕРНЕТИКИ**

Учебное пособие

Житомир 2001

УДК 33:007.

Основы экономической кибернетики. Учебное пособие. Житомир: ИПСТ. 1998г. (В электронном виде).

Учебное пособие «Основы экономической кибернетики» составлено по материалам книги: Экономическая кибернетика: Учебное пособие; Донецкий гос.ун-т.-Донецк ДонГУ,1999.-397с.

Составитель Тимонин Ю.А.

СОДЕРЖАНИЕ

ГЛАВА 1. СИСТЕМА 6

Уровни абстрактного описания систем 7

Системный подход 10

Сложная система 12

Классификация систем 21

Формализация поведения систем 22

ГЛАВА 2. МОДЕЛЬ 28

Изоморфизм. 30

Гомоморфизм. 32

Математическое моделирование. 32

Классификация моделей. 35

Методика моделирования. 36

ГЛАВА 3. УПРАВЛЕНИЕ 39

Условия существования системы управления 43

Виды связей в системах управления 52

Виды управления 54

Самоорганизующиеся системы 61

Принципы и законы управления 80

ГЛАВА 4. ИНФОРМАЦИЯ 81

Количественное измерение информации 83

*Неопределенность* 90

Семиотика 102

Экономическая информация 110

ГЛАВА 5. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА 121

*Экономическая система как система управления* 131

*Идентификация экономической системы* 133

ГЛАВА 6.ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА МОДЕЛЕЙ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ 137

Принципы декомпозиционного анализа *экономической системы* 138

Декомпозиционным решением исходной глобальной задачи управления экономической системой является определение решения с помощью системы взаимосвязанных локальных задач. При этом подразумевается, что частные, или локальные задачи являются в определенном смысле менее сложными, чем исходная задача. 138

*Координация в иерархических системах управления* 147

Методы декомпозиционного анализа 160

Введение

Кибернетика исследует весьма специфический предмет – системы и процессы управления. Она характеризуется новыми подходами к анализу и синтезу сложных динамических объектов. Кибернетике присущ системный подход, позволяющий рассматривать явление во всей его сложности, с учетом всех имеющихся связей и свойств. Это позволяет выявить, познать и рационально использовать закономерности управления в природе, обществе и искусственно создаваемых системах. Вместе с тем, развитие кибернетики потребовало переосмысления некоторых старых понятий, сложившихся в общественной практике, и формализации представлений терминологического характера, являющихся исходной базой при изучении сложных систем управления различной природы. В настоящем разделе будут даны содержательные характеристики основных понятий кибернетики: система (1), модель (2), управление (3), информация (4).

# ГЛАВА 1. СИСТЕМА

Заметим прежде всего, что определение любой конкретной системы является произвольным. Вполне обоснованно ножницы можно назвать системой. Однако более сложная совокупность элементов, включающая, например, работницу, режущую что-нибудь ножницами, также является подлинной системой. В свою очередь, работница с ножницами представляет часть более крупной системы производства какого-либо изделия и т.д.

По существу, вся вселенная состоит из множества систем, каждая из которых содержится в более крупной системе подобно множеству пустотелых кубиков, вложенных друг в друга. Так же, как всегда, можно представить себе более обширную систему, в которую входит данная, всегда можно выделить из данной системы более ограниченную. Пару ножниц, о которой мы только что упоминали, можно считать минимальной системой. Однако посмотрим, что получится, если сломать винт, соединяющий лезвия, и рассматривать одно лезвие. Исходя из старой точки зрения, это уже не система. а один безжизненный ее обломок. Действительно, одно лезвие уже не представляет систему для резания. Но, положив лезвие под микроскоп, мы увидим, что оно является сложной системой компонент, взаимодействующих друг с другом особым образом, определяемым. например, температурой, которую имеет лезвие. Элементами этой системы являются различные разновидности зерен стали. Однако, если мы возьмем одно из них, то можно обнаружить, что оно, в свою очередь, содержит некоторую систему, в данном случае атомную систему, обладающую определенными свойствами. Основной вывод из всех этих рассуждений сводится к тому, что при стремлении исследовать все воздействия, влияющие на какой-либо единичный материальный объект, мы должны определить его как часть некоторой системы. Эта система является системой в силу того, что она состоит из взаимосвязанных частей и в определенном смысле представляет замкнутое целое. Однако объект, который мы рассматриваем, безусловно, является частью ряда таких систем, каждая из которых, в свою очередь, представляет подсистему, входящую в ряд более крупных систем. Таким образом, задача строгого определения системы, которую мы хотим исследовать, отнюдь не проста.

##### Ст. Бир

По поводу определения понятия "система" существует много различных высказываний. Первоначально "систему" определяли как комплекс элементов, находящихся во взаимодействии (австрийский биолог-теоретик Людвиг фон Берталанфи, основоположник общей теории систем, 1950 г.), или как множество объектов вместе с отношениями между объектами и их атрибутами (А. Холл и Р.-Ф. Фейджин). Во всех определениях такого рода подчеркивалось, что система представляет собой целостный комплекс взаимосвязанных элементов и что она имеет определенную структуру и взаимодействует с внешней средой.

Современное определение термина "система" связано с развитием общей теории систем и принятым уровнем абстрагирования при построении математической модели реальной системы. А поскольку математических моделей, применимых для описания реального объекта, может быть сколь угодно много, и все они определяются принятым уровнем абстрагирования, то нет и единой формулировки понятия "система", т.к. определение этого термина в зависимости от принятого исследователем уровня абстрагирования является различным.

### Уровни абстрактного описания систем

Наиболее применимыми в практике системного анализа являются следующие уровни абстрактного описания систем:

* символический, или лингвистический;
* теоретико-множественный;
* абстрактно-алгебраический;
* топологический;
* логико-математический;
* теоретико-информационный;
* динамический;
* эвристический.

*Лингвистический уровень описания системы* – наиболее общий уровень абстрагирования. На лингвистическом уровне описания, по М. Месаровичу, системой называется множество правильных высказываний в некотором абстрактном языке, для которого определены грамматические правила построения высказываний. Все высказывания делятся на два класса: термы (объекты исследования) и функторы (отношения между термами). Для определения абстрактного языка вводится совокупность некоторых символов и задаются правила оперирования ими.

*Теоретико-множественное определение системы:* система есть собственное подмножество , где *Х* – прямое (декартово) произведение множеств *Xi*, :



(1.1)



Декартовым произведением множеств называется множество конечных наборов элементов (*x1*, *x1*, …, *xn*), таких, что



Каждый элемент , в свою очередь, может быть множеством, что позволяет описывать иерархию достаточно сложных систем.



Примером реальной системы, исследованной на уровне теоретико-множественного подхода, является кибернетическая система управления предприятием, описанная Ст. Биром.

*Абстрактно-алгебраическое определение понятия системы:* системой S называется некоторое множество элементов , , на котором задано отношение R с фиксированными свойствами Р. Следовательно, система определяется заданием и семейством отношений , например, бинарных, тернарных и т.д.



Важное значение в исследовании реальных систем имеет динамическое определение сложной системы. С позиций динамического подхода определение системы сводится к заданию восьмерки величин:

, (1.2)



где *Т* – множество моментов времени;

*X –* множество допустимых входных воздействий, ;



– множество мгновенных значений входных воздействий;



*U* – множество состояний, или внутренних характеристик системы;

*Y* – множество мгновенных значений выходных сигналов;

*Г* – множество выходных величин, ;



– выходное отображение, ;



– переходная функция состояния, .



Приведенное определение динамической системы является чрезвычайно общим. Такое определение имеет концептуальное значение, позволяет выработать общую терминологию, но не обеспечивает получения содержательных практических выводов, и поэтому требует дальнейшей конкретизации и введения дополнительных структур, что будет осуществлено ниже. Задачи, рассматриваемые в теории систем на основе приведенного определения, традиционны: это задачи устойчивости, управления, идентификации, оптимизации, эквивалентности, структуры, декомпозиции, синтеза и ряд других.

Для целей экономической кибернетики понятие динамической системы представляется особенно важным, поскольку экономические объекты относятся к классу динамических.

До сих пор предпосылкой описания сложной системы являлось представление о том, что взаимодействие системы с внешней средой осуществляется с помощью входов и выходов. Системы такого рода являются относительно обособленными. В реальной действительности абсолютно обособленных (замкнутых) систем не существует, хотя подобная абстракция иногда используется в целях исследования.

### 

### Системный подход

Локальным решениям, полученным на основе охвата небольшого числа существенных факторов, кибернетика противопоставляет *системный подход*. Этот подход отличается от традиционного, предусматривающего расчленение изучаемого объекта на составные элементы и определение поведения сложного объекта как результата объединения свойств входящих в него систем.

Системный подход основывается на принципе целостности объекта исследования, т.е. исследование его свойств как единого целого, единой системы. Этот принцип исходит из того, что целое обладает такими качествами, которые не обладает ни одна из его частей. Такое свойство целостной системы называют *эмерджентностью* (от англ. emergent – неожиданно возникающий). Выражением эмерджентных свойств является всякий эффект взаимодействия, не аддитивный по отношению к локальным эффектам.

Системный подход для максимального использования качества целостности требует непрерывной интеграции представлений о системе с различных точек зрения, на каждом этапе ее исследования, а также – подчинения частных целей общей цели, стоящей перед всей системой.

Системный подход опирается на диалектический закон взаимосвязи и взаимообусловленности явлений в мире и обществе и требует рассмотрения изучаемого явления или процесса не только как самостоятельной системы, но и как подсистемы некоторой суперсистемы более высокого уровня. Системный подход требует прослеживания как можно большего числа связей, не только внутренних, но и внешних – с тем, чтобы не упустить действительно существенные связи и факторы и оценить их эффекты. Практически системный подход – это системный охват, системные представления, системная организация исследования.

Любой объект исследования, таким образом, может быть представлен как подсистема некоторой системы более высокого ранга, – и это приводит к проблеме выделения системы, установления ее границ, – и как система по отношению к некоторой совокупности подсистем более низкого ранга, которые, в свою очередь, образованы некоторыми элементами, дальнейшее дробление которых нецелесообразно с точки зрения конкретного исследования, – и это определяет необходимость постановки задачи выбора такого первичного элемента.

Выделение системы предполагает наличие ряда системообразующих признаков, которые определяются целями исследования и волей исследователя, и в силу этого являются субъективными:

* объекта исследования;
* субъекта исследования;
* цели исследования.

Не существует однозначного подхода к определению первичного элемента, выбор которого осуществляется субъективно, в соответствии с целями исследования.

*Первичным элементом системы* является элементарный объект, неделимый далее средствами данного метода декомпозиции в границах данного исследования; устойчивость которого выше, чем устойчивость системы в целом.

Концепция первичного элемента системы позволяет производить структурный анализ системы, причем элементы выступают модулями структуры, "черными ящиками", внутренняя структура которых не является предметом исследования. Взаимодействия элементов системы между собой и с внешней средой обеспечивается посредством системы связей, разнообразие которых так же велико, как и разнообразие свойств системы и среды. При этом в процессе анализа и синтеза систем исследуются лишь существенные связи, а прочими пренебрегают, либо интерпретируют их как возмущения, или "шум".

### 

### Сложная система

При выделении системы, как правило, задается не одно, а множество отношений, или связей между элементами. Такая система характеризуется неоднородностью элементов и связей, структурным разнообразием, что свидетельствует о сложности системы.

Понятие *сложной системы* неоднозначно. Это собирательное название систем, состоящих из большого числа взаимосвязанных элементов. Часто сложными называют системы, которые не поддаются корректному математическому описанию либо ввиду высокого уровня разнообразия, либо из-за непознанности природы явлений, протекающих в системе.

Английский кибернетик Ст. Вир подразделяет все кибернетические системы на три группы – простые, сложные и очень сложные. Примеры систем, относящиеся к этим трем группам, приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1. Классификация систем по Ст. Биру

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Системы | Простые | Сложные | Очень сложные |
| Детерминированные | Оконная задвижка | Цифровая электронная вычислительная машина | – |
| Проект механических мастерских | Автоматизация | – |
| Вероятностные | Подбрасывание монеты | Хранение запасов | Экономика |
| Движение медузы | Условные рефлексы | Мозг |
| Статистический контроль качества продукции | Прибыль промышленного предприятия | Фирма |

Характеристики "сложности" систем многообразны и сопровождаются одновременно многими специфическими чертами, такими,

как:

* многокомпонентность системы (большое число элементов, связей, большие объемы циркулирующей информации, др.);
* многообразие возможных форм связей элементов (разнородность структур –древовидных, иерархических, др.);
* многокритериальность, т.е. наличие ряда противоречивых критериев;
* многообразие природы элементов, составляющих систему;
* высокий динамизм поведения системы и структурных характеристик и др.

Весьма характерным для сложных систем является то обстоятельство, что, независимо от природы исследуемой системы, при решении задач управления используются одни и те же абстрактные модели, составляющие сущность системного подхода, позволяющие определить пути продуктивного исследования сложных систем любой природы и любого назначения.

Первой и основной чертой сложных систем традиционно считается *целостность*, или единство системы, *холизм*, проявляющийся в наличии у всей системы общей цели, назначения. Еще до возникновения системотехники выдающиеся отечественные физиологи И.М. Сеченов и И.П. Павлов обогатили мировую науку идеями *саморегуляции функций* целостности живого организма. Полное значение и формулировка принципа *органической целостности* были осознаны лишь с появлением концепций общей теории систем и формированием методологии кибернетики. Поэтому системы, в отдельных частях которых не наблюдается взаимодействия со всей системой в плане подчинения единой цели; не относятся к классу сложных систем, исследуемых в кибернетике.

*Целостность* характеризуется рядом свойств и особенностей, ее многогранность выражается понятиями: дифференциация, интеграция, симметрия, полярность и др. Дифференциация отражает свойство расчлененности целого, проявление разнокачественности ее частей. Противоположное понятие – интеграция связано с объединением совокупности соподчиненных элементов в единое образование. Симметрия и асимметрия выражают степень соразмерности в пространственных и временных связях системы.

Любая кибернетическая система обладает всеми характерными признаками целостности. Универсальность симметрии, широко распространенной в природе и представляющей собой всеобщий закон природы, была выражена в принципе Пьером Кюри. Из принципа симметрии и полярности следуют важные заключения о свойствах структуры и процессов исследуемых кибернетикой систем и моделей.

Системный подход, основанный на принципе целостности, в исследовании свойств объекта как единого целого, требует непрерывной интеграции представлений о системе на каждом этапе исследования – системного анализа, системного проектирования, системной оптимизации. Рассматриваемый подход проявляется в действии ряда общих принципов исследования:

* принцип максимума эффективности проектируемой и функционирующей системы;
* принцип субоптимизации – согласования локальных критериев между собой и с общим глобальным критерием функционирования системы;
* принцип декомпозиции, осуществляемый с учетом требования максимума эффективности. В результате декомпозиции может быть получена некоторая многоуровневая структура системы или процесса ее исследования.

Системный подход к исследованию объекта на определенном уровне абстракции позволяет решать вполне определенный, ограниченный круг задач, а для расширения (сужения) класса решаемых задач необходимо проводить исследование уже на другом уровне абстракции. Каждый из уровней представления системы располагает определенными возможностями и имеет свои ограничения. Системный подход сам системен. Для достижения максимальной полноты и глубины исследования необходимо исследовать систему на всех целесообразных для конкретного случая уровнях абстракции.

Использование системного подхода для целей исследования объекта носит дедуктивный характер. Выберем в качестве объекта исследования *функциональную систему S*.

Определение 1.1. Если *S* является функцией:

, (1.3)



где Х – входной,

*Y* – выходной объект,

то соответствующая система называется функциональной.

Такая система иначе называется системой *"вход-выход"*. В кибернетической литературе ее называют *"черным ящиком"*. Этот термин предложил английский ученый-кибернетик У.Р. Эшби. В качестве "черного ящика" принимаются объекты исследования кибернетики, внутренняя структура (устройство) которых неизвестно или оно не является предметом изучения. Внешнему наблюдателю таких объектов доступны только воздействия на их входы и реакция на воздействия, проявляющаяся в изменении поведения объектов на выходе. Концепция "черного ящика" дает определенные возможности для объективного изучения систем, устройство которых либо недоступно исследователю, либо их поведение не зависит от структурных характеристик.

Наблюдая достаточно долго за поведением такой системы, можно достичь такого уровня знаний свойств системы, чтобы научиться предсказывать движение ее выходных координат при любом заданном изменении на входе. Очевидно, однако, что возможности исследования "черного ящика" достаточно ограничены. Заметим попутно, что в рамках данного подхода системы, характеризующиеся одинаковыми наборами входных и выходных величин и одинаково реагирующие на внешние возмущения, являются по определению изоморфными. Концепция "черного ящика" плодотворна на стадии исследования эмерджентных свойств, поскольку именно "черный ящик" олицетворяет систему как нечто целое, чье поведение необъяснимо со структурных позиций. Предсказание поведения целого, основанное на иной платформе (так называемый "белый ящик", "серый ящик"), часто не бывает исчерпывающим, так как сверх предсказанных свойств могут эмерджировать или внезапно проявляться новые свойства. Порождаемые свойства в полной мере присущи экономическим системам, что прибавляет трудностей их исследователям.

Аксиома 1.1. Любую систему преобразования входов в выходы можно представить как функциональную, и наоборот, просто опираясь на предположение о целесообразности ее функционирования.

Аксиома 1.2. Целесообразность существования функциональной системы *S* с точки зрения требований, предъявляемых к пей внешней средой, или суперсистемой более высокого уровня, связана с выходными величинами *Y*, отражающими результаты функционирования системы S, или *функциональное назначение системы*.

Назовем представленный уровень исследования *системно-ориентированным*. В рамках данного подхода рассмотрим еще некоторые определения концептуального характера.

Определение 1.2. Функциональная система называется *управляемой* тогда и только тогда, когда:



. (1.4)



Определение 1.2 означает, что надлежащим выбором входного воздействия *х* можно добиться получения любого выходного сигнала .



Определение 1.3. Функциональная система называется системой принятия решений, если имеется такое семейство задач *D(x)*, , решением которых является элемент множества *Z*, и такое отображение , что



(1.5)



В терминах системно-ориентированного подхода могут быть осуществлены постановки задач управления, оптимизации, гомеостазиса и др.

Исчерпав возможности исследования функциональной системы *S* на данном уровне абстракции, переходят к рассмотрению системы с позиций *структурно-функционального подхода*, используя для этого следующее определение.

Определение 1.4. Функциональная система *S* с позиций структурно-функционального подхода задается пятеркой символов:

, (1.6)



где *Ф* – макрофункция системы,

*G* – структура системы,

*R* – отношение эмерджентности,

*X,* *Y* – множества входных и выходных объектов соответственно.

Макрофункция системы *Ф* является количественным выражением основной пели и зависит от управляющего воздействия . Выбор макрофункции *Ф* обеспечивает достижение требуемого значения *Y*. *Ф*, таким образом, связана с решением глобальной задачи, стоящей перед системой.



. (1.7)



Соотношение между глобальной целью функционирования системы *S* и ее макрофункцией неоднозначен, обоснование выбора определенного вида производится экспериментатором в соответствии с некоторым эвристическим критерием у.

Пусть – некоторый конечный набор функций, связанных с целью системы *S*.



, . (1.8)



Множество входных воздействий *Х* разбивается на два подмножества – управляющих сигналов и возмущающих – .



Тогда определение 1.4 можно пояснить следующим образом:

, (1.9)



где ,



,



, ;



где – множество элементов системы,



, – множество связей между ними, или, если заданы их количественные характеристики: – количественные характеристики элементов, например: интенсивность, мощность, запас, др.;



– количественные характеристики связей, например: пропускная способность, ранг, др.



. (1.10)



Отношение эмерджентности *R* задает соответствие между макрофункцией системы и реализующей ее структурой и изменяется всякий раз, когда это соответствие нарушается:

. (1.11)



Структурно-функциональный подход выводит на новый, более глубокий уровень исследования. При этом решаются некоторые проблемы методологического характера:

выбор *Ф* на основе качественного критерия ;



формирование множества управлений ;



выбор способа учета возмущающих воздействий ;



выбор первичного элемента системы ;



составление перечня подсистем и элементов на основе определенного метода структурной декомпозиции;

определение системы существенных связей системы ;



определение механизма реализации производственных целей:

;



определение механизма управления .



Рассмотренное понятие является полезным при проведении анализа, синтеза или другого исследования.

Необходимость учета фактора времени при описании сложной системы, а также рассмотрения поведенческих аспектов в движении и развитии систем приводит к необходимости исследования динамической системы.

Определение 1.5. Динамической системой *S* называется сложное математическое понятие:

, (1.12)



определяемое следующими аксиомами.

1. Заданы: множество моментов времени *Т*, макрофункция системы *Ф*, множество входных воздействий *X*, множество возмущений , множество состояний *U*, множество значений выходных величин *Y*, структура системы *G* и отношение эмерджентности *R*.



2. Множество *Т* есть некоторое упорядоченное подмножество множества вещественных чисел.

3. Макрофункция системы определяется с помощью двух функций:

и ,



где *S* – функциональная модель объекта,

*V –* функция качества, или оценочная функция,

*С* – множество оценок.

Макрофункция системы определяется парой .



4. Множество возмущений или множество неопределенностей представляет собой множество всевозможных воздействий, которые сказываются на поведении системы. Если такое множество не пусто: , функциональная модель объекта принимает вид , а оценочная функция – .



5. Существует переходная функция состояния

,



значениями которой служат состояния

,



в которых оказывается система в момент времени , если в начальный момент она находилась в состоянии и в течение отрезка на нее действовали входные воздействия .



6. Задано выходное отображение

,



определяющее выходные величины .



Пару , где , называют *событием* системы *S*, а множество – *пространством состояний* системы.



Конечный набор состояний системы, задаваемый переходной функцией и определенный на некотором временном отрезке , , называется *траекторией* *поведения* системы на интервале .



Говоря о движении системы, мы будем иметь в виду траекторию

поведения системы.

7. Структура системы *G* определяется в терминах теории графов:, ; , где – вершины, – дуги графа.



8. Отношение эмерджентности

.



Данное понятие динамической системы позволяет выработать общую терминологию, уточнить концептуализацию и обеспечить единый подход в рассмотрении приложений, однако является недостаточно конкретным.

В рамках абстрактной теории систем последнее определение дополняется необходимыми доопределениями: конечномерности, линейности, стационарности и др. Однако теоретическое изложение этих вопросов в рамках данного учебника не производится: впредь по мере необходимости мы априорно будем задавать тип связей между исследуемыми величинами, или классами систем: линейная непрерывная система, конечный автомат и т.д. Задачи, рассматриваемые для динамической системы, традиционны: это вопросы устойчивости, идентификации, инвариантности, наблюдаемости, управляемости и оптимальности, реализуемости и др. Углубленное изучение теории вопроса позволяет грамотно и корректно ставить и решать задачи, связанные с управлением экономическими системами.

### 

### Классификация систем

Концептуализация систем в области их классификации определяется исследователем в ходе оценки закономерностей функционирования и поведения объекта. Основные классы систем: дискретные и непрерывные системы, статические и динамические, дискретные и непрерывные, детерминированные и стохастические, линейные и нелинейные, открытые и замкнутые, управляемые и неуправляемые, – определяют выбор моделей, с помощью которых производится собственно исследование. Это не исключает возможности в частных исследованиях систем определенной природы сконцентрировать внимание на системах более узкого класса. В экономической кибернетике большое значение имеет исследование многоуровневых, или иерархических систем, а также адаптивных и самоорганизующихся систем.

*Адаптивная система* – система, которая может приспосабливаться к изменениям внутренних и внешних условий.

Если воздействия внешней среды изменяются непредвиденным образом, то изменение характеристик управляемого объекта также происходит непредвиденным путем. Примечательно то обстоятельство, что понятие адаптации в теории управления тождественно соответствующему понятию в биологии, означающему приспособление организма к новой для него или изменяющейся среде.

Разновидностями адаптивных систем являются самонастраивающиеся, самообучающиеся, самоорганизующиеся, экстремальные, а также системы автоматического обучения.

Одним из видов самонастраивающихся кибернетических систем является гомеостат. Первый гомеостат был создан английским ученым У.Р. Эшби. Гомеостат моделирует характерное свойство поведения живых организмов – *гомеостазис*, т.е. возможность поддержания некоторых величин, например, температуры тела, в физиологически допустимых границах путем реализации вероятностных процессов управления. В гомеостате управляемая переменная поддерживается на требуемом уровне механизмом саморегулирования. Примеров гомеостазиса в природе очень много. Например, это гомеостазис, управляющий численностью животных в природе: чем больше появляется зайцев, тем наблюдается большее количество рысей, которые поедают зайцев, ограничивая их рост, а следовательно, и рост численности самих рысей.

### Формализация поведения систем

Если поведение системы рассматривать как цепь последовательных конечных изменений ее состояний, то переменные системы, изменяясь во времени, в каждый данный момент будут характеризоваться некоторыми значениями. Если одно определенное значение переменной *u1* в момент времени *t1* превращается в следующее значение *u2* в момент *t2*, то считается что произошел переход из *(u1­,t1)* в *(u2­,t2)*. Фактор, под действием которого происходит переход, называется оператором. Переменная, испытавшая воздействие оператора, называется операндом. Результат перехода – *(u2­,t2)* называется *образом*. Если рассматривать некоторое множество всех переходов системы из состояния *а* в состояние *в*, состояния *с* в состояние *d* и т.д., то такое множество переходов для некоторого множества операндов называется *преобразованием*.

Преобразованиям можно дать математическое представление с помощью метода, предложенного У.Р. Эшби.

Речи некоторое множество состояний системы включает состояния *a*, *b*, *c*, *d* и на это множество операндов действует оператор *Р*, то поведение системы можно описать следующим образом:

.



В первой строке записи перечислены состояния системы, или операнды. Во второй строчке, под каждым операндом, находятся образы в которые система переходит из состояний, записанных в верхней строке, под действием оператора *Р*. В этом преобразовании множество образов второй строки не содержит ни одного нового элемента Преобразование, которое не порождает новых элементов, называется замкнутым:

.



В этом преобразовании множество образов содержит новый элемент *е*; преобразование выходит за пределы системы, и поэтому называется незамкнутым. Преобразование является однозначным, взаимно однозначным, замкнутым.



Приведенное выше преобразование является неоднозначным.

Преобразование вида является тождественным.



Можно использовать более компактные формы записи. Например, если операнды – суть положительные числа 1, 2, 3, 4, и действует оператор "прибавить к каждому числу 3", то преобразование можно записать:

,



или в компактной форме:

.



Преобразование вида:



Приведенный пример описывает изменение состояний системы с детерминированным действием, описанной однозначным преобразователем.

В матричной форме можно представить неоднозначное преобразование.

Дано преобразование:

при вероятности .



Система событий может быть описана с привлечением аппарата символической логики. Логические функции отрицания, конъюнкции, дизъюнкции, импликации, эквиваленции (читаемой "тогда, и только тогда, когда", ) широко применяются в автоматических системах.



*Переходным процессом* называется процесс изменения во времени динамической системы, возникающий при переходе из одного установившегося режима работы в другой. В динамической системе он возникает под влиянием возмущающих воздействий, изменяющих ее состояние, структуру или параметры.

Важными характеристиками динамической системы являются длительность и характер переходного процесса.

В непрерывных системах, как правило, установившийся режим достигается за бесконечно большое время. В зависимости от характера в непрерывных системах различают *колебательный* и *монотонный* *переходный* *процесс*.

Для дискретных систем переходный процесс можно определить как последовательность состояний, вызванную внешним возмущающим воздействием, которую система проходит при постоянных условиях до возвращения в установившийся режим функционирования. Длительность переходного процесса определяется величиной этой последовательности и является конечной для дискретных систем. Детерминированная динамическая система ведет себя так же, как замкнутое однозначное преобразование. Однозначность преобразования определяется тем, что система не может сразу перейти в два других состояния.

Различают три типа, или режима поведения системы: *равновесный*, *переходный* и *периодический*.

*Состояние равновесия* системы может рассматриваться как некоторая тождественность происходящих в ней преобразований, определяющих одинаковое состояние системы на любом шаге ее развития. В равновесной системе каждая часть находится в состоянии равновесия в условиях, определяемых другими ее частями.

*Состояние устойчивости* не отождествимо с равновесием. Под устойчивостью системы понимается сохранение ею состояния независимо от внешних возмущений. Характеристика системы как устойчивой не всегда определяет положительную сторону с точки зрения управления: система не способна гибко реагировать на управление.

Трактовка понятия устойчивости позволяет определить характеристику *инвариантности*. Инвариантность в последовательности состояний системы состоит в том, что, несмотря на изменения, претерпеваемые системой в целом, некоторые ее свойства остаются неизменными.

Таким образом, некоторые высказывания относительно системы, несмотря на ее непрерывное изменение, остаются истинными.

К понятиям равновесия и устойчивости примыкает понятие *цикла в* *преобразовании системы*.

Циклом называется такая последовательность состояний системы, при которой повторное изменение преобразований заставляет изображающую точку пробегать повторно эту последовательность. Эго можно проиллюстрировать таким преобразованием:

.



Начиная с *а*, получим последовательность:

описывает цикл.



Если в системе преобразование имеет вид:

,



то в случаях состояний *b* и *е* система находилась в состоянии равновесия.

Если Р имеет вид:

,



период является переходным периодом в режиме поведения системы.



Преобразование Р вида



иллюстрирует случай периодического равновесного режима поведения системы .



Использование комплекса идей, связанных с понятием устойчивости, равновесия в поведении систем, весьма полезно при изучении экономических систем, прежде всего, при анализе производственных систем.

Прежде всего, состояние системы изучается с позиций возможного его равновесия, т.е. изменяется ли оно, будучи подвергнутым каким-либо преобразованиям. Рассматривается, является ли это равновесие достаточно устойчивым, и если да, то каков режим поведения изучаемой системы.

Если дано такое состояние (или состояния) и конкретные возмущения, то анализируется, вернется ли система после смещения в свою исходную область. И если система непрерывна, то рассматривается, является ли она устойчивой против всех возмущений внутри определенной области значений. Настоящий метод рассмотрения состояния и поведения системы дает возможность решать вопросы анализа экономических систем и обеспечить предпосылки их функционирования в оптимальном с позиций некоторых требований режиме.

ГЛАВА 2. МОДЕЛЬ

Рассмотрим поведение организатора, который сталкивается с некоторой ситуацией. Ему известно о ней достаточно много; он наблюдал за ней в течение нескольких лет и, выполняя предшествующие задания приобрел достаточный опыт по аналогичным системам, порождающим аналогичные ситуации. В таких случаях мы говорим, что организатор обладает знаниями и опытом. Поэтому у него в голове возникает картина несколько иного рода – свое собственное понимание ситуации. Эта вторая картина гораздо более точно учитывает ситуацию, чем любое ее изображение на листе бумаги, однако она, тем не менее, не без недостатков. Мы не в состоянии получить достаточно многого с помощью только собственного мозга, так, чтобы можно было понять сущность и охватить с необходимой полнотой все детали взятой из реальной жизни ситуации любого характера и размера. Поэтому то понимание, которое существует в голове организатора, может рассматриваться как взятая оттуда своеобразная модель ситуации. Его представление ситуации моделирует ситуацию и соответствует ей.

Эта модель вовсе не макет в натуральную величину; в действительности она совсем невидима для глаза. Это – идея. По этой причине ее удобно называть умозрительной моделью. Если имеет место полное соответствие между реальностью и умозрительной моделью, то организатор в состоянии проникнуть глубоко в ситуацию и решение, которое он принимает, обязательно окажется рациональным. И наоборот, плохие и невыгодные решения возникают неизбежно в результате неправильного понимания принципов действия системы. Деятельность в процессе управления может рассматриваться как игра с неполной информацией.

Теперь целесообразно ввести понятие об отображении. Под отображением ученый понимает процесс, который имеет место при попытках поставить в соответствие одной картине другую, одному элементу – другой. Сам термин "отображение" выбран достаточно удачно, правда, строго говоря, он взят из математического жаргона. Если ничему ставится в соответствие что-то, то отображения нет. В то же время если отображение достаточно совершенно, то получаемую умозрительную модель считают изоморфной по отношению к окружающей действительности. (Слово "изоморфный" взято из греческого языка и означает "одинаковый по форме").

Изоморфная модель может быть отображена в любом предмете, если между моделью и предметом наблюдается полное поэлементное соответствие. Мы уже предположили возможность игр с неполной информацией и несовершенного отображения. В действительности получается, что полные комплексы предметов и событий запечатляется в модели, как одиночные сущности вместо сложного комплекса. Поэтому организатор может размышлять о части крупного предприятия (которое в действительности состоит из большого количества участков, причем, руководство каждым из них в отдельности может осуществляться неправильно и может быть осложнено), как о заводе А. Для того чтобы прийти к такому упрощенному пониманию, организатор пользуется некоторыми количественными оценками, такими, например, как средний выход продукции Он стремится не обращать внимания на отклонения от среднего выпуска продукции и на виды выпускаемых изделий. Конечно же, упрощения подобного рода, которые делает организатор, зависят от его роли в управлении.

Разновидность отображения, которая предполагает преобразования типа, «многое – в одном», мы будем в дальнейшем называть не изоморфным, а гомоморфным отображением. Хорошая модель всегда является гомоморфной. Гомоморфное отображение сохраняет определенные структурные зависимости моделируемого предмета.

##### Ст. Бир

Процесс познания человеком окружающего мира в значительной мере связан с созданием моделей, построенных по принципу аналогий с изучаемым объектами. Концепция модели использовалась людьми для выражения как реальных объектов (наскальная живопись, идолы), так и абстрактных понятий (системы дифференциальных уравнений). Мир моделей беспредельно обширен и разнообразен. Многочисленны определения модели, используемые различными исследователями. Достаточно общим, но содержательным представляется следующее определение.

***Модель*** – представление системы, объекта, понятия в некоторой форме, отличной от формы их реального существования.

В кибернетическом моделировании доминирующую роль играет сходство поведения и/или структуры оригинала и модели, различие в содержании не играет определяющей роли, поскольку аналогичные зависимости между входами и выходами могут быть, по определению, реализованы объектами различной природы.

Оценка адекватности пары "оригинал-модель" может быть осуществлена с использованием понятий изоморфизма и гомоморфизма.

### 

### Изоморфизм.

В строго математическом смысле изоморфизм двух систем: означает, что между входами и выходами обеих систем существует взаимно однозначное соответствие:



, (2.1)



где , – отношения изоморфизма, или



(2.2)



такие, что

. (2.3)



Понятие изоморфизма систем распространяется и нa структурные, и на поведенческие характеристики систем.

Пусть , – структура систем и , , – множество состояний систем и .



Изоморфизм структур систем и означает, что:



. (2.4)



Изоморфизм состояний:

. (2.4)



Системы и , между которыми существует отношение изоморфизма, называются изоморфными.



Так, например, изоморфны местность и географическая карта, объект съемки и фотография, снимок и негатив и т.д.

Наличие изоморфизма между системой-оригиналом и системой-моделью характеризует весьма высокую степень адекватности, обеспечение которой при построении модели сопряжено с большими трудностями и, вообще говоря, не является необходимым. При построении моделей исследователь, руководствуясь конкретными целями, выделяет лишь наиболее существенные факторы, присущие реальной системе, которые в модели должны быть отражены с максимальной полнотой и точностью, требуемой в данном исследовании. Остальные, несущественные факторы могут отражаться в модели либо с меньшей точностью, либо могут быть исключены. Это является преимуществом модели, поскольку позволяет проводить исследование на более простом, по сравнению с реальным, объекте. Отсутствие полного совпадения всех характеристик модели и оригинала, особенно в области экономико-математического моделирования, не позволяет утверждать наличие изоморфизма между реальной системой и ее моделью.

Важным частным случаем соотношения "оригинал-модель" является отношение гомоморфизма, при котором между системами и , существует однозначное прямое и неоднозначно-обратное соответствие. Так, модель, полученная из реальной системы путем ее упрощения (например, за счет уменьшения числа переменных путем их объединения) является гомоморфной моделью.



### 

### Гомоморфизм.

Пусть , – система-оригинал и ее модель, a – гомоморфизм из в причем отображение сюръективно. Отображение называется *сюрьективным* (*накрытием*, или отображением *на*), если для каждого найдется такое , что . Иначе . Тогда система называется *гомоморфной моделью* в том и только в том случае, когда



. (2.6)



Аналогично определяется понятие гомоморфных моделей для структурированных и динамических систем.

### 

### Математическое моделирование.

Традиционным представлением о математической модели является ее восприятие как инструмента для прогнозирования последствий альтернативных действий с целью выбора наиболее предпочтительного. Однако значительно важнее то, что моделирование – это метод, повышающий эффективность суждений и решений. Математические модели используются для формализации целей, присущих большинству экономических систем, и имеющихся ограничений, налагаемых действующими экономическими законами.

Однако имеется большое количество проблем, не поддающихся адекватному моделированию, например: защита окружающей среды от загрязнений, предотвращение преступности, управление развитием и ростом городов, и т.п., — они характеризуются неясностью и противоречивостью целей, альтернатив развития, диктуемых нестабильными политическими и социальными факторами.

Математические модели многофункциональны, их основные функции характеризуют широту области их применения:

1. Модели являются важным средством осмысления действительности (графические, масштабные, сетевые модели).
2. Модели выступают своеобразным средством общения, поскольку в сжатой, точной форме позволяют организовать диалог.
3. Модели выполняют функцию обучения и тренажа (обучающие программы, имитационные игры на ЭВМ, использующие принципиально отличные от реальных стимулы и мотивы принятия решений).
4. Модели широко используются как инструмент прогнозирования и планирования, позволяя рассмотреть значительное число альтернатив и оценить возможные последствия от принятия того или иного решения.
5. Моделирование является основным методом оптимизации управленческих решений, отображая или воспроизводя условия развития исследуемого процесса.
6. Применение моделей как средства построения экспериментов позволяет осуществлять управление процессом экспериментирования с большей простотой и меньшими затратами, чем если бы эксперимент проводился с реальной системой, получая, зачастую, больше полезной информации о поведении системы в условиях широкого спектра изменяющихся факторов внешней среды.

*Определение экономико-математической модели:* это совокупность математических выражений, описывающих экономические объекта, процессы и явления, исследование которых позволяет получить необходимую информацию для реализации целей управления моделируемой системой.

Экономико-математическая модель, как правило, включает три основные составные части:

1. целевую функцию, или функционал модели – математическое выражение цели;

систему функциональных ограничений, определяющих пределы изменения исследуемых характеристик объектов, процессов или явлений;

1. систему параметров модели, фиксирующих условия проведения модельного эксперимента (система норм, нормативов, временные параметры реального времени, системного времени, начальные условия и т.п.).

В общем виде статическая экономико-математическая модель системы может быть записана в виде:

, (2.7)



где – экзогенные переменные, или управления, управляемые переменные; факторы; входы;



– неуправляемые переменные, или возмущения;



– параметры системы; любые действительные числа;



– эндогенные, или зависимые переменные, отклики;



– определяет вид функциональной зависимости, играет роль оператора преобразования.



Пусть, например, *F* – линейный оператор. Тогда по определению при



,



,



где *х1*, *х2*, *х3* – любые функции,

– действительное число.



Линейными операторами являются: оператор тождественного преобразования, дифференцирования, интегрирования, правого сдвига, левого сдвига, суммирования, скалярный оператор.

При изучении экономической системы в движении уравнение модели примет вид:

. (2.8)



При этом часто используют две концепции построения динамических моделей: без учета лагов, или запаздываний между входами и выходами – так называемые динамические безинерционные модели; и с учетом лагов – инерционные динамические модели. Безинерционные иначе называют *кинематическими*. Следует подчеркнуть, что кинематическая модель отличается от динамической тем, что переходные процессы в системе, обусловленные ее инерционными и демпфирующими свойствами, не учитываются. В информативном отношении они менее содержательны, чем динамические. В английском языке для описания таких систем служат термины "dinamic" и "dinamical".

### Классификация моделей.

При классификации экономико-математических моделей учитываются различные признаки, каждый служит определенной цели. Некоторые типовые группы моделей, которые могут быть положены в основу системы классификации:

* статические и динамические;
* детерминированные и стохастические;
* дискретные и непрерывные;
* линейные и нелинейные;
* балансовые модели;
* имитационные модели;
* модели математического программирования;
* модели, основанные на теории графов;
* модели, основанные на теории вероятностей и математической статистике.

При моделировании сложной системы исследователь обычно исследует совокупность нескольких моделей из числа разновидностей, упомянутых выше. Любая система может быть представлена различными способами, отличающимися по сложности и в деталях. По мере того, как исследователь глубже анализирует и познает проблему, простые модели сменяются все более сложными.

### 

### Методика моделирования.

Основой успешной методики моделирования является многоэтапный процесс отработки модели. Обычно начинают с более простой модели, постепенно совершенствуя ее, добиваясь, чтобы она отражала моделируемую систему более точно. До тех пор, пока модель поддается математическому описанию, исследователь может получать все новые ее модификации, детализируя и конкретизируя исходные предпосылки. Когда же модель становится неуправляемой, проектировщик прибегает к ее упрощению и использует более общие абстракции. Процесс моделирования, таким образом, носит эволюционный характер и осуществляется в соответствии со следующими этапами.

Этапы моделирования:

1. Анализ проблемы и определение общей задачи исследования.
2. Декомпозиция общей задачи на ряд более простых подзадач, образующих взаимосвязанных комплекс.
3. Определение четко сформулированных целей и их упорядочение.
4. Поиск аналогий или принятие решений о способе построения подмоделей.
5. Выбор системы экзогенных и эндогенных переменных, необходимых параметров.
6. Запись очевидных соотношений между ними.
7. Анализ полученной модели и начало эволюционного конструирования: расширение или упрощение модели.

Упростить модель можно, выполнив одну из перечисленных ниже операций:

* превращение переменных величин в константы;
* превращение вероятностных факторов в детерминированные;
* исключение некоторых переменных или их объединение;
* использование предположений о линейном характере зависимостей между переменными;
* введение жестких исходных предпосылок и ограничений;
* уменьшение количества степеней свободы путем наложения более жестких граничных условий.

Расширение модели предполагает обратное. Заметим, что не существует надежных и эффективных рецептов относительно того, как следует осуществлять процесс моделирования, поэтому процесс разработки модели зачастую носит эвристический характер, что дает возможность исследователю проявить свои творческие способности.

Творческий характер процесса моделирования определяет разнообразие критериев оценки качества модели. С точки зрения разработчика "хорошей" моделью является *нетривиальная*, *мощная* и *изящная* *модель*. Нетривиальная модель позволяет проникнуть в сущность поведения системы и вскрыть летали, не очевидные при непосредственном наблюдении. Мощная позволяет получить множество таких нетривиальных выводов. Изящная имеет достаточно простую структуру и реализуемость. С точки зрения пользователей, которые проявляют больше прагматизма при оценке модели, "хорошая" модель – это модель *релевантная*, *точная*, *результативная*, *экономичная*. Модель является релевантной (от англ. relevance – уместность), если она соответствует поставленной перед ней цели; точной, если ее результаты достоверны; результативной, если полученные результаты дают продуктивные выводы; и экономичной, если эффект от использования полученных результатов превосходят затраты на ее разработку и реализацию.

В любом случае исследователь должен обосновывать необходимость использования конкретно применяемой модели.

Обоснование модели предполагает выполнение следующих процедур:

*Верификация*, проведение которой убеждает в том, что модель ведет себя так, как было задумано.

*Оценка адекватности* – проверка соответствия между поведением модели и поведением реальной системы.

*Проблемный анализ* – формулировка значимых выводов на основе результатов, полученных в ходе моделирования.

Как показывает опыт, наибольшая обоснованность модели достигается:

использованием здравого смысла и логики;

максимальным использованием эмпирических данных;

проверкой правильности исходных предположений и корректности преобразований от входа к выходу;

применением на стадии доводки модели контрольных испытаний модели, подтверждающих работоспособность модели;

сравнением соответствия входов и выходов модели и реальной системы (если они доступны) с использованием статистических методов и испытаний типа теста Тьюринга;

проведением, когда это целесообразно, натурных или полевых испытаний модели или ее подмоделей;

проведением анализа чувствительности модели по отношению к изменяющимся внешним условиям;

сравнением результатов модельных прогнозов с результатами функционирования реальной системы, которая подвергалась моделированию.

ГЛАВА 3. УПРАВЛЕНИЕ

Следует признать, что все наше представление об управлении наивно, примитивно и находится во власти почти фатального представления о причинности. Управление большинству людей (как это прискорбно для развитого общества) представляется процессом грубого принуждения. Так, например, считают, что полицейский, регулирующий уличное движение, осуществляет «управление». Однако на самом деле он просто пытается принять ответственное решение имея явно недостаточную информацию и принципиально используя метод принуждения (ибо он легализован законодательством).

Рассмотрим примерно аналогичную, хотя и несколько более сложную ситуацию, которая возникает при высадке пассажиров с только что прибывшего парохода. Пароход приближается к причалу, пассажиры готовы к высадке, служащие порта ожидают прибытия судна. Вся эта ситуация представляет собой систему – машину для высадки пассажиров. Что же происходит на самом деле? Начинаются шум и беспорядок, продолжающиеся долгое время. Во время всей этой неразберихи пассажиров толкают то туда, то обратно, их багаж тащат, их терпение все больше и больше истощается. Задержавшись на длительное время, в течение которого пассажиры испытывают большие неудобства и много волнений, они наконец отправляются дальше на поездах, отходящих из порта по расписанию. которое подчас не имеет ничего общего с расписанием, указанным в путеводителе. Бедняги пассажиры философски покорно воспринимают все происходящее, считая, что таковы черты современной жизни. Они верят в то, что ими «управляют». Такое впечатление, возможно, создается потому, что люди видят одетых в официальную форму чиновников, отдающих распоряжения. В этом примере невозможно обнаружить даже отдаленные черты, свойственные управлению, осуществляемому в природе.

Замечательной особенностью естественных, и в первую очередь биологических, механизмов управления является то, что они представляют собой гомеостаты. Нужно обязательно правильно понять, что такое гомеостат. Термостат, например, безусловно, представляет собой машину, предназначенную для поддержания температуры в заданных пределах. Гомеостат воплощает в себе расширение понятия такой машины, будучи устройством, управления, предназначенным для поддержания значений любой переменной (совершенно не обязательно" температуры) в заданных пределах. Классическим примером из области биологии является механизм гомеостазиса температуры крови человека. Общеизвестно, что температура человеческого тела меняется очень незначительно, хотя. человек может переходить из холодильника в котельную. Аналогичный механизм гомеостазиса повсеместно наблюдается в природе. Возьмем совершенно иной пример и рассмотрим гомеостазис, управляющий численностью животных в природе. В природе, например, достаточное число гусениц для прокормки птиц (которые, поедая их, тем самым ограничивают численность гусениц) и для уничтожения растительности (что ограничивает ее развитие), а также для появления достаточного числа бабочек и мотыльков. В то же время мы обычно не наблюдаем нашествия гусениц. Таким образом, система, очевидно, является гомеостатической, хотя нити механизма обеспечения пищей настолько запутаны, что точные связи трудно обнаружить и описать. Тем не менее в некоторых частных случаях удается достаточно изолировать систему для всестороннего исследования. Так, например, распространение кактуса опунция, начавшего вытеснять другую растительность в Австралии, было приостановлено кактусовой молью (Cactoblastis), которой в дальнейшем начало не хватать пищи. Таким образом, в настоящее время эти растительный и животный виды взаимно регулируют свою численность.

Если известно, что это за система, которая порождает определенную ситуацию, подлежащую изучению, каким образом она характеризуется в количественном отношении, каковы логические взаимосвязи внутри системы и каковы они по отношению к остальной части мира, то может быть использована вся мощь предсказания. Составные части управления – стратегия, решение, схема управления достаточно эффективны, так как они могут "справиться" с тем, что может произойти в процессе функционирования системы. Хотя исследование операции начинают с оценки параметров, оно заканчивается вычислением значении вероятностей тех или иных событий.

В примере, который мы хотели вам привести, бросается в глаза существенное различие между настоящим и будущим, между дедукцией и индукцией, а также между управлением, основанным на анализе фактов, и управлением, основанным на понимании основной системы, – порождающей факты. История эта сама по себе не такая уж выдающаяся, но со смыслом. В крупном универсальном магазине было решено выяснить, какой отдел имеет наибольший оборот и прибыль в расчете на квадратный метр площади, и посмотреть, к какому заключению можно придти, если исходить из подученного ответа.

Подсчет показал, что наиболее доходным оказалось кафе-кондитерская. Некий управленческий ум, питаемый этой информацией, мог бы принять решение такого вида: «Необходимо переделать весь универсальный магазин в ресторан». Обратите внимание, что это заключение правильно лишь в том случае, если бы в данный момент каждый посетитель пришел бы вдруг к выводу о необходимости выпить чашку чая. Тогда прибыль могли бы даже превысить любые предложения. Однако совершенно очевидно, что это невозможно, одинаково ясно, что система, которую учреждает универсальный магазин, не допустит реализации этой стратегии в будущем, и6o новая система, целью которой будет получение максимального дохода, вообще не будет иметь посетителей.

##### Ст. Бир

Наличие управления является существенным признаком сложной системы, обеспечивающим ее целостность.

Определение 3.1. *Управление* – это целенаправленное воздействие одной системы на другую для изменения ее поведения (состояния) в соответствии с изменяющимися условиями внешней среды.

Понятие управления является базовым в кибернетике, поскольку определяет предмет исследования этой науки. Любую систему, которая является объектом кибернетического исследования, можно представить в виде системы управления.

*Системой управления* называется организованная динамическая система с *обратной связью*, в которой реализуются причинно-следственные связи с помощью, по крайней мере, двух каналов.

Пусть *х* характеризует вход, определяющий цель функционирования системы управления *S*. Управляющая система *S1* вырабатывает *управляющие воздействия m*, передаваемые на вход управляемой системы *S2*. На систему *S* оказывают влияние *возмущающие воздействия* . Результаты работы системы *у* по каналу обратной связи поступают на вход *S2*, анализируются и используются для выработки последующих управляющих воздействий. Сказанное позволяет выполнить формализацию, которая определяет правила функционирования системы управления *S*.



*Начало процесса управления:* *S1* вырабатывает управляющее воздействие , исходя из цели управления и априорной информации о законах функционирования системы во внешней среде *А*, если таковая имеется:



. (3.1)



Реакция объекта управления под действием возмущений:

. (3.2)



На следующем шаге подсистема *S1* при принятии решений использует данные об у (фактическом) и прогнозные значения сот.

. (3.3)



### Условия существования системы управления

Главными условиями существования системы управления являются следующие:

*Организованность:* в системе управления выделяются элементы, которые относятся либо к управляющей, либо к управляемой подсистеме:

.



Разнообразие: каждая из двух выделенных подсистем должна допускать возможность появления нескольких (многих) состояний:

.



*Примечание.* Проблема оценки разнообразия управляющей системы и ее соотношения с разнообразием управляемого объекта имеет важное теоретическое и практическое значение.

*Закон необходимого разнообразия* формулируется У.Р. Эшби следующим образом: "количество исходов управляемой системы, если оно минимально, может быть еще уменьшено только за счет соответствующего увеличения разнообразия управляющей системы". Это значит, что для решения задачи управления необходимо, чтобы информационная мощность управляющей системы (или ее собственное информационное разнообразие) была не меньше разнообразия объекта управления (т.е. решаемой задачи управления).

Пусть в дискретные моменты времени происходит изменение вектора входов объекта управления, а управляющая система вырабатывает вектор управляющих воздействий, в результате которых состояние объекта управления определяется как . Перевод управляемого объекта из состояния в некоторое состояние требует решения задачи прогнозирования , оценки параметров системы, решения задачи идентификации выбора подходящего :



.



Если разнообразие задачи управления, измеряемой количеством информации, определить как *V*, а информационную мощность управляющей системы *W*, то для осуществления перехода необходимо, чтобы в каждый момент времени *t* выполнялось условие .



В реальных системах управления полное разнообразие объекта управления и воздействий внешней среды настолько велико, что последнее условие, вообще говоря, не выполняется. Поэтому управляющая система формирует гомоморфную модель, использует *принцип управления воздействием на "главный" фактор*, прибегая к агрегированию, линеаризации связей, аппроксимируя стохастические зависимости детерминированными и проч. Часто воздействия не учтенных в моделях факторов вводятся в модель с помощью так называемого "внешнего дополнения". Согласно концепции Ст. Бира, некий "черный ящик" служит дополнением к модели объекта управления, функционируя в качестве блока неформализуемых решений, рандомизатора – датчика случайных чисел и внося поправки в модельные расчеты. Таким образом, принцип "внешнего дополнения" обеспечивает реализацию системного подхода, учет влияния внешней среды, открытый характер системы управления, поскольку "замкнутая система не способна, отправляясь от различных начальных условий, достигать определенных целей".

Динамичность:

,



,



где *T* – упорядоченное числовое множество.

Наличие *прямых* и *обратных* *связей*, обеспечивающих причинно-следственные зависимости в системе управления:



(3.4)



Наличие *цели управления*, достижение которой является макро-Функцией управляемой системы:

. (3.5)



Цель системы в зависимости от ее характера задается различным образом. Для систем, работа которых завершается достижением цели, требуется, чтобы *y(t)* достигло целевого множества . В частном случае, чтобы выполнялось условие . Для других систем необходимо, чтобы *y(t)* достигла области , a затем продолжала движение по траектории или не выходила из области .



Управляемость: можно найти такое управляющее воздействие *m*, которое за конечное число шагов переведет систему в искомое состояние, обеспечивающее достижение цели:

, (3.6)



такое, что ,



где , ,



– соответственно функция переходов и функция выхода системы,



– количественное выражение цели, . Введение понятия управляемости системы вызывает необходимость рассмотрения вопросов *качества управления* и его эффективности.



Пусть – некоторое заданное целевое множество:



, (3.7)



– множество допустимых управлений.



Если управляющее воздействие преобразует некоторое исходное событие *(t0, u0)* в и *t1* есть время первого достижения, то *t1* называется моментом достижения, а разность *(t1–t0)* – временем достижения.



Вещественное число, вычисляемое как некоторый функционал:

, (3.8)



где ,



называется *качеством управления* относительно начального события *(t0, u0)*.



Определение 3.2. Абстрактной *задачей управления* называется сложное математическое понятие, образованное совокупностью:

(3.9)



где *S* – динамическая система,

*Т* – множество моментов времени,

– целевое множество, ,



– множество допустимых управлений,



– подмножество множества (начальных событий),



– функционал качества управления;



и требованием: "для каждого начального события определить некоторое допустимое управление , которое переводит *(t0,x0)* в и которое при этом минимизирует функционал , где *t1* – момент первого достижения, а *u1* – точка первого достижения множества Y ".



Определение 3.2 является весьма общим, однако служит базой для дальнейшего исследования необходимых условий оптимальности систем управления. Выяснение вопросов существования оптимального решения и поиска такого решения является содержанием математической теории управления (теория Гамилътона-Якоби, принцип максимума Понтрягина, методы функционального анализа, ряд численных методов).

Определение 3.3. Рассмотрим произвольную динамическую систему *S*. Законом управления называется отображение , ставящее в соответствие каждому состоянию *u(t)* и каждому моменту времени / значение входного воздействия в этот момент времени.



При этом другие параметры динамической системы *S* могут влиять на конкретный вид функции .



Принцип, в соответствии с которым входные воздействия должны вычисляться через состояния, был сформулирован Ричардом Беллманом, указавшим на его первостепенную важность. В этом принципе заключена важнейшая идея теории управления. Это научная интерпретация *принципа "обратной связи"*, составляющего основу любого управления.

Важно отметить, что в текущем состоянии системы содержится вся информация, необходимая для определения требуемого управляющего воздействия, поскольку, по определению динамической системы, будущее поведение системы полностью определяется его нынешним состоянием и будущими управляющими воздействиями.

*Оптимальное управление* заключается в выборе и реализации таких управлении , которые являются наилучшими с точки зрения эффективности достижения цели управления.



Можно выделить два основных типа критериев эффективности систем управления.

*Критерий эффективности первого рода* – степень достижения цели системой. Если цель системы задана областью цели или точкой , то критерием эффективности I рода является отклонение , определяемое в терминах . Цель считается достигнутой, если



, или (3.10)



где – заданная малая величина.



При задании целевой функции

, (3.11)



,



если существует *F\*=extrF*, критерий I рода – разность *(F\*–F)*.

*Критерий эффективности второго рода –* оценка эффективности траектории движения системы и цели. Он определяется как некоторая функция:

. (3.12)



Критерий II рода позволяет сравнивать и оценивать различные изменения состояний системы в ходе достижения цели. Так, улучшение работы системы по критерию второго рода позволяет достичь цели при лучших значениях входов: обеспечить выпуск того же количества продукции при меньших затратах факторов производства *X*; или при лучших значениях состояний системы: минимальном времени непроизводительного простоя системы, минимуме отходов и брака и т.д.



В ряде случаев могут быть использованы критерии третьего типа *–* *смешанные*, в которых отражается сочетание приведенных показателей эффективности пути и степени достижения цели системой.

*Многокритериальная система управления.* Для многих сложных систем получить критерий эффективности в виде скалярной функции не представляется возможным. В этом случае используется векторный критерий, составляющими которого являются самостоятельные, независимые критерии. Такие системы называются *многокритериальными*.

Паллиативным решением является искусственное введение коэффициентов, позволяющих получить линейную комбинацию составляющих векторного критерия, приводя его таким образом к скалярному виду. Однако, принимая во внимание независимость составляющих критериев, процедура определения предпочтений на множестве критериев и введение обобщенного критерия представляют зачастую большую сложность. Достаточно эффективным способом, используемым в случае векторного критерия, является выбор управлений, оптимальных по Парето. Множество *оптимальных по Парето решений* составляют такие, ни одно из которых не доминируется в определенном смысле никаким другим решением из этого множества. Таким образом, каждое из множества оптимальных по Парето управлений лучше любого другого по одному из независимых критериев.

*Иерархические системы управления.* Важный класс систем управления образуют системы произвольной природы (технические, экономические, биологические, социальные) и назначения, имеющие многоуровневую структуру в функциональном, организационном или каком-либо ином плане. Характерными признаками *иерархических систем управления* (ИСУ) являются: вертикальная декомпозиция системы на подсистемы, приоритет подсистем верхнего уровня по отношению к нижележащим, наличие обратных связей между уровнями. Широкое использование и универсальность ИСУ обусловлены рядом преимуществ по сравнению с системами радиального (централизованного) управления:

свобода локальных действий в рамках наложенных ограничений;

возможности целесообразного сочетания локальных критериев функционирования отдельных подсистем и глобального критерия оптимальности системы в целом;

возможности сжатого, агрегированного представления актуальной информации о результатах управления, поступающей по каналам обратной связи;

повышенная надежность системы управления, наличие свойств управляемости, адаптивности, организованности и ряда других свойств, специфичных для конкретных систем;

универсальность концепции управления и подходов к решению задач управления в ИСУ;

экономическая целесообразность по сравнению с системами управления иной структуры. Последнее качество требует обоснования в каждом конкретном случае.

Теория управления ИСУ включает следующие основные разделы:

структурный анализ и синтез ИСУ;

проблема координации в ИСУ;

оптимизация функционирования ИСУ.

Задачи, решаемые в названных разделах, будут рассмотрены в соответствующих главах настоящего учебника.

Принцип иерархичности управления является выражением целостности систем; он, предопределяя организованность, позволяет найти способы управления сложными системами. Если организованность системы отсутствует, невозможно определить задачи управления даже для простых объектов.

Этот принцип предусматривает способ расчленения системы на элементы и взаимодействующие подсистемы и многоступенчатого построения управляющих систем, в которых функции управления распределяются между соподчиненными частями. В расчлененной системе одна часть оказывается "вложенной" в другую и является ее структурной составляющей. В такой системе существует взаимосвязь подсистем по одним отношениям и их свойствам и независимость по другим.

Определение 3.4. Общая задача оптимизации.

Пусть – некоторая функция, отображающая множество *M* множество *Q*, которое упорядочено отношением "". Тогда задача оптимизации может быть сформулирована следующим образом: для данного подмножества найти такое , что для всех выполняется условие:



. (3.13)



Множество *М* является *множеством решений* задачи управления, множество – *множеством допустимых решений*, функция – *целевой функцией*, а *Q* – *множеством оценок*. Элемент , удовлетворяющий условию (3.13) при всех , называется *решением* задачи оптимизации, задаваемой парой .



Зачастую функцию определяют с помощью функций:

и , (3.14)



.



В этом случае функцию *Р* называют *выходной функцией*, а функцию – функцией качества или оценочной функцией; задача оптимизации тогда определяется тройкой *(Р,,М)* или парой *(Р,)*, если .



Определение 3.5. Система называется *системой принятия решений*, если существует такое семейство задач принятия решений , решения которых принадлежит множеству *М*, и такое отображение , что для любого и пара *(х,у)* принадлежит системе *S* тогда и только тогда, когда найдется такое , что является решением задачи *Dx*, а *Р(m)=у*.



Следствие. Любую систему управления *S* можно представить как систему принятия решений и наоборот, просто опираясь на предположение о целесообразности ее поведения.

Принятие решений в системе управления производится на основе отбора и преобразования информации. Цитируя У.Р. Эшби, можно отметить, что "любая система, выполняющая подходящий отбор (на ступень выше случайного), производит его на основе полученной информации.

Принято различать системы управления и процессы управления.

Рассмотрение содержания или функций управления относится к процессам управления. Состав функций управления определяется особенностями системы управления и целями исследования.

### 

### Виды связей в системах управления

Вид соединения элементов, при котором выходное воздействие одного элемента передается на вход другого элемента, называется *прямой связью*. Прямая связь между двумя элементами системы может осуществляться непосредственно или через другие ее элементы. В случае опосредованного воздействия выходной сигнал одного элемента поступает на вход другого с передаточным коэффициентом промежуточного элемента.

Вид соединения элементов, при котором выходное воздействие одного элемента передается на вход того же самого элемента, называется *обратной связью*. Обратная связь может осуществляться либо непосредственно от выхода элемента системы на его вход, либо через другие элементы данной системы. Обратная связь бывает *внешняя* и *внутренняя*. Внешней, или главной называется такая связь, посредством которой осуществляется передача части выходного сигнала всей системы управления на ее вход. Внутренние, или местные обратные связи соединяют выход отдельных элементов или групп последовательно соединенных элементов с их входом. Различают *положительную* и *отрицательную* обратную связь. Если под действием обратной связи первоначальное отклонение управляемой величины *у*, вызванное возмущающими воздействиями , уменьшается, то считают, что имеет место отрицательная обратная связь. В противном случае говорят о положительной обратной связи. Следовательно, положительная обратная связь усиливает действие входного сигнала, отрицательная –ослабляет.



Положительная обратная связь используется во многих технических устройствах для увеличения коэффициента передачи. В экономике на принципе положительной обратной связи основаны системы материального стимулирования. Положительными являются обратные связи в схеме межотраслевого баланса.

Примером использования отрицательной обратной связи является термостат. Обычно положительная обратная связь приводит к неустойчивой работе системы, т.к. соответствует увеличению возникшего в системе отклонения. Отрицательная обратная связь способствует восстановлению равновесия в системе. Поэтому системы с отрицательной обратной связью являются относительно устойчивыми.

Если сигнал обратной связи пропорционален установившемуся значению входной величины и не зависит от времени и скорости ее изменения, то такая обратная связь называется *жесткой*. Сигналы гибкой обратной связи пропорциональны скорости изменения входной величины. Мерой величины обратной связи служит *коэффициент обратной связи*.

Обратная связь является одним из важнейших понятий кибернетики, оно помогает понять многие явления, происходящие в системах управления любой природы. Важную роль обратная связь играет в распознавании образов и принятии решений. Положительную обратную связь используют в системах обучения. В организационных системах обратные связи используются для выработки управляющих сигналов, для выработки критерия эффективности управления и оценки качества управления. В биологических системах обратная связь обеспечивает поддержание в нормальном состоянии основных показателей жизнедеятельности: температуры и массы тела, уровня сахара и гемоглобина в крови, другие. В экономических системах обратная связь играет важную роль в обеспечении эффективного управления.

Свойства систем управления существенно зависят от способа формирования управляющих воздействий. При этом полезно рассмотреть *разомкнутые* и *замкнутые* *системы*.

### 

### Виды управления

*Жесткое управление*. Под жестким управлением понимается воздействие на систему или процесс, направленное на достижение заданного типа поведения. Процесс управления характеризуется наличием разомкнутого контура, особенность которого состоит в том, что достижение результата не сообщается в устройство управления.

Жесткое управление реализуется в предположении о полной определенности условий внешней среды.

Назначение устройства управления состоит в следующем: на вход программного блока поступает задающее воздействие *α(t)*. Программный блок транслирует систему команд *m(t)*, которые исполнительный блок преобразует в последовательность управляющих воздействий *w(t)*, цель которых состоит в том, чтобы управляемый параметр *у(t)* максимально соответствовал задающему воздействию *α(t)*. Поскольку обычно на процесс влияют внешние воздействия *x(t)*, они должны по возможности учитываться и заранее компенсироваться устройством управления. Но так как предвидеть все возмущения заранее невозможно, выполнения равенства *α(t)=y(t)* добиться трудно. Алгоритмическое и техническое решение системы жесткого управления относительно простое, но область его применения на практике весьма ограничена: простейшие автоматические технические устройства, жесткое администрирование.

*Регулирование*. Регулирование представляет собой процесс, в ходе которого регулируемый параметр *у* измеряется и сравнивается с *α*. При отклонении этих величин регулятор через исполнительный блок воздействуют регулирующей величиной *w* на процесс или объект с тем, чтобы обеспечить выполнение условия *α(t)=*y(t). Для регулирования характерно наличие замкнутого контура.

Различаются два основных вида систем регулирования:

*регулирование по отклонению* имеет место, когда достигнутый результат *у* через цепь обратной связи после измерения поступает в регулирующее устройство, которое генерирует соответствующий управляющий сигнал *m(t)*. Регулирование по отклонению от управляемой величины реализуется в *системах стабилизации*. Задачами стабилизации являются задачи поддержания выходных величин *y(t)* вблизи некоторых неизменных заданных значений *Y*. Так, задачи стабилизации решаются при осуществлении технологических операций, так как соответствие выполняемых работ технологическому процессу является необходимым условием получения продукции с заданными свойствами. В системах энергоснабжения должны быть стабилизированы напряжение и частота тока в сети вне зависимости от изменения потребления электроэнергии. Другим типом регулирования по отклонению являются *системы с программным управлением*. Задачи такою типа возникают, когда необходимо, чтобы состояние управляемого объекта удерживалось вблизи изменяющегося во времени по заранее заданному закону значению *y(t)*. Задачи программного управления возникают в производственных системах при выполнении работ в соответствии с планом. Системы программного управления широко применяются в технике для автоматизации технологических процессов (станок с программным управлением); *регулирование по возмущению* происходит, если возмущения *x(t)* учитываются, измеряются и компенсируются регулятором по контуру, включающему измерительный блок 2 (см.рис.3.3).

Часто встречаются ситуации, когда закон изменения во времени заданного состояния системы заранее неизвестен, а определяется в ходе самого процесса в соответствии с внешним сигналом. Система управления, предназначенная для изменения состояния *Y(t)* управляемого объекта по закону, задаваемому внешним, неизвестным заранее сигналом, называется *следящей системой*. При этом внешний сигнал называется ведущей величиной. Примером следящего управления является "*задача преследования*" из области военной кибернетики, так же, как и следящее управление с упреждением (управление зенитным орудием). Упреждающим может быть и управление экономическим объектом, например, при решении задачи бездефицитного снабжения потребителей деталями со склада, другие задачи управления запасами.

*Основная формула теории регулирования*. Методы регулирования основаны на использовании обратной связи. Рассмотрим простую систему регулирования, имеющую один вход *X* и выход *Y*.

Рассмотрим некоторую регулируемую систему *S*, которая подвергается определенным воздействиям *X*, дающим в итоге требуемый результат *Y*. Результат воздействует на регулятор *R*, который, в свою очередь, воздействует на регулируемую систему. Комплекс регулируемой системы и регулятора составляет *систему регулирования*. Преобразование состояния входа *Х* в состояние выхода *Y* формально можно отобразить как: *Y = SX*. Этот способ отображения соответствует разомкнутому контуру управления. Как показано на рис.3.4, состояние выхода регулируемой системы *S* передается на вход регулятора *R*, выходом которого является величина *∆X*. Это состояние прибавляется к состоянию входа системы *S: Х+∆Х*.

Предположим, что регулируемая система работает как пропорциональный преобразователь: *Y=SX*.

При *S>l* пропорциональное преобразование называется *усилением*, а при *S<1* – *ослаблением*. Показатель – называется *пропускной способностью регулируемой системы*.



Предположим также, что регулятор тоже осуществляет пропорциональное преобразование, а его пропускная способность равна *R*. Тогда *∆X= RY ∙ С* с учетом воздействия регулятора состояние выхода регулируемой системы определится как:

Y = S(X+∆X) = S(X+RY) = SX+SRY,

отсюда,

. (3.15)



Выражение (3.15) является *основной формулой теории регулирования*. Приведенная формула дает возможность рассчитать необходимое значение входной величины, чтобы при заданных параметрах системы *S* и *R* получить на выходе искомый результат *Y* Принимая во внимание то, что , выражение называется *пропускной способностью системы регулирования*. Из основной формулы теории регулирования вытекает специфическая роль регулятора. При *R=0* пропускная способность регулируемой системы была бы равна *S:Y=SX*. Наличие регулятора требует введения множителя , который характеризует его действие. Сомножитель выражает действие обратной связи в системе регулирования, и его называют *оператором или мультипликатором обратной связи*.



Регулирование как функция управления получила широкое применение в исследовании экономических систем управления.

Основные свойства и характеристики регулируемых систем изучаются технической кибернетикой в разделе *теории автоматического управления*.

*Адаптивное управление*. В тех случаях, когда воздействующие на систему факторы являются частично или полностью неопределенными, управление становится возможным только после накопления некоторой информации об этих факторах и характеристиках объекта. Управление в системе с полной априорной информацией об управляемом процессе, которое изменяется по мере накопления информации и применяется для улучшения качества работы системы, называется *адаптивным управлением*.

В дискретном времени , где *Т –* время, *∆t* – интервал его *квантования*, процесс адаптивного управление может быть представлен следующим образом. Пусть управляемый процесс *u* является марковским процессом и описывается некоторой характеристикой



Марковский процесс – случайный процесс, обобщенное понятие динамической системы, введенное А.Н. Колмогоровым, процесс, который преобладает тем свойством, что его поведение после момента *t* зависит только от его значения в этот момент и не зависит от поведения процесса до момента *t*.

Пусть в момент *t* заданы состояние процесса и, и состояние информации о процессе *Рt* образующие точку *(хt, Pt)* в некотором фазовом пространстве. Переход в новое состояние происходит под воздействием управления *хt*, и возмущения – случайной величины с вероятностным распределением *dP(ut , Рt ; хt ,)*, которое может являться какой-то частью характеристики информации. Переход в новое состояние может быть определен случайными преобразованиями *∑1* и *∑2* так, что:



ut+1 = ∑1 (ut , Рt ; хt ,); (3.16)



Pt+1 = ∑2 (ut , Рt ; хt ,). (3.17)



Управление *х*, изменяя состояние процесса *u*, влияет и на характеристику информации *Р*.

Если преобразования *∑1* и *∑2* заданы, то управление в момент перехода следует выбирать в виде:

xt = xt (ut , Рt). (3.18)

Управление (3.18) обладает свойством адаптации в том смысле, что оно зависит от всей доступной в момент *t* информации *Рt*, о процессе. Но обычно преобразования *∑1* , *∑2* не заданы, и определение этих преобразований, как и самой характеристики информации, является частью задачи об управлении с адаптацией. Для того, чтобы информация о процессе со временем накапливалась, необходимо специально выбирать *∑2* так, чтобы описание процесса *Pt+1* было более полным, чем *Рt*. Изменения в направлении улучшения характеристик информации составляют сущность адаптации. Если с состоянием *ut+1* связать некоторый показатель качества управления *(ut+1)*, то за счет большей "информированности" управления вследствие адаптации этот показатель может улучшаться. При этом последовательность преобразований *(∑1 , ∑2)t*, *t=0,l,2,...* дает процесс управления с адаптацией.



Таким образом, общее представление процесса адаптивно управления включает характеристику информации *Р* и механизм адаптации, определяемый преобразованием *T2*.

Двойственный характер адаптивного управления проявляется и том, что, с одной стороны, невозможно осуществлять эффективное управление, не зная характеристик объекта, с другой – можно изучать эти характеристики в процессе управления и тем самым улучшат, его. Управляющие воздействия носят двойственный характер: они служат средством как активного познания управляемого объекта, так и непосредственного управления им в текущий момент времени.

В системах адаптивного управления обязательным является наличие обратной связи ввиду непрерывного процесса исследования характеристик объекта.

В системах управления, реализующих *принцип адаптации*, могут меняться параметры и структура системы (*самоорганизация*), программа, алгоритм функционирования и управляющие воздействия (*самонастройка*). Накопление и обобщение опыта обеспечивает возможности обучения и *самообучения* систем управления.

Адаптивное управление в полной мере присуще системам управления в живой природе. Она дает нам образцы совершенной организации, настройки и функционирования систем управления сложнейшими динамическими процессами, которые современная теория и практика управления стремиться воспроизвести в искусственных системах. Адаптация в экономических системах проявляется в способности системы сохранять в процессе развития существенные параметры не изменяющимися в определенных границах их варьирования, несмотря на разнообразие воздействий внешней среды.

### Самоорганизующиеся системы

Распространенное понятие в науке – *процесс выравнивания*. То есть, если система разделена на пару свободно взаимодействующих подсистем, и одна из них имеет большее количество некоторого вещества чем другая, то будет в конечном счете достигнуто состояние равновесия системы в целом, в котором распределение вещества в обеих подсистемах будет равным. Мы говорим, что более типично, И более "*самоорганизованно*" выравнивается энергия. Типичный пример этого процесса относится к энергии в форме тепла, и выражен во втором законе термодинамики: если взаимодействуют горячее тело и холодное тело, тепло будет переноситься от горячего к холодному телу пока они не разделят количество теплоты в равной степени; затем перенос прекращается.

В этом случае система, состоящая из этих двух тел, была активна. Энергия в форме тепла, была доступна для переноса от первой подсистемы ко второй, и могла попутно производить полезную работу. Мера того, насколько полезная работа могла производиться, называется энтропией. *Энтропия –* мера дисбаланса энергии в системе. В термодинамической системе, это отношение количества теплоты доступной для работы к абсолютной температуре системы. Со временем все тепло "выравнивается", это отношение вырастает до единицы. После этого система умирает, в том смысле, что деятельность внутри нее обязательно останавливается. Повышение энтропии происходит автоматически; это – закон природы: при прочих равных условиях, энтропия стремится к своему максимуму.

Понятие энтропии трудно понять, особенно, потому что оно развивается в отдельных отраслях науки в несколько иной форме. В кибернетике, в частности, мы встречаем ее отрицательную версию, названую *негэнтропией*. Вполне возможно, негэнтропия – мера информации. Это означает, что система, получающая энтропию, теряет информацию. Со временем энтропия повышается до единицы, вся энергия выравнивается и нам нечего сказать о системе как таковой – она умерла. У нее нет информации для передачи.

Эти понятия, и этот основной закон природы, очень сильно влияют на сущность самоорганизации. Снова рассмотрим систему, разделенную в две свободно взаимодействующие подсистемы. предположим, что одна из них более организована, чем другая. Следует ли из этого, что она должна разделить уровень своей организации с менее организованной системой? Аналогично ли "вещество структурированности" теплу, и будет ли оно выравниваться? Ответ – нет; фактически, верно обратное: система, которая организационно несбалансированна, будет иметь тенденцию к еще большей несбалансированности. Причина в том, что понятие организации ближе к доступной информации, чем к доступной энергии; ее совершенствование, следовательно, измеряется скорее ростом негэнтропии, чем энтропии.

Предположим, что две подсистемы начинают с одним и тем же количеством энергии. Подсистема *А* израсходовала большую часть этой энергии в процессе своей внутренней организации. Подсистема *В* израсходовала меньшее количество энергии в процессе организации до более низкого уровня. Таким образом, *А* более организованна и более истощенная в плане энергии, чем В. Соответственно, при возникновении взаимодействия, энергия должна, согласно правилам энтропии, перетекать от В к А. Теперь слишком поздно для *В* пытаться удержать один уровень организации с *А*. Она сталкивается с уменьшением запаса энергии, доступной для собственной организации, в то время как *А* увеличивает свой запас. Так более организованная *А* "кормится" от менее организованной *В*. В конечном счете, *А* разрушает *В* полностью (в изолированной системе). Заметьте, что граница *А*, которая служит разделом с *В*, должна отображаться, как вторжение на территорию *В*. То есть, степень организации перемещается против направления потока энергии.

Теперь обсудим экологические процессы: они относятся к взаимодействию организма и окружающей среды. Поэтому рассматриваемая система названа (для краткости) экосистемой. Отрицательная обратная связь важна в экосистеме; она сокращает чрезмерно большие животные популяции, например, через экологический гомеостазис. Но именно в экосистеме, мы сталкиваемся также и с положительной обратной связью – тенденцией некоторого изменения быть автоматически усиленным. Распространение более организованного за счет менее организованного – типичный пример положительной обратной связи.

Оба типа обратной связи видны в действии в самом простом организме, который мы можем исследовать: живая клетка. Николас Рашевски, один из тех, кто посвятил себя научному исследованию и строгой формулировке биологических механизмов, излагает эту теорию в его "Математических принципах биологии". Клетка существует в гомеостатическом равновесии с окружающей средой, обмениваясь веществом в обоих направлениях через мембрану. Если некоторое вливание вещества произведено внутри клетки так, что происходит более высокая концентрация вещества внутри чем снаружи, то это вещество будет стремиться диффундировать через мембрану – чтобы просочиться в окружающую среду в небольшом количестве. Но если вещество будет исчерпано внутри клетки, так, что концентрация вещества станет выше снаружи чем внутри, значит, будет возникать диффузия внутрь. Это – энтропический процесс, но он не достигнет окончания, потому что он не изолирован; клетка, например, может продолжать производить вещество неограниченно. Но присутствует тенденция – имеет место бесконечный поиск баланса. Рашевски выражает этот гомеостатический механизм системой уравнений.

Уровень диффузии через мембрану зависит от проницаемости мембраны, и того, что управляет самой природой – размера клетки. Если бы скорость продуцирования вещества спонтанно увеличилась возможной скорости вытекания, то концентрация внутри клетки увеличилась бы до бесконечности. Пусть технологический процесс требует энергии, в виде кислорода. Так как он расходуется внутри клетки, принимая, что имеется бесконечный запас кислорода снаружи, тенденция "выравнивания" требует, чтобы кислород перетекал внутрь. Но система уравнений Рашевски показывает, что норма потребления кислорода стремится к предельному значению. Этот факт должен сдерживать производство внутри клетки. В частности это ограничивает скорость продуцирования чем-то меньшим, чем норма диффузии за пределы клетки – иначе клетка взорвалась бы. Клетка фактически имеет критический радиус, свыше которого никакое стабильное состояние диффузионного взаимодействия не существует. Возможно механизм (в отличие от химии), благодаря которому достигнута эта способность к самоорганизации, не понят должным образом. Однако поведенческие факты ясны. Потребность регулировать уровень производства в соответствии с уровнем оттока удовлетворена регулятором впуска кислорода. Он проверяет повышение концентрации вещества в каждом случае его выхода из под контроля. Это описание изоморфно отображается в описание регулятора хода парового двигателя Ватта.

Кроме того, мы можем обнаружить в той же самой клетке явление положительной обратной связи. Хотя оно достаточно слабо для того, чтобы как-то изменить (непосредственно) экологический гомеостазис, оно может сильно повлиять на самоорганизациею. Предположим, что производство уже рассмотренного вещества внутренне контролируется катализатором, функция которого – замедлять это производство. Катализатор – в форме частиц. Так как произведенное вещество течет наружу, это должно привести к движению частиц катализатора наружу. Следовательно, производство вещества будет невозможно вокруг оболочки клетки. Затем, как это часто случается в природе, случайные изменения создают скопление этих каталитических частиц в одной точке на оболочке клетки. В этой точке, в этом случае, производство вещества будет совершенно запрещено: оно будет возникать с большей концентрацией в любом другом месте. Это означает, что диффузия направлена к точке, где сгруппированы кататалитические частицы – поток, который будет содержать еще частицы.

В этом случае имеется положительная обратная связь. Случайная группа частиц не рассеивается энтропией, а пополняется притоком большего количества частиц. И это в свою очередь усилит тенденцию. Таким образом, клетка приобретает большую структурированность, большую организацию. Клетка имеет теперь самоорганизованную и саморегулирующуюся полярность.

Критерий, по которому можно распознать сложную систему, которая сама организует себя, должен быть четко определен. Некоторые утверждают, что должны быть выполнены многие сложные условия – другие заявляют, что почти любая сложная и разнообразно взаимодействующая система выберет меру самоорганизации самостоятельно. Последняя точка зрения будет обсуждена, но по довольно специфической (возможно идеосинкратической) причине. Организация – скорее атрибут наблюдателя системы, чем системы непосредственно; она представляет собой развитие аргументов, выдвинутых ранее относительно распознавания системы как являющийся системой вообще.

Считается, что субъект этого запроса – сложная, взаимодействующая система с высоким многообразием. Такая система имеет бесчисленное число типов поведения; и согласно здравому смыслу это поведение вынуждает наблюдателя подходяще описать ее либо как зачаточную или организованную. Но даже если он не может объяснять ее поведение и называет ее хаотической, наблюдатель может вполне признавать, что "должна быть причина" для этого поведения. Далее он говорит, что видимый хаос – мера его собственного незнания. Принимая во внимание взаимосвязь и взаимообусловленность естественных явлений, мудро принципиально утверждать, что система организована.

Живой пример в подтверждение этого описания может быть взят непосредственно из термодинамики. В системе, состоящей из молекул газа, может в данный момент существовать радикальный дисбаланс: концентрация молекул в одной части системы. Энтропическим процессом дисбаланс выравнивается, пока не появится полностью однородный газ, ограниченный системой. Это экспериментальный факт, и причина того, почему это происходит, совершенно ясна. Никто не обсуждает того, что энтропия стремится к максимуму. Интересный факт – традиционно термодинамики называют несбалансированную систему упорядоченной (потому что дисбаланс имеет своего рода порядок – большую и меньшую концентрацию молекул), и совершенно уравновешенную систему они называют беспорядочной (потому что она однородна, и молекулы газа могут находиться вообще где угодно). Описанный процесс назван *преобразованием порядка в беспорядок*. Согласно нему, система получает энтропию и теряет организацию. Но что может быть более упорядоченным, или лучше организованным, чем полностью однородное распределение молекул? Это означает, что вероятность того, что любое место занято любой молекулой точно такая же для всех точек пространства и всех молекул. Это (если мы решим сказать именно так) – совершенство организации, абсолютная упорядоченность. Только, когда вероятности различны, и молекулы сконцентрированы в определенных зонах всей области, то имеет место беспорядок. Таким образом, на тех же самых фактах и той же самой математике, наверное, предпочтительнее использовать понятие преобразования беспорядка в порядок.

Нельзя говорить, что система созревает до более организованного состояния, если фактически процесс энтропии заставляет ее дезинтегрировать – терять сложность. Предположим, что мороженый пудинг совершенной формы вытащен из холодильника и оставлен в теплой комнате. Согласно этому определению, система будет вызревать к состоянию, в котором тарелка будет заполнена текучей жидкостью, которая должна быть в этом случае объявлена более организованной, чем она была прежде. Если этот результат противоречит обычному подходу, что он и делает, причина не в том, что ссылка на сложность быт опущена. Мороженый пудинг действительно развился до более вероятного состояния чем прежде, и следовательно более, а не менее организован относительно окружающей среды. Нет; то, что было опущено – это ссылка на цели пудинга.

Это фактически целенаправленный контекст системы, который определяет, должна ли система быть названа совершенно организованной или полностью дезорганизованной. Уровень организации, соединяющий эти крайние состояния, градуирован пригодностью системы к достижению цели. Целая единица описания мороженого пудинга – это то, что он должен быть (относительно) холодным, и сохранять формующуюся форму. Осознание цели, таким образом, определяет физическое состояние, которое будет считаться "совершенно организованным" на шкале. В этом понимании, пудинг, который распадается в теплом месте, в конце концов, потеряет организацию, что удовлетворяет традиционным представлениям. Но энтропия системы возрастает, и мы сказали, что это означает, что организация также должна увеличиться. Какое решение этого парадокса?

Ответ в том, что пудинг никогда не должен быть извлечен из холодильника. В процессе его извлечения, целенаправленный контекст был изменен. Пудинг был настроен на программу "адаптация" к теплой комнате, к выполнению которой он приступил – вследствие чего эта система созрела". Если пудинг намеревается остаться холодным, сохранить форму, тогда уместная окружающая среда, к которой он должен адаптироваться – холодильник. Все сказанное означает, что, если максимальная энтропия определяет созревание и, следовательно максимальную организацию, то контекстуальная система (*S*), состоящая из первоначальной системы (л), взаимодействующей с непосредственной окружающей средой (*е*), должна быть определена относительно цели первоначальной системы (*s*). Если и только если так определено, то частные значения для уравнения энтропии (тавтологически) указаны так, что процессы энтропии направляют систему (*s*) к максимально организованному состоянию и никуда больше. Это в свою очередь означает, что система (*s*) и окружающая среда (*е*) рассматривается как относительно изолированная система (S} внутри большей окружающей среды (*Е*).

При анализе первоначального парадокса, становится ясно, что система (*s*), получающая относительно окружающей среды (*Е*) энтропию – это пудинг, который тает в теплой комнате и становится более организованным относительно нее. Когда мы говорим, что эта концепция организации бесполезна, мы подразумеваем, что цель пудинга состоит в том, чтобы быть холодным и отформованным; он, следовательно, изолирован от комнаты при помощи окружающего его холодильника. Энтропическая девиация внутри этой системы определена соотношением (*s – е*). Поскольку *е* более холодная чем *s*, пудинг становится более организованным в допустимом смысле (то есть относительно цели). В чем же состоит назначение большей окружающей среды (*Е*), комнаты снаружи холодильника?

С точки зрения системы (*s – е*), которая также является точкой зрения наблюдателя пудинга, комната – источник возмущений окружающей среды, целью которого служит подавление: она – разрушитель пудингов. Теперь конечно холодильник в частности является механизмом достижения гомеостазиса в контуре (*s е*) вопреки внешним возмущениям внешней среды. Система (*s е*) ультраустойчива. Все типы непрограммируемых возмущений могут быть реализованы в наружной части комнаты противниками мороженых пудингов. Они могут разжигать огонь на полу (которого не ожидал проектировщик холодильника); они могут замораживать комнату в надежде относительно усыпить бдительность холодильника, и затем быстро нагревать ее снова. Это все без толку. Мы, знающие, как работают холодильники, понимаем, что эта машина имеет внутренний механизм управления: равновесие восстанавливается в случае его потери.



Мы не приучены к пониманию того, что порядок более естественен, чем хаос. Люди ожидают, что природа будет хаотической, и думают о порядке как о чем-то привнесенном в природу умными людьми. Как в преобразовании беспорядка в порядок в физике, который мы, однако, объявили, более предпочтительным, чем преобразование порядка в беспорядок, так и в сфере живых существ. Уже достаточно много говорилось об экологическом равновесии; однако факт, что каждая экосистема, которая окружает нас, имеет собственную упорядоченность, продиктованную энтропией созревания, в общем не отмечен. Следующий пример сможет помочь осветить это положение. Это частный пример экосистемного управления, к существованию которого уже притягивается внимание.

Cabbage aphis – это тля. Она весит около миллиграмма, и питается, сидя на капустных листьях. Предположим, что в начале летнего сезона взята только одна тля. Начинается размножение (партеногенез). Тля размножается быстро и с большой фертильностью. Если ничто не повлияло на процесс, то есть, если вся тля в свою очередь жила и размножалась в условиях достаточности капусты, очевидно, что к концу сезона появилось бы относительно большое количество тли. Люди хорошо сознают, что этот экспоненциальный процесс размножения впечатляет, – но на сколько впечатляет? Какой бы вес тли оказался в результате эксперимента? Мы не знаем ответ, но подготовлены быть впечатленными общим количеством, которое, очевидно, могло бы достигать несколько тонн. Но согласно докладу Нью-Йоркской Академии Наук, на самом деле ответ – 822,000,000 тонны – который равен приблизительно пятикратному весу полного человеческого населения.

Этого фантастического распространения тли не произойдет; многочисленное потомство, которое является производительной силой тли, поглощается внутри экосистемы гомеостазисом. Не существует никакого "Контроллера Тли", никакого получения лицензий, никаких правил ни юридических, ни моральных с помощью которых можно предотвратить всемирное наводнение тлей (или совершенно любым другим животным). Не существует и процесса массового сокращения животной популяции вплоть до полного уничтожения целой разновидности. Это не хаос, а наиболее замечательный порядок. И он заключается в той упорядоченности, которую садовод совершенствует своим пестицидом – не для того, чтобы выстроить порядок из хаоса, как он может думать, а для того, чтобы внести локальное изменение в гомеостатическое равновесие одного набора выделенных подсистем. Это происходит посредством изменения локальных рамок подсистемы таким образом, что энтропическая девиация была направлена на разрушение тли. Управление системами с высоким многообразием всегда имеет отношение к формированию определения энтропии, которая обслуживает частные цели, и с определением успеха как завершенности системы с ее максимальной энтропией.

Представления о том, что самоорганизующаяся система становится тем, чем она является на основании тенденции, родственной энтропии, на самом деле существенны, и их смысл должен быть понят Вопрос, на который нужно ответить: что делает природу такой умной?

Раз уж свойство самоорганизации было определено, как *структурное регулирование множества возмущений в контексте с множеством первоочередных целей*, оно прекращает быть чем-либо "умным". Ум самоорганизующейся системы постоянно находится в умах наблюдателей, которые пытаются представлять себя определяющими правила: они останавливаются перед трудностью этой задачи. Как можно было бы, например, запрограммировать пчелу строить медовые соты в виде шестиугольной решетки? Или каким образом – и действительно как – можно было бы запрограммировать облако горячего газа в космосе, чтобы обеспечить сохранение равновесной температуры превышающей 6000°С? Предполагается, что мы придерживаемся наших знаний естественных законов и отказываемся заниматься таким бессмысленным занятием, как исследование природы этого программирования, мы можем понять, как такие приемы применяются. Это не более, чем попытка рассмотреть, как самоорганизующиеся системы могут быть созданы и области управления. Таким образом, поскольку концепция энтропии была представлена различными способами, будет полезно получить более-менее точное ее определение.

В классической термодинамике, понятие энтропии объясняется примерно так. Имеется система, состоящая из частей, некоторые из которых более теплые, чем другие. В каждый элементарный момент времени, крошечное количество теплоты изменяет свое местоположение в этой системе (пока, в конце концов, полностью не перераспределится). Значение количества теплоты, которое переносится, имеет прямое отношение к общей температуре системы в это время. Это соображение, которое дает классическую математическую формулировку для энтропии:

.



Теперь, когда теплота обменивается на основе энтропической девиации, каждое из состояний на пути от несбалансированной системы до выровненной системы может быть достигнуто бесчисленным числом способов. То есть, поскольку теплота выравнивается по стадиям, нет необходимости знать, где каждая конкретная частная молекула находится на любой стадии. Если бесчисленных способов, о которых говорилось, *g*, и все они равновероятны, то энтропия возрастает с логарифмом *g*. Это – формулировка энтропии, которая может быть найдена в статистической механике, и она записывается даже проще:

S = k log g,

где *k* – константа, постоянная Больцмана, если быть точным.

Очевидно, любая система имеет большое количество возможных состояний, которые в данный момент мы считаем равновероятными. Так что энтропия системы – это логарифм вероятности того, что система находится в данном состоянии. Когда система полностью созрела (как это было описано ранее), это означает, что она находится в наиболее вероятном состоянии. Так что энтропия – это естественная "сила" которая несет систему от невероятного состояния к вероятному.

Чтобы извлечь всю пользу из этого открытия, мы должны оценить энтропию в виде, который учитывал бы то, что все состояния системы в большинстве случаев не в равной степени вероятны. Рассмотрим состояние *i*. Вероятность *Р*, того, что система находится в состоянии *i*, меньше единицы, так как она могла бы быть в каком-то другом состоянии. Так что выражение для *S* с учетом вышесказанного должно быть перезаписано, чтобы согласовать сумму всех возможных состояний, измеряя вероятность каждого. Следовательно,

.



Для проверки предположим, что имеются только четыре возможных состояния системы, и что каждое является фактически в равной степени вероятным. Тогда новое будет иметь вид:

S = –k 4 ¼ log ¼ = k log ¼,

которое задается первоначальным выражением.

Эта классические выражения даются исключительно как помощь для понимания; мы не будем начинать вычислять их. Дело в том, что система имеет тенденцию двигаться от менее к более вероятному состоянию, и темп этого изменения пропорционален логарифму отклонения вероятности в любой момент времени.

Теперь становится понятно, что энтропическое движение переводит структуру экосистемы к модели, которая гарантирует равновесие между системой и окружающей средой. Если наблюдатель определил набор целей соответствующий его стремлениям, и выразил энтропическую девиацию, которая соответствует этим потребностям, он выровняет самоорганизацию системы. Затем он обращается к изменениям, проявляющимся как доказательство управления, которые с его точки зрения действительно являются таковыми. Несомненно, если система движется к тому, что он принимает за желаемый результат, она – "управляема". Кроме того, управление, которое было проявлено в процессе самоорганизации, пропорционально "самоосведомленности" системы о собственном неправдоподобии – измеряемом по отношению к наиболее вероятному состоянию завершенности. Термин "самоосведомленность", несомненно, также может использоваться; для системы находящейся в процессе самоорганизации, и для наблюдателя, движение должно выглядеть эволюционным и целенаправленным. Наблюдатель проектирует свое собственное видение цели системы. Таким образом, система кажется наблюдателю управляемой в соответствии с уровнем самоосведомленности – то есть информации относительно себя самой, – который она проявляет. Или, если быть точным: степень проявленного управления пропорциональна логарифму количества эффективной информации, доступной системе.

Эти заключения могут быть проверены в случае с пчелами, которые "должны быть запрограммированы", чтобы строить шестиугольные соты, и облаком горячего газа, которое "должно быть запрограммировано" сохранять высокую температуру. Каждая из этих систем – фактически самоорганизованная, их "управление" заключается в энтропической девиации. Фактически, они не должны программироваться; им необходимо лишь определить, чем они являются на самом деле.

Рассмотрим пчелу. Она выделяет воск, и строит свою соту, быстро вращаясь среди воска. Таким образом, о пчеле можно думать; как об окруженной герметической оболочкой в форме цилиндра воска. В таком случае вопрос состоит в том, как они должны быть запрограммированы, чтобы конструировать шестиугольную соту? Настаивать на ответе на данный вопрос – значит оставить наблюдателя биться над загадкой "ума" пчел. В этом случае пчеле должна быть известна математика; они должны общаться друг с другом в математических терминах. В этом случае пчела – чрезвычайно умна; хотелось бы конструировать компьютеры настолько же изобретательными. Но проблема совершенно необъективна. Цилиндры, после того как они сформировались, сплющиваются вместе под действием гравитационного поля. Следовательно, каждый будет смещаться вниз, насколько он сможет. Если бы имелись какие-либо промежутки, вращаясь пчелы заполнили бы их. Предположим, что первая пчела спускается к этому нижнему слою: она вполне может опуститься на спину другой пчеле. Но это – исключение; фактически рой пчел одновременно работает на всех уровнях, так что рассмотренная пчела с трудом сможет сбалансировать свою соту в неустойчивом равновесии на низлежащей – она будет низвержена со своего насеста. Очевидно, второй слой пчел неизбежно устроится в углублениях между пчелами слоя основания. И так далее.

Теперь рассмотрим пчелу, занятую всей этой деятельностью. Она находится в углублении, сформированном двумя пчелами низшего уровня; она касается двух пчел с обеих сторон (делая три соты в ряд на ее уровне); и так что еще две пчелы в верхнем уровне находятся в углублениях, вследствие этого образования. Следовательно, ее соты касаются тангенциально шесть других сот, равноотстоящих от нее. Воск по прежнему мягкий, и капиллярные силы вынуждают дуги окружностей сходиться друг к другу. Сотовая структура, которая выглядит настолько изобретательной, является просто экосистемой.

Самоорганизующаяся система в этом случае названа организованной, потому что она удовлетворяет критериям наблюдателя проекта: она обладает эстетически удовлетворительной регулярностью; она обладает превосходной экономией (максимум пчел в минимуме пространства), и, следовательно, выглядит целенаправленной для экономного гражданина. Она организовывает себя энтропическим процессом, однако, без применения мыслящей или хотя бы инстинктивной плановой функции. Для организации она подвергается выравниванию в системе под воздействием трех обобщенных сил: гравитация, капиллярность и случайное движение. Заметьте, как необходимое многообразие в "блоке строительства шестиугольников", которого не существует, снабжает систему таким количеством пчел, каково их общее число – не трудное для выполнения условие. Заметьте, что управляющие инструкции, необходимые для конструирования шестиугольников, определяются однородным преобразованием для каждой пчелы: "падай, толкайся, цепляйся".

В размышлениях об управлении, кажется, люди слишком механичны и самосозерцательны. Идеи механичны, потому что в разработке мы не достигаем результатов, если части системы не действуют совершенно предопределенным образом: инфраструктура работающей машины должна быть полностью определена. Идеи управления самосозерцательны , потому что наиболее внушительная естественная система в глазах человека – это он сам, и он управляется мозгом. Следовательно, если система находится под управлением, организованна, мы стремимся искать коробку, которая содержит "задания", "программы", "компьютер". Но наибольший урок кибернетики то, что наиболее типично – в природе нет такой штуки. Естественные системы организовывают себя в течение времени, чтобы быть тем, чем они в действительности являются. Для наблюдателя, который определяет критерии, по которым результат будет назван организованным, этот процесс кажется похожим на обучение или, в общем, на адаптацию. Фактически, это – процесс энтропии.

Нет ничего особенно замечательного в поиске системой более вероятного состояния по сравнению с менее вероятным состоянием которым она обладает в любой конкретный момент. И со статистической точки зрения, состояние любой системы обычно в достаточно высокой степени невероятно. Конечно, мы также не распознаем этого. Говоря обычным языком, вещи, которые имеют тенденцию, чтобы считаться более вероятными, являются таковыми потому, что они такие есть. Что произойдет, если четыре человека сидят и играют в бридж, и случиться, что каждому выпадет на руки целая масть? Учитывая, что игроки доверяют друг другу и не предполагают наличия шулерства, они станут очень возбужденными; они могут писать в газеты, чтобы обсудить астрономически неравные шансы против этого случая. При этом, однако, они не остановятся, чтобы подумать, что это частное распределение карт не более невероятное, чем частное распределение, полученное в каждой отдельной партии, которую они когда-либо засвидетельствовали. Любое частное распределение в высокой степени невероятно; однако любое частное распределение может быть получено совершенно легко, простой раздачей карт. Волнение образовано распознаванием случая, когда целая масть падает каждому игроку.

Теперь механизм самоорганизации становится, в конце концов, ясным, когда стало понятно, что система должна быть признана организованной, когда она в наиболее вероятном состоянии. Главный пример этого встречается в процессе роста. Зерно должно рассматриваться как усилитель многообразия, поскольку оно несет в себе описание чего-то большего, чем оно само. Но оно также несет в себе временный план роста завершенности: самоорганизующуюся способность. Этот план не только определяет набор архитектурных связей, он определяет критерий завершенности. То есть любая органическая семенная программа, которая начинает и управляет ростом, "знает, когда остановиться". Эта способность применяется не только к макроструктуре, так, чтобы Вы и я были приблизительно правильного размера, чтобы быть распознаны как люди; она также применяется к инфраструктуре организма: каждая конечность, каждый орган, каждое волокно ткани должно быть очерченным, от черепа до кончиков ногтей, растет к пределу.

В течение роста, дальнейший рост определяется следующим: развитие (за исключением протекающего под массивным вмешательством снаружи) не может быть приостановлено, пока план не выполнен. В этом диапазоне, частично выросший организм находится в маловероятном состоянии, и двигается к наиболее вероятному состоянию – взрослому состоянию. Рост может быть расценен, таким образом, как процесс энтропический. Процесс роста останавливается, когда генетическая информация исчерпана, в действительности, целиком и полностью обменяна на потенциал. Любая форма уравнения энтропии сможет формализовать этот процесс.

Рост, в этом случае, является самоорганизующейся деятельностью системы, в которой эта система "учится быть тем, чем она является". Семя "целенаправленно борется", чтобы высвободить взрослого, заточенного в него. Для семени *необходимое многообразие* – это гепатит, который оно непрерывно усиливает, генерируя большее количество многообразия из относящегося к окружающей среде входа для формирования фенотипа. Однако генотипическому многообразию предшествует в свою очередь необходимое многообразие; количество информации и упорядоченность определены родительским генетическим шаблоном. Таким образом, процессы воспроизведения и роста означают развитие некоторой организованной структуры, которой мы назвали организацию, через природу и через время, вдоль интервала жизненного цикла для каждого индивидуума. Обмены энергии объясняют эту возможность в терминах функционирования организма, но только энтропические обмены могут объяснять функционирование организации без быстрой деградации в поколениях потомков. Организация фактически сохраняется от родителя к потомству Доставками негэнтропии в окружающую среду, которую генератор многообразия в организме может использовать. Так становится возможной эволюция, так степень организации двигается против потока энергии, а увеличивается с энтропией. Таким образом, эволюция, так же как рост непосредственно, является самоорганизующейся характеристикой.

Становится все более очевидным как аргумент, что свойства живых организмов, которыми мы больше всего восхищаемся и пытаемся понять параметры самоорганизующихся систем. Обучение и адаптация, рост и эволюция, возникают в энтропических процессах, которые требуют наличия "контрольных центров", но используют всеобъемлющие естественные законы. Все они основаны на свойства» механизма выравнивания, *гомеостата*.

Затем было выдвинуто утверждение, что целенаправленная при. рода этих жизненных характеристик проектируется на систему наблюдателем, который интерпретирует энтропию в телеологических (целенаправленных) терминах. Сущность идеи состоит в том, что поскольку системы, управляемые природой в направлении выравнивания энергии, и поскольку организация сохраняется в этом процессе по причинам уже обсужденным, эти системы сопротивляются против возмущений. Наблюдатель, интерпретируя это, заявляет, что гомеостатическая система имеет адаптивные возможности: потому что, хотя окружающая среда изменяется все время, организм увековечивает собственную структурную идентичность, организацию. Аналогично, когда наблюдатель замечает сохранение идентичности по поколениям, сопровождаемым длительным увеличением в организации, он заявляет, что гомеостатическая система имеет эволюционные возможности. Вид выживает, и увеличивает целесообразность выживания в этом процессе. Эти способности целенаправленны, по мнению наблюдателя, только потому, что он может видеть, что они способствуют выживанию. Принимая во внимание влияния, которые очевидно атакуют, адаптирующийся организм и развивающуюся разновидность, наблюдатель думает об успехе в обоих случаях как о высоко невероятных событиях: вследствие его целенаправленных объяснений. Как было показано, однако, успех не невероятен (в среднем), но возможен; потому что невероятность не более невероятна, чем любая альтернативная невероятность, и в любом случае они перемещаются непрерывно к более вероятным состояниям все время.

Отметим, что эти объяснения целенаправленных механизмов далеко не объясняют "цель". Они не уверяют нас в том, что самоорганизующиеся системы не целенаправленны, а только говорят, что имеется естественный механизм, которому дано имя цели. Как каждый может его интерпретировать, это – субъективное понятие и оно должно зависеть от соответствия и согласования со словом "цель". Так, например, не представляется возможным, основываясь на данной главе ни делать атеистические, ни теологические выводы. Но может быть, необходимо сказать то, что должно быть объяснено, или теистически или атеистически, – не ум или сила стремления организма к поиску выживания, но существования, универсальности и простоты закона энтропии.

Энтропическим процессом, который ведет самоорганизацию, является гомеостазис, но мы научились здесь не думать о нем как о слепом. Жизнеспособные регуляторы управляются энтропией, но генерирование многообразия, производящее распространяющиеся состояния, из которых должны быть отобраны успешные, содержится вне системы. Часть этого влияния, несомненно, датирует задним числом собственное поведение системы посредством коенетических переменных, как обсуждалось ранее. Коенетические переменные уменьшают распространяющееся многообразие, резервируя некоторые подмножества возможного диапазона множества состояний. Во-вторых, многообразие уменьшено на обратную связь уничтожающего вида, основанную на экологически проверенных мутациях.

В-третьих, многообразие сокращено механизмом обучения, который обеспечивает мнимую случайность мутаций, вследствие чего происходит создание эпигенетического ландшафта, как в теории Ваддингтона.

Экосистема – это чувствительная мутация. Она дает гомеостату задачу, которая, наконец, может быть выполнена в доступное время. Вид может развиваться, индивидуум может обучаться. Жизнеспособная система, любого вида, может адаптироваться. Это – устройство управления, которое выбирает случайное из случайности. Вместо значения "совершенно непредсказуемый по форме и содержанию", случайный означает "в значительной степени предсказуемый по форме, но не по содержанию". И обучение, и адаптация, и эволюция –действительно стохастические процессы, контролируемые и обусловленные специальными обратными связями через алгедонические контуры.

### 

### Принципы и законы управления

Подведем некоторые итоги обсуждения концепции управления, содержание которого определяется, прежде всего, целью, ради достижения которой оно осуществляется. Сущность управления близка его содержанию и характеризуется целенаправленностью, присущей любам видам систем и процессов управления. Управление реализуемся в системах различной природы, в специфических условиях, что создает сложности в процессе их исследования. Методологической базой исследования систем и процессов управления является комплекс принципов, учет которых обеспечивает многообразие, актуальность и эффективность их применения. В главе 3 были рассмотрены следующие принципы, собранные в таблице 3.1.

Таблица 3.1. Принципы и законы управления

|  |  |
| --- | --- |
| Принципы и законы исследования  систем управления | Принципы и законы исследования  процессовуправления |
| Целостность  системный подход  организованность  динамичность  управляемость  оптимальность  многокритериальность  многофункциональность | необходимое разнообразие  внешнее дополнение  иерархичность управления  адаптивность управления  обязательность обратной связи  управление воздействием на главный фактор  принятие решений на основе отбора и преобразования информации |

ГЛАВА 4. ИНФОРМАЦИЯ

Рассмотрим какую-нибудь большую систему, которая с кибернетической точки зрения представляет собой машину. По определению эта система является очень сложной. Степень сложности измеряется разнообразием системы. Термин разнообразие достаточно наглядно определяет число различимых элементов в системе. Рассмотрим теперь нашу кибернетическую систему как машину для переработки информации. По существу, очень часто это именно то (даже прежде всего то), чем кибернетическая машина и является. Даже в том случае, когда в нее входит какой-либо физический механизм (например, как в экономику или мозг), совершенно очевидна роль, которую играет способность хранить, передавать и преобразовывать информацию в работе этого механизма. Такая машина для переработки информации обладает большим разнообразием, а, следовательно, характеризуется большой неопределенностью. Здесь следует напомнить, что системы очень сложного типа, как уже было указано, описываются при помощи аппарата теории вероятностей. Таким образом, с увеличением разнообразия увеличивается число возможных состояний системы и усложняется ее математическое описание.

Машина в первоначальном состоянии полна неопределенности, ее поведение хаотично. Однако, как только машина начинает работать, в ней появляется упорядоченность, которая начинает уничтожать царящую неопределенность. Эта особенность – появление информации – и позволяет нам управлять кибернетическими системами. Информация уничтожает разнообразие, а уменьшение разнообразия является одним из основных методов регулирования, и не потому, что при этом упрощается управляемая система, а потому, что поведение системы становится более предсказуемым. Наличие шума в системе ведет к увеличению разнообразия (а, следовательно, и неопределенности), не увеличивая содержащейся в ней информации.

Ст. Бир

Информация – (лат. informatio – разъяснение, изложение, осведомленность) неотъемлемый элемент любого процесса управления в экономических, технических системах, обществе, живом организме. Информация – такое же неотъемлемое свойство материи, как масса и энергия. Информация – одно из наиболее общих понятий пауки, обозначающее некоторые сведения, совокупность каких-либо данных, сообщений и т.п. Иначе, под информацией понимается сообщение устраняющее неопределенность в той области, к которой оно относится. Академик В.М. Глушков дал следующее определение: информация – это мера неоднородности распределения материи и энергии в пространстве и во времени, показатель изменений, которыми сопровождаются все протекающие в мире процессы. В общественной практике понятие информации отождествляется с содержанием какого-либо известия, которое может иметь форму устного сообщения, письма, доклада, результатов исследования, наблюдения и пр. Н. Винер писал, что в кибернетике информация понимается не только как обмен между человеком и машиной, но и как обозначение содержания, полученного из внешнего мира в процессе нашего приспособления к нему и приспособления к нему наших чувств.

Важнейшим инструментом исследования информации является теория информации, посвященная проблемам сбора, передачи, хранения, переработки и определения количественной меры информации.

Создателями теории информации явились Л. Хартли, К. Шеннон, А.А. Харкевич, С. Гольдман и др. Основы статистической теории информации сформулированы, главным образом, К. Шепноком. Но теория Шеннона оказалась применимой к довольно широкому кругу вопросов, хотя она и не претендует на адекватное отображение всего содержания информации, употребляемого в науке и в обыденной жизни в различном смысле.

Наличие различных методологических подходов к информации объясняется тем, что изучение информации находится в процессе развития. Разные точки зрения имеют свои положительные стороны и служат познанию окружающего мира в конкретной области исследования. Поскольку объектом исследования в кибернетике являются системы, конструируемые для решения определенных задач, то информацию определяют как сведения, полезные для решения задачи. Если сведения не имеют никакой пользы, то они представляют собой не информацию, а «шум». Если они отклоняют от правильного решения, то представляют собой дезинформацию. Рассмотрение информации как условия системного исследования позволяет выделить ряд ее важнейших свойств. В первую очередь, это полезность информации и наличие в ней смысла для данной системы. Важнейшим свойством информации является то, что она всегда имеет знаковое воплощение. Знак, какова бы ни была его природа, является материальным носителем информации. Приемник информации имеет способность к восприятию, преобразованию и воспроизводству знаков в определенном диапазоне, отведенном ему природой или конструкцией. Эти знаковые преобразования трактуются как переработка информации. В настоящее время используются различные технические устройства переработки информации. В этих устройствах информация преобразуется в различного рода сигналь с последующим ее восстановлением. Существенное свойство информации состоит в ее способности воплощаться в различные сигналы и восстанавливаться из них. Попытки качественного определения информации дополняются количественным определением, связанным с различными способами измерения информации.

### 

### Количественное измерены информации

Информацию можно измерить количественно, подсчитать. Для этого абстрагируются от смысла сообщения. Шеннон дал формальное определение количества информации на основе вероятностного подхода и указал критерий, позволяющий сравнивать количество информации, доставляемое разными сигналами.

Смысл заключается в том, что между сигналом и событием существует однозначная связь. Совокупность сигналов является изоморфным отображением некоторых сторон реального события. Связь сигнала с событием воспринимается как смысловое содержание сигнала или сообщения, сущность которого состоит в том, что благодаря ему получатель побуждается к выбору определенного поведения. Всякое сообщение может рассматриваться как сведения об определенном событии *х*, в момент *t*. Это событие содержит данные о том, в каком из множества возможных состояний находилась система *S* в момент времени *t*. Процесс связи предполагает наличие множества возможностей. У.Р. Эшби приводит следующий пример.

Заключенного должна навестить жена. Сторож знает, что она хочет сообщить мужу, пойман ли его сообщник. Ей не разрешено делать никаких сообщений. Но сторож подозревает, что они договорились о каком-то условном знаке. Вот она просит послать мужу чашку кофе. Как сторож может добиться, чтобы сообщение не было передано? Он будет рассуждать так: может быть, она условилась передать ему сладкий иди несладкий кофе, тогда я могу помешать, добавив в кофе сахару и сказав об этом заключенному. Может быть, она условилась послать или не послать ему ложку, тогда я помешаю, изъяв ложку и сказав ему, что передача ложек воспрещена. Она может послать ему не кофе, а чай, но все знают, что в это время выдается только кофе. Как видно, сторож интуитивно стремится пресечь всякую возможность связи. Для этого он сводит все возможности к одной – только с сахаром, только без ложки, только кофе. Если все возможности сведены к одной, связь прерывается, и посылаемый напиток лишен возможности передать информацию. Из этого примера видно, что передача и хранение информации существенно связаны с наличием некоторого множества возможностей.

Кроме того, информация, передаваемая отдельным сообщением зависит от того множества, из которого оно выбрано. Например, два солдата находятся в плену - один в стране *А,* другой в стране *В.* Им разрешили послать женам телеграммы с содержанием «Я здоров». Однако известно, что в стране *А* пленным разрешается выбирать следующие сообщения: я здоров, я слегка болен, я серьезно болен. В стране *В* разрешается сообщать только: я здоров, означающее - я жив. Обе женщины получили одинаковую фразу, но они будут понимать, что полученная ими информация не является тождественной. Из этого примера видно, что передаваемая информация не является внутренним свойством индивидуального сообщения. Она зависит от того множества, из которого выбрана.

*Сообщения* могут быть непрерывные и дискретные. Непрерывные сообщения получают бесконечно малые приращения и совокупность последовательных символов не только не конечна, но и не поддается исчислению. Обычно в практике применяются

дискретные сообщения, под которыми понимается конечная последовательность символов, взятых из некоторого набора символов, называемого алфавитом. Каждый отдельный символ называется буквой алфавита.

Конечная последовательность символов, взятых из некоторого алфавита, называется *словом.* Использование дискретных сообщений позволяет передавать данные о состоянии, выбранном из сколь угодно большого числа возможных состоянии, посредством использования немногих различных символов из алфавита. Число этих символов называется *основанием кода.* Количество различных символов, из которых составляются слова, зависит от основания кода. Общепринятая арабская цифровая система придает специальное значение числу *10.* Однако десятичная система счисления оправдывается только привычкой. В ряде европейских и азиатских стран, а также в России до начала XX века в какой-то мере использовали представление чисел в двоичной системе. Оказывается, что любое сколь угодно сложное сообщение, можно успешно передавать при помощи последовательности, построенной из двух различных символов. Во всем мире принято два символа: 0 и 7, которым соответствуют *0 —* отсутствие сигнала, *1 -* наличие сигнала. Если система может находиться в одном из *N* различных состояний, множество которых x1 ,x2*...,xN* известно получателю сообщения, то для передачи сведений о состоянии системы достаточно указать номер *i (i=1, 2 ,..., N)* состояния, в котором она находится. Этот номер представляет собой слово в алфавите, буквами которого являются цифры. Американская телефонная компания Белла воспользовалась этим и построила вычислительную машину, в основу которой положено двоичное счисление. Вместо того; чтобы записывать число в виде суммы стольких-то единиц, стольких-то десятков, стольких-то сотен, с таким же правом можно представлять целое число в виде суммы единиц, двоек, четверок, восьмерок и т.д.

При этом всякое число *i* может быть записано в таком виде:



где каждое *а* может принимать только два значения: *0* или *1.* Эта запись означает:. Если число в десятичной записи составляет *i=35,* то в двоичной записи оно имеет следующий вид: *i=100011.* Если это число записать снова в десятичной системе счисления, то получим:



*35 =1\*32 +0\*16 +0\*8 +0\*4 +1\*2+1.*

Запись чисел от 1 до 15 в двоичной системе счисления имеет следующий вид: 1, *10, 11, 100, 101, 110, 111, 1000, 1001, 1010, 1011, 1100, 1101, 1110, 1111,* а число 27 передается последовательностью символов *11011.* Из приведенных примеров видно, что сообщение о любом событии может быть записано в виде слова в двухбуквенном алфавите. Различных двоичных последовательностей длины *m* имеется 2m, так как каждый символ может принимать два значения независимо от других. С помощью двоичной последовательности длины *m* можно передать сообщение о событии, выбранном из *N* возможных событий, где *N=2m,* или иначе:

*m = log2 N .*

Если передавать то же сообщение не двоичным кодом, а десятичным, то потребовалась бы последовательность длины =log10 *N .* При этом m'~m*.* Из этого видно, что *m* отличается от m' постоянным множителем, независящим от *N.* Выбор коэффициента пропорциональности сводится к выбору основания логарифмов и одновременно означает выбор единицы количества информации. Обычно берутся логарифмы по основанию 2. В этом случае за единицу принимается количество информации, которое заключается в одном двоичном разряде, т.е. выборе одного из двух возможных сообщений. Такая единица информации называется битом. Слово “bit” является сокращенным от английского слова “binary digit”, что означает Двоичный разряд. Двоичную единицу, или бит можно представить себе как неизвестный заранее ответ «да» или «нет» на вопрос, ответ на который мы никак не можем предсказать и поэтому вынуждены считать оба ответа равновероятными. Поэтому в немецкой литературе эту двоичную единицу называют «да - нет» (ja Nein-Emheit). Если событие имеет два равновероятных исхода, то это означает, что вероятность каждого исхода равна 1/2. Сообщение о том, что родился мальчик или девочка несет информацию равную 1- *(*0.5 мальчик + 0.5 девочка). Кроме представления чисел с помощью двоичных индикаторов (устройство, которое в любой момент времени может быть только в одном из двух возможных состояний: *1* либо *0),* каждую десятичную цифру можно представить с помощью четырех двоичных цифр, которое называется двоично-кодированным десятичным представлением. Такое представление требует не меньше битов, чем обычное двоичное.



Минимальная единица информации, которую обрабатывают ЭВМ, называется байтом. Эта единица заключает в себе один символ. Символы существуют трех типов: цифры - 0, 1, 2, ... , 9, буквы *Аа, ВЬ, ..., Zz.* Специальные символы -,\*,=, +; пробелы и др. Всего имеем 256 различных символов. Символ представляется двумя десятичными цифрами, которые в современных ЭВМ помещаются в один байт. Байт состоит из девяти битов. Восемь битов для представления информации и один бит - для проверки на четность. Восемь битов могут представлять восемь двоичных цифр или две десятичные цифры в двоично-кодированном десятичном представлении, например, число *31* представляется как *00110001,* где *0011* представляет цифру *3,* а *0001 -* цифру 1. Бит проверки на четность добавляется к каждому байту таким образом, чтобы полное число составляющих его единиц было всегда нечетным. Нечетность служит проверкой на точность. Когда байт пересылается внутри ЭВМ, производится проверка, представляет ли он правильный код. Если он окажется четным числом единиц, то машинный контроль сообщает об ошибке. В теоретических исследованиях при определении количества информации удобно пользоваться не двоичными, а натуральными логарифмами. Соответствующая единица информации называется натуральной единицей, сокращенно «Нит» или «Нат». Если при определении количества информации пользуются десятичными логарифмами, единичную информацию получают, выделив сообщение из 10 равновероятных сообщений. Соответствующая единица информации называется децитом (decimal — digit — десятичный символ).

Количество информации в расчете на единицу времени называется скоростью передачи информации и исчисляется, например, в бит/сек.

Каким бы ни было основание кода, длина последовательности, необходимой для передачи некоторого сообщения, пропорциональна логарифму числа возможных сообщении. Если статистические связи между символами отсутствуют, то максимальное количество информации (Hmax) которое содержится в сообщении, пропорционально длине:



Эта мера максимального количества информации, которое может содержать в сообщении, предложена к 1928 г. американским ученым Л. Хартли. Мера максимального количества информации облачает двумя важнейшими свойствами: она монотонно возрастает с возрастанием *N* и является аддитивной. *Свойство аддитивности* означает следующее: сообщение *а* выбирается из *N1* возможных сообщений, независимое от *а* сообщение *b* выбирается из *N2* возможных сообщений. Информация, которая содержится в сложном сообщении, состоящем из сообщения *а* и сообщения *b,* зависит от числа возможных сложных сообщений, их *N* = *N1 \*N2.* Отсюда:



Очевидно, что в сложном сообщении содержится сумма информации, которую несут отдельные сообщения, что согласуется с интуитивными представлениями.

Величина *Nmax* указывает верхнюю границу количества информации, которое может содержаться в сообщении. Однако действительное количество информации зависит не только от числа возможных сообщений, но и от их вероятностей. Заслуга К. Шеннона состоит в том, что он указал на существование неопределенности относительно того, какое именно конкретное сообщение из множества сообщений отправителя будет выбрано для передачи. Это связывает информацию с теорией вероятностей. Оценка количества информации основывается на законах теории вероятностей. Сообщение имеет ценность, оно несет информацию только тогда, когда мы узнаем из него об исходе события, имеющего случайный характер, когда оно в какой-то мере неожиданно. При этом ценность информации в основном определяется степенью неожиданности сообщения.

Оказалось, что состояние неопределенности выбора обладает измеримой количественной оценкой, называемой *энтропией источника сообщений (Н).* Вероятность можно описать как частоту появления «Ио данного исхода в длинной серии однотипных испытаний.

### Неопределенность

Понятия возможности, случайности, вероятности находятся в определенном отношении с понятием неопределенности. *Неопределенность* существует объективно. Она всегда имеет место тогда, когда производится выбор из некоторой совокупности элементов одного элемента. *Степень неопределенности* выбора характеризуется отношением числа выбранных элементов к общему числу элементов совокупности (множества). Если множество состоит из одного элемента, то степень неопределенности равна нулю. Вероятность выбора в этом случае равна 1. Множество из двух элементов имеет вероятность выбора, равную p=1/2. Степень неопределенности здесь будет равна 2. Вообще увеличение числа элементов в множестве ведет к росту степени неопределенности и к уменьшению вероятности выбора одного элемента. Бесконечное число элементов в множестве соответствует бесконечной неопределенности и нулевой вероятности. Из этого видно, что степень неопределенности и степень вероятности связаны друг с другом. Зная вероятность, можно определить степень неопределенности. Если мы должны угадать одно из *20* чисел, то, исходя из соображений равно возможности, вероятность угадать задуманное число будет составлять 1/20, а степень неопределенности равна *20.* Однако при этом простой зависимости *Н* =1/p не получается (здесь *Н -* степень неопределенности и *р -* вероятность выбора элемента). При p = 0 степень неопределенности равна бесконечности:



Если же *р = 1,* то *Н =1/1=1,* что является неверным, так как при *р=1* степень неопределенности должна быть равна *0,* ибо в множестве один элемент выбирать не из чего. В связи с этим зависимость между неопределенностью *Н* и вероятностью *р* измеряется логарифмом величины 1/p:

(4.1)



При этом можно брать логарифмы по любому основанию, но принято брать логарифмы по основанию два.

Изучением степени неопределенности и связи ее с вероятностью занимается статистическая теория информации. Формула H= log21/p является логарифмической мерой количества информации. В теории информации рассматриваются любые события, в результате которых уменьшается, уничтожается, исчезает неопределенность.

Для оценки количества информации, связанной с появлением одного сообщения, пользуются формулой:

(4.2)



где pi - вероятность появления события *Si.*

Такую оценку индивидуального количества информации называют индивидуальной энтропией. Индивидуальная энтропия события тем больше, чем меньше вероятность его появления. Однако статистическую теорию информации не интересует индивидуальное количество информации. Существенной для характеристики любого опыта являются не информации n1, n2 ..., nN, связанные с отдельными исходами опыта, а средняя информация, которая определяется следующим образом.

Пусть для некоторого события *х* известно, что количество различных исходов равно *N,* а вероятности их равны соответственно p1, p2, …,pN, причем p1+p2+…+pN=1.

В результате достаточно большого числа испытаний (их число равно *М)* получено, что первый исход наступил m1 раз, второй – m2раз,..., N-й - mN раз (m1+m2+…+mN=M)*.* Известно, что в результате единичного наступления *i*-го исхода опыта получаем индивидуальное количество информации:



Поскольку первый исход наступил *т,* раз, то полученное при этом суммарное количество информации равно n1m1, где n1 *-* индивидуальное количество информации, полученное в результате одного наступления первого исхода опыта. Аналогично получаем суммарное количество информации, полученное при наступлении второго исхода опыта и т.д. Общее количество информации, полученное в результате *M* испытаний, равно

n1m1+n2m2+…+nNmN

а среднее количество информации, полученное в одном испытании*,* равно



При



Отсюда получаем среднее количество информации, характеризующее событие x:



Предположим, что опыт состоит в извлечении одного шара из ящика, в котором находится один черный и два белых шара. Исходя из классического подхода, вероятность выбора черного шара равна 1/3, а вероятность выбора белого шара равна 2/3. Среднее значение неопределенности получается, если вероятность отдельного исхода умножается на его неопределенность, и эти произведения складываются:



В общем виде формула степени неопределенности (количества информации в битах) имеет следующий вид:

(4.3)



Эта формула предложена в 1948 г. К. Шенноном. Ее называют еще формулой абсолютной негэнтропии. Она аналогична формуле энтропии, только имеет отрицательный знак.

Знак минус в правой части приведенного уравнения использован для того, чтобы сделать величину *Н* положительной (поскольку ). Понятие энтропии ввел немецкий физик-теоретик Р. Клаузиус в 1865 г. Термин происходит от греческого слова - entrope - «замкнуть внутри». Он обозначает меру деградации какой-либо системы. В 1872 г. австрийский физик Л. Больцман связал энтропию с вероятностью состояния. Изменения энергии в изолированной системе описываются вторым законом термодинамики, который был сформулирован следующим образом: теплота не может сама собою перейти от более холодного тела к более теплому. Cyть этого закона состоит в том, что способность изолированных систем совершать работу уменьшается, так как происходит рассеивание энергии. Формула энтропии определяет степень беспорядка, хаотичности молекул газа в сосуде. Естественным поведением любой системы является увеличение энтропии. Если энтропия имеет тенденцию к возрастанию, то система теряет информацию и деградирует. Чтобы система не деградировала, необходимо внести в нес дополнительную информацию (негэнтропию). Отсюда энтропия есть мера дезорганизацию а информация есть мера организованности. Всякий раз, когда в результате наблюдения система получает какую-либо информацию, энтропия этой системы уменьшается, а энтропия источника информации увеличивается.



По приведенной формуле определяется среднее количество информация в сообщениях при неравновероятных исходах опыта. Легко заметить, что при равновероятности исходов формула



превращается в формулы:

и



поскольку сумма всех *p* всегда равна 1 и каждое *pi = р.*

Запишем формулу Шеннона в виде:



Пусть все исходы равновероятны, тогда:



подставив эти значения в формулу, получим:



Из формулы степени неопределенности видно, что среднее количество информации в битах в дискретном сообщении о простом событии определяется как отрицательная сумма вероятностей всех возможных событий, умноженных на их логарифмы по основанию 2. Количество информации выше среднего приходится на события, вероятность которых ниже. Более высокую информационную емкость имеют редкие события. Формулой подтверждается также более низкая неопределенность систем с более высокой вероятностью событий. Поскольку вероятность одних событий повышается за счет снижения

вероятности других (так как сумма всех вероятностей равна 1), энтропия становится тем ниже, чем менее вероятны события, а максимума она достигает при равновероятности всех событий.

Покажем что Hmax, получаемое при равновероятных исходах события, является верхней границей значений *H*. Для этого найдем максимальное значение функции



используя множитель Лагранжа



Найти max



Приравняем нулю частные производные функции по *pi.*



Отсюда и легко видеть, что все , следовательно,



H = Hmax. Если же событие является достоверным (при этом *pi =1*а остальные *pi=0*, ), то



H = -0\*log0 - 0\*log0 +…-1\*log1+…-0\*log0.

Легко показать, что выражение 0\*log0 = 0\*()=0.Раскроем неопределенность, используя правило Лопиталя:



Тогда получим *Н=0* для достоверного события.

Следовательно, среднее количество информации находится в пределах



Теперь можно сформулировать определение условной вероятности. Если случайная величина *х* принимает значения *x1,x2,* ..., *хN,* а случайная величина *y* принимает значения *y1, y2, ..., уM,* то условной вероятностью называется вероятность того, что *х* примет значение *хi,* если известно, что *у* приняло значение *yi*.

Безусловная вероятность *p(xi)* равна условной вероятности, усредненной по всем возможным значeниям *y*:

(4.4)



где *p(yj) -* вероятность j-го значения величины *y*, величина *р(уj) p(xi/yj) -* есть вероятность того, что *у* примет значение *y*j, а *х -* значение *хi,.* Она называется совместной вероятностью события *(xi ,yj)* и обозначается *p(xi,yj)*.

Очевидно, если события *х* и *у* независимы, то

(4.5)



Неопределенность события *х* определяется по формуле:

(4.6)



Если события *х* и *у* зависимы, и событие *у* приняло значение *yj*, то неопределенность события *х* становится равной:

(4.7)



Так как событие *у* может принимать значение *y1, у2,..., уM* с вероятностями *p(y1), р(у2),…, р(yM),* средняя неопределенность события *х* при любых возможных исходах события *у* равна:

#### (4.8)



#### Это условная негэнтропия случайной величины х при задании случайной величины у. Она всегда не больше безусловной

*,*



причем равенство имеет место только в том случае, когда знание величины у не меняет вероятностей значений величины *х,* т.е.

,



каким бы ни было значение *yj.* Это условие означает, что неопределенность события *х* не возрастает от того, что событие *у* становится известно.

Для двух случайных событий *х* и *у* энтропия совместного события равна:



В полученном выражении



а второе слагаемое есть не что иное, как

H(x/y).

Следовательно*,*

(4.9)



Равенство достигается тогда, когда события *х* и *у* независимы В качестве меры количества информации в случайной величине *у* о случайной величине *х* принимается величина, на которую уменьшается в среднем неопределенность величины *х*, если нам становится известным значение величины *у:*



Эта формула выражает количество информации в случайной величине *у* о случайной величине *х,* как разность между безусловной и условной негэнтропией.

По формуле условной негэнтропии строится вся современная статистическая теория информации. Переход от абсолютной негэнтропии к условной приобретает фундаментальное решающее значение. Формула условной негэнтропии выражает количество информации относительно заданной системы отсчета, системы координат. Иначе говоря, она характеризует количество информации, содержащееся в одном объекте относительно другого объекта.

Классическая теория информации дает полезный аппарат, но он не универсален и множество ситуаций не укладываются в информационную модель Шеннона. Далеко не всегда можно заранее установить перечень возможных состояний системы и вычислить их вероятности. Кроме того, основным недостатком этой теории является то, что, занимаясь только формальной стороной сообщений, она оставляет в стороне их ценность и важность. Например, система радиолокационных станций ведет наблюдение за воздушным пространством с целью обнаружения самолета противника. Система *S,* за которой ведется наблюдение, может быть в одном из двух состояний: *x1 -* пpoтивник есть, *х2 -* противника нет. Выяснение фактического состояния системы принесло бы в рамках классической теории информации 1 бит, однако первое сообщение гораздо важнее, что оценить невозможно с помощью вероятностного подхода.

Статистическая теория информации оперирует лишь вероятностями исходов рассматриваемых опытов и полностью игнорирует содержание этих исходов. Поэтому эта теория не может быть признана пригодной во всех случаях. Понятие информации в ней трактуется весьма односторонне.

Следовательно, уничтожение неопределенности, т.е. получение информации, может происходить не только в результате вероятностного процесса, но и в других формах. Понятие неопределенности оказывается шире понятия вероятности. Неопределенность - понятие, отражающее отсутствие однозначности выбора элементов множества. Если этот выбор имеет случайный характер, то мы имеем дело со статистической теорией информации. Если же этот выбор не случаен, то необходим *невероятностный подход* к определению информации. Существуют следующие невероятностные подходы к определению информации: динамический, топологический, алгоритмический. Мы не будем рассматривать эти невероятностные подходы к определению количества информации, отметим только, что каждый из этих методов обнаруживает нечто общее со статистическим подходом. Оно состоит в том, что эти методы изучают переход от неопределенности к определенности. Но все же эти методы отличаются от статистического подхода. Один из невероятностных подходов к определению количества информации принадлежит советскому ученому А.Н. Колмогорову. По аналогии с вероятностным определением количества информации как функции связи двух систем, он вводит определение алгоритмического количества информации.

Количество информации, содержащееся в сообщении, можно связывать не только с мерой неопределенности системы, но и с ее структурной сложностью и точностью измерений. Такой подход предлагается к оценке научной информации, возникающей в результате анализа процесса наблюдений и эксперимента.

Количество различных признаков, характеризующих данный предмет, т.е. его размерность или число степеней свободы, является мерой структурной информации. Ясно, что цветное изображение содержит в себе больше информации по сравнению с черно-белым изображением того же объекта. Единица структурной информации - логон - означает, что к имеющемуся представлению можно добавить одну новую различимую группу или категорию.

Количество метрической информации связано с разрешающей способностью измерений. Например, эксперимент, результат которого обладает погрешностью, равной 1%, дает больше информации, чем эксперимент, характеризующийся погрешностью в 10%.

Единицей измерения метрической информации является метрон. В случае числового параметра эта единица служит мерой точности, с которой этот параметр определен.

Статистический и нестатистический подходы в теории информации касаются только количества информации, но информация имеет еще и качественный аспект. Объединение элементов в множество всегда предполагает наличие у них некоторого свойства, признака, благодаря чему они образуют данное множество, а не иное. Следовательно, каждый элемент множества обладает определенным качественным отличием от элемента другого множества. Кроме того, внутри множества различие элементов друг от друга носит тоже качественный характер. Поиск качественного аспекта информации как раз и состоит в учете природы элементов, объединяемых в множества, в учете качественного многообразия материи.

До сих пор информация рассматривалась как снятая, устраняемая неопределенность. Именно то, что устраняет, уменьшает любую неопределенность и есть информация. Однако информацию можно рассматривать не только как снятую неопределенность, а несколько тире. Например, в биологии информация - это прежде всего совокупность реальных сигналов, отображающих качественное или количественное различие между какими-либо явлениями, предметами, процессами, структурами, свойствами. Такой более широкий подход к определению понятия информации сделал У. Росс Эшби. Он считает, что понятие информации неотделимо от понятия разнообразия. Природа информации заключается в разнообразии, а количество информации выражает количество разнообразия. Одно и то же сообщение при разных обстоятельствах может содержать различное количество информации. Это зависит от разнообразия, которое наблюдается в системе.

Слово «разнообразие» означает число различных элементов в множестве. Так, например, множество *с, b, с, а, с, с, а, b, с, b, b, а,* если не принимать во внимание порядок расположения элементов, содержит 12 элементов, и только три из них различные: *а, b, с.* Такое множество имеет разнообразие в три элемента.

Множество с разнообразием и множество с вероятностями имеют эквивалентные свойства. Так, множество, у которого все элементы различны, имеет максимальное количество разнообразия. Чем больше в системе разнообразия, тем больше неопределенность в поведении такой системы. Уменьшение разнообразия уменьшает неопределенность системы. Вероятность выбрать наугад данный элемент из множества с максимальным разнообразием равна единице, деленной на количество всех элементов множества . Нетрудно видеть, что это аналогично статистической совокупности с равномерным распределением вероятностей. Количество информации в этом случае имеет максимальное значение. Множество, у которого все элементы одинаковы, содержит минимальное количество разнообразия - всего в один элемент. Аналогией такого множества является статистическая совокупность с таким распределением вероятностей, когда одна из них равна единице, а остальные нулю. Количество информации в такой совокупности равно нулю. В множестве информация появляется только тогда, когда один элемент отличается от другого. Подобно вероятности разнообразие может измеряться как число различных элементов и как логарифм этого числа, например, по основанию два. Между минимальным и максимальным количеством разнообразия в множестве существует ряд промежуточных состояний, которые появляются в результате ограничения разнообразия. Понятие ограничения разнообразия является очень важным. Оно представляет собой отношение между двумя множествами. Это отношение возникает, когда разнообразие, существующее при одних условиях, меньше, чем разнообразие, существующее при других условиях.



Ограничения разнообразия весьма обычны в окружающем нас мире. Любой закон природы подразумевает наличие некоторого инварианта, поэтому всякий закон природы есть ограничение разнообразия.

Окружающий мир чрезвычайно богат ограничениями разнообразия. Без ограничений разнообразия мир был бы полностью хаотичным. Ограничение разнообразия соответствует уменьшению количества информации, поэтому ограничение разнообразия равносильно установившемуся в статистической теории понятию избыточности. Избыточность тем больше, чем больше ограничение разнообразия. Если же элементы в множестве одинаковы, то избыточность равна единице. Если в ящике все шары оказываются одинакового цвета то их избыточность по цвету равна единице, если же все шары будут разного цвета, то избыточность равна нулю. Наличие у информации *качества* вызывает необходимость в классификации видов информации. Различают *элементарную информацию,* т.е. информацию в неживой природе, биологическую, логическую, человеческую, или социальную. Для социальной информации характерно выделение двух аспектов: *семантического,* связанного с содержанием сообщений, и пр*агматического,* связанного с полезностью их для получателя.

### 

### Семиотика

Развитие качественной стороны в исследованиях информации теснее всего связано с семиотикой - теорией знаковых систем. Се*миотика* исследует знаки как особый вид носителей информации.

Отношение между знаками, обозначаемыми предметами и их отображением в форме понятий и моделей, изучаются другим аспектом семиотики - *семантикой.* Этими отношениями определяется содержание информации, передаваемой посредством знаков.

В настоящее время еще не разработаны методы точного количественного определения смыслового содержания информации. Наиболее известными подходами к построению теории семантической информации являются теория Карнапа и Бар-Хиллела, основанная на понятии логической вероятности, и теория советского ученого Ю.А. Шрейдера, имеющая невероятностный характер.

Отношения между знаками и их потребителями, с точки зрения использования получаемой информации и влияния знаков на поведение системы, изучается другим разделом семиотики - прагматической теорией информации. Предметом ее исследования является определение ценности информации для потребителя. *Ценность uнфоpмации —* есть отношение субъекта, информации и цели, где информация выступает как объективный фактор или носитель ценности. Ценность информации является важной характеристикой для кибернетических систем, так как она связана с их функционированием. Ценностный критерий информации является пригодным, когда сравниваются системы, выполняющие одну и ту же функцию, но имеющие внутреннее разнообразие. Каждое сообщение важно оценивать не с точки зрения познавательных характеристик, а с точки зрения полезности для выполнения функций управления. Исходя из этих соображений, А.А. Харкевич предложил определять меру ценности информации *Ic* как изменение вероятности достижения цели при получении этой информации:



где *р0 -* вероятность достижения цели до получения информация;

*p1 -* вероятность достижения цели после получения информации.

Другой подход к проблеме ценности информации осуществлен М.М. Бонгардом. Он вводит понятие «полезная информация», связывая сообщение с тем, какую задачу решает получатель, что он знает до прихода сообщения и как он сто истолковывает. Этот подход имеет вероятностно-алгебраическую сущность и носит более общий характер, чем мера ценности информации, предложенная А.А. Харкевичем.

Между элементами любой системы и между различными системами существуют информационные связи. Чтобы иметь представление о состоянии системы, необходимо каким-то способом оценивать значение ее координат. При этом оказывается, что ни один способ наблюдения не может доставить абсолютно точных сведений о значениях координат системы. Это объясняется тем, что любому измерению свойственна определенная конечная разрешающая способность.

В общем виде, если состояние системы представляется вектором, составляющие которого *х1, х2* ,....*xn* , могут независимо друг от друга

принимать *r1, r2 ,…,rn* значений соответственно, то число всевозможных наборов этих значений, входящих в множество состояний системы, будет равно *N=r1 \*r2 \*…rn* *.*

Состояние системы в определенный момент времени называется событием. *Событием* называется каждая фиксируемая наблюдением количественная или качественная определенность динамической системы или ее состояния. Различают простые и сложные события, *(х, t)* представляет собой множество возможных событий для каждого момента времени.

Каждому состоянию системы, событию, можно ставить в соответствие определенное значение какой-либо физической величины. При помощи этой величины можно осуществлять передачу сведений от одного объекта к другому. Физический процесс, представляющий собой материальное воплощение сообщения о событиях, называется сигналом. *Сигнал* как физический носитель информации возникает только на основе изменения состояния системы, т.е. возникшего события; он имеет самостоятельную физическую сущность и существует независимо от содержания происшедшего события, и всегда связан с каким-либо материальным объектом или материальным процессом. Сигнал может существовать длительное время, иметь непрерывную или дискретную характеристику и быть статическим или динамическим. Посредством сигналов осуществляются информационные связан циркулирующие в кибернетических системах. Сигналы можно передавать на расстояние, поддерживая связь между разобщенными в пространстве объектами. Сигналы можно запоминать и передавать их во времени. Это позволяет связывать между собой объекты, разделенные во времени.

Система или среда, в которой осуществляется передача сигнала, называется *каналом связи,* информационным каналом или каналом передачи сообщений. В общем виде абстрактную схему системы связи можно изобразить следующим образом.

Эта схема функционирует следующим образом: источник информации (отправитель) обладает некоторым множеством различны» и разнозначных для получателя сведений, совокупность которых называется сообщением. Передача сообщения означает выбор определенного символа или определенных символов из множества возможных символов или алфавита отправителя и преобразование этих сим волов с помощью передатчика в передаваемые сигналы.

Элементами алфавита могут быть дискретные символы — буквы, цифры, азбука Морзе, либо непрерывные символы - высота тона, амплитуда колебания. Передающие сигналы по коммуникационной цепи перемещаются с шумом, вызывающим искажение сообщений. На стороне приемника имеется алфавит физических символов, из которых на основе полученных физических сигналов восстанавливается полученное сообщение. Полученные сигналы могут быть искажены аддитивными помехами, т.е. шумом. Получаемая информация всегда относительна, так как она зависит от различия между неуверенностью принимающего перед приемом и после приема.

Сигналы, в которых содержится информация, могут быть представлены в дискретной и в непрерывной форме. Дискретные сигналы могут принимать лишь определенное конечное количество значений. Непрерывный сигнал может принимать бесчисленное множество значений, которые могут отличаться один от другого сколь угодно малыми приращениями.

Каждому состоянию системы *х* соответствует определенное сообщение *xc.* Множеству возможных событий соответствует множество сообщений, передаваемых при помощи сигналов. Формирование сообщения следует рассматривать как преобразование системы в *xc -* одно из множества возможных состоянийЭто преобразование происходит посредством некоторого оператораР:



Оператор *Р* преобразования какого-либо операнда в его образ сообщения называется *кодом.* Это комплекс правил, согласно которым информации придается определенный сигнал. Сама операция преобразования посредством кода называется кодированием. В узком смысле слова под *кодированием* понимают присвоение кодового обозначения объекту или всякую операцию сопоставления множества сообщений одного источника множеству сообщений другого источника, согласно определенной системе правил.

В качестве операнда может рассматриваться не только состояние системы *x* или событие *(х, t),* но и сообщение . В этом случае имеет место *перекодирование.* Операция перекодирования часто бывает необходима в случаях секретности. При этом сообщение, закодированное одним способом, преобразуется в сообщение *,* закодированное другим способом. В коммуникационной цепи возможно многократное перекодирование. Такое преобразование сообщений можно представить как последовательное воздействие на состояние системы *х* операторов *P1, Р2, ..., Pi* по схеме:



Экономичность передачи сообщения зависит от правильности его кодирования, т.е. от рациональной системы кодирования. Кодирование сигнала по существу означает сравнение символов одного алфавита с символами другого алфавита. При этом код представляет собой комплекс правил сравнения символов. Поскольку при кодировании сравниваются символы двух алфавитов, то при этом может изменится количество символов и их вероятностное распределение. В силу этого изменяется и энтропия сообщения. Задача заключается в том, чтобы найти наиболее экономичный для данной передачи код. Наиболее экономичным является код, который требует минимального числа символов и минимального времени на передачу. Хороший код должен сохранить все нужное в сообщении и исключить ненужное.

Большинство кодов имеют избыточность. Это значит, что при передаче сообщений умышленно не используются все возможности кода.

Избыточность - это свойство языков, кодов и знаковых систем состоящее в том, что сообщение содержит больше сигналов, чем фактически требуется для передачи информации: это свойство улучшает связь в условиях помех. Простейшей формой избыточности является дублирование.

Наличие избыточности в сигнале равносильно его удлинению. Однако считать избыточность исключительно отрицательным явлением нельзя, т.к. чем больше избыточность сообщения, тем меньше оно подвержено искажению за счет действия помех. Нахождение оптимальной избыточности кода при данном уровне помех - одна из главных задач теории информации.

Одной из основных проблем при передаче информации по каналу связи с ограниченной пропускной способностью является максимальное увеличение фактической скорости передачи сообщений, которая зависит не только от параметров технических устройств, но и от принятой системы кодирования. Выбором эффективного способа кодирования и декодирования для каждого конкретного канала связи можно добиться наилучшего использования его пропускной способности.

Наибольшее распространение получили двоичные коды, обладающие существенным преимуществом. Наличие всего двух символов позволяет просто и надежно представлять числа в виде импульсов тока или напряжения. Большинство цифровых вычислительных систем предназначается для обработки дискретной информации, закодированной в двоичной системе счисления. Коды, в которых сообщения представлены комбинациями с неравным количеством символов, называются неравномерными или некомплектными. Коды, в которых сообщения представлены комбинациями с равным количеством символов, называются равномерными, или комплектными,

Очевидно, что при использовании равномерного кода в отличие от неравномерного не требуется специального знака, отделяющего одну букву от другой. Для однозначного декодирования принятых сообщений, а также для передачи больших объемов информации при меньших временных и материальных затратах коды должны удовлетворять следующим требованиям:

разные символы передаваемого сообщения должны иметь различные коды;

код должен быть построен так, чтобы можно было четко отделить начало и конец букв алфавита, из которого составлено сообщение;

код должен быть максимально кратким - чем меньшее число элементарных символов требуется для передачи данного сообщения, тем ближе скорость передачи информации к пропускной способности данного канала.

Первое требование очевидно, так как при одинаковых кодовых обозначениях различных букв сообщения нельзя будет однозначно декодировать.

Второе требование может быть удовлетворено следующим образом: введением в код дополнительно разделительного символа-паузы, что значительно удлиняет время передачи сообщения; созданием кода, в котором конец одной буквы не может быть началом другой; либо применением равномерного кода. В этом отношении равномерные коды обладают преимуществом, вместе с тем они имеют существенный недостаток — независимо от вероятности появления отдельных букв сообщения они закодированы последовательностями символов одинаковой длины. Такой код может быть оптимальным с точки зрения затрат времени на передачу только в случае, если все буквы сообщения равновероятны и независимы.

Третье, основное требование к кодам обеспечивает наибольшую скорость передачи информации по каналу связи посредством возможного сокращения кодов. Длину последовательности символов, кодирующих каждое сообщение, назовем длиной кодового слова. Основные свойства оптимальных кодов:

1. Минимальная средняя длина кодового слова оптимального кода обеспечивается в том случае, когда избыточность каждого слова сведена к минимуму (в предельном случае - к нулю).

2. Алфавит оптимального кода должен строиться из равновероятных и независимых символов.

Из свойств оптимальных кодов вытекают принципы оптимального кодирования: выбор очередного символа в кодовом слове необходимо производить так, чтобы содержащееся в нем количество информации было максимальным, и сообщениям, имеющим большую вероятность появления, необходимо присваивать более короткие кодовые слова.

Эти принципы определяют метод построения оптимальных кодов, предложенный независимо друг от друга Р. Фано и К. Шенноном. Поэтому соответствующий код называется кодом Шеннона-Фано.

Построение оптимального двоичного кода сводится к следующей процедуре:

1. Множество из *N* сообщений располагают в порядке убывания вероятностей.

2. Множество сообщений разбивают на две группы так, чтобы суммарные вероятности сообщений обеих групп были по возможности равны.

3. Первой группе присваивают символ 0, второй группе - символ 1.

4. Каждую из групп делят на 2 подгруппы так, чтобы их суммарные вероятности были по возможности равны.

5. Первым подгруппам каждой из групп вновь присваивают 0, а вторым - 7, в результате чего получаются вторые цифры кода. Затем каждую из четырех подгрупп вновь делят на равные (по суммарной вероятности) части и т.д. до тех пор, пока в каждой из подгрупп останется по одной букве. Очевидно, что для равновероятностных сообщений оптимальный код будет равномерным, т.е. длина кодового слова постоянна.

Вопрос об отыскании практически удобных методов кодирования для различных каналов связи с помехами составляет содержание теории кодирования, являющейся самостоятельным разделом теории информации.

**Экономическая информация**

Так же, как и информация вообще, экономическая информация может быть понята, проанализирована и рационально сконструирована только при изучении экономических систем, процессов управления в них и конкретных задач, решаемых в системах управления. С этой точки зрения под экономической информацией следует понимать:

сведения, знания наблюдателя об экономическом объекте;

наличие связи между элементами экономической системы, т.е. именно то, что определяет ее цельность как системы (внутренняя информация системы);

нематериальные составные части системы — знания, навыки, методы, т.е. информационные подсистемы экономической системы;

сообщения, которые циркулируют в экономической системе, и которыми она обменивается с внешней средой или другими экономическими системами. Они отражают те реальные связи, которые существуют между различными экономическими объектами, отображаемыми в виде систем;

некоторые общепризнанные знания, сведения, правила и обычаи, вторыми руководствуются люди и коллективы в своей производственно-экономической деятельности. Они существуют в виде нормативных, правовых актов, показателей планирования и являются формами проявления регулирующей и целенаправляющей информации в экономических системах.

Экономические сообщения и хранимые сведения обладают широко разветвленными и глубокими взаимосвязями и объективными зависимостями, которые трудно установить в результате запутанности сетей коммуникаций и несистематичности массивов хранимых сведений.

В потоке экономической информации нельзя выделить один главный фактор. Такие факторы, как полезность сообщения, его смысл, способ знакового отображения, словарь, алфавит, код имеют равное значение, или же их значение изменяется в зависимости от этапа решения задачи.

Экономическую информацию классифицируют по различным признакам с точки зрения класса задач экономического управления.

Экономическую информацию классифицируют на первичную и вторичную, производную. Для каждой экономической системы имеются свои границы между первичной и вторичной информацией. В каждом случае первичной информацией будет поступившая в систему из внешней среды и возникающая в системе, а вторичной — переработанная внутри системы. Первичная экономическая информация в народном хозяйстве имеет единый источник процессы материального производства, распределения и потребления, рассматриваемые на уровне непосредственных технологических операций.

По признакам отображаемых объектов экономическая информация может классифицироваться:

по фазам воспроизводства: информация о производстве, распределении, обмене, потреблении;

по факторам воспроизводства: информация о природных ресурсах, средствах производства (основных и оборотных фондах), населении и трудовых ресурсах, продукции и услугах;

по отраслям экономики: информация о промышленности, сельском хозяйстве, строительстве, торговле и т.д.

По назначению в процессе управления экономическая информация делится на управляющую и осведомляющую. Назначение управляющей информации - довести до исполнителей подлежащие выполнению решения - либо в форме прямых распоряжений, либо в форме экономических и моральных стимулов, влияющих на поведение объектов управления. Назначение осведомляющей информации - реализация обратной связи в системе управления.

По характеру использования экономическую информацию можно разделить на две категории: информацию непосредственного управления и информацию развития системы. К первой категории следует отнести информацию, циркулирующую в системе и используемую в решении поставленных задач. Информация развития системы — это сведения, которые могут быть использованы для коренных преобразований системы: изменения и корректировки целей, постановки новых задач, выработки новых методов и перестройки старых, внедрения новых устройств переработки информации.

В зависимости от выполняемых в управлении функций экономическую информацию подразделяют на учетно-отчетную, плановую, нормативную, аналитико-прогнозирующую.

Учетно-отчетная информация отражается в виде натуральных и стоимостных показателей. Ее источником являются бухгалтерские, статистические и оперативные данные, которые отражают апостериорные явления.

Плановая информация используется при перспективном, текущем, годовом и оперативном планировании и в условиях планомерного осуществления процесса производства играет существенную роль.

Показатели плановой информации характеризуются большим количеством взаимосвязанных факторов, их получение связано с выполнением значительного количества логических и арифметических операций. Существенное значение для планирования имеет нормативная информация, источником которой являются данные о нормативах затрат ресурсов на производство продукции.

Аналитико-прогнозирующая информация является основой для принятия оперативных и стратегических решений по управлению объектом. Ее подготовка требует использования плановой и учетной информации и связана с применением аналитических методов.

В системе управления каждый из перечисленных видов информации выполняет различную роль. Плановая информация осуществляет по отношению к объекту прямую связь, учетно-отчетная и аналитико-прогнозирующая - обратную.

В процессе общественного производства информационный и производственный процессы едины и неразрывны - операции обработки информации предшествуют каждой технологической операции и завершают ее. Уже на уровне оперативного учета предприятия циркулирует переработанная информация, в многократно переработанном виде она поступает в средние и высшие органы управления. Там эта учетно-отчетная информация путем совместной переработки с плановой, научно-технической и другой информацией преобразуется в командную информацию, которая в свою очередь после многократных преобразований приходит к единому источнику всей информации - технологическим операциям процесса общественного производства. Различаются горизонтальные потоки экономической информации, связывающие подсистемы одного уровня иерархии, и вертикальные (восходящие и нисходящие), связывающие подсистемы разных уровней.

Поскольку экономические системы являются динамическими и процессы преобразования информации протекают во времени, информацию классифицируют по временным признакам. Здесь возможно несколько различных подходов. В зависимости от интервалов времени между поступлениями сообщений, информация бывает периодическая и непериодическая.

Другой принцип классификации связан с интервалом между однородными сообщениями. Если интервал между сообщениями больше или равен циклу управления, то сообщения относят к условно-постоянной информации, если же этот интервал меньше цикла управления, то говорят об условно-переменной информации.

Для исследования и проектирования экономических систем могут использоваться и другие критерии классификации экономической информации - по степени достоверности сообщений, по полезности, по физической форме сообщений, по способу преобразования информации и др.

Следует отметить, что в каждом конкретном случае классификация экономической информации должна производиться с позиций решения поставленной задачи или комплекса задач экономического управления.

Обмен информацией между экономическими системами и их элементами всегда осуществляется с помощью знаков - на определенном экономическом языке. Важное значение при этом имеют проблемы знакового выражения экономической информации, что является содержанием экономической семиотики.

Экономическая семиотика — это наука о закономерностях построения и использования форм обмена информацией в системах экономического управления. Ее задача - упрощение и устранение избыточности информации в документации; разработка эффективных форм обмена информацией между человеком и машиной в человеко-машинных системах управления; формализация языка документов в связи с созданием автоматизированных систем хранения и обработки экономической информации.

Экономическая информация воплощается в нескольких знаковые системах (графический язык документов, специальные экономические термины, элементы языка математики и других наук), объединяемых на основе естественного языка. Важнейшая особенность языка экономического управления - наличие специфических знаковых уровней. На уровнях букв, элементарных знаков и слов язык экономического управления принципиально не отличается от общего языка. Специфичными являются знаковые системы показателей и документов. Анализ экономического сообщения (документа, показателя, тек- I ста) может производится на каждом из уровней или каждой паре уровней экономического языка, в одном из трех аспектов семиотики: синтаксическом, семантическом или прагматическом.

Синтаксический аспект рассмотрения экономических сообщений предполагает исследование свойств алфавита, правил словообразования, детерминированных и вероятностных законов чередования знаков, изучение возможностей использования этих законов для сокращения текста сообщений, отвлекаясь от содержания и ценности этих сообщений для получателя. В тех случаях, когда анализ смысла сообщения или его полезности оказывается невозможным или затруднительным, обычно осуществляется только синтаксический анализ, в котором в полной мере используется статистико-вероятностный аппарат теории информации.

Семантический аспект рассмотрения экономических сообщений означает исследование закрепленных за каждым из них как за знаком соответствующих значений, что, в частности, предполагает понятийную классификацию объектов, отображаемых информационной системой, уточнение смысловых вариантов каждого из знаков языка в различных контекстах, слежение за модификацией этих значений по мере развития системы, фиксацию отнесенности знаков к различным функциональным подсистемам системы управления. Объектом семантики является содержание экономической информации и способы его знакового представления, но она отвлекается от проблемы ценности информации, рассматривая ее как экономические данные.

Прагматический аспект анализа сообщений предполагает исследование информации в условиях, когда экономические данные становятся экономической информацией. Проблема ценности в этом аспекте является центральной. Прагматический подход требует точной ориентации каждого сообщения на конкретную систему и на определенную задачу, решаемую в этой системе, и предполагает оценку значимости каждого из языковых знаков применительно к задачам, решаемым в системе, оценку стоимости получения информации, учет сведений о месте возникновения, обработки, трудоемкости получения и путях следования сообщений.

Методы измерения экономической информации на различных уровнях не в равной степени разработаны.

Методы классической теории информации позволяют измерять количество информации, доставляемой каждым знаком, но на синтаксическом уровне эта мера будет зависеть исключительно от вероятности появления знака в канале связи, но не от вероятности отображаемых с его помощью событий.

Укрупненной единицей экономической информации, раскрывающей качественную и количественную стороны, является экономический показатель. Определение количества информации, размещенной в показателе, можно осуществить по формуле:

(4.10)



где k - количество возможных состояний данного показателя;

рi — вероятность *i*-го состояния показателя.

Если *d* - количество показателей в однострочных документах, то количество информации в них равно:



Общее количество информации в документах с учетом документо-строк может быть определено по формуле:

,



где *l* - количество видов документов;

*j* - порядковый номер вида документа;

*dj* - количество показателей в *j*-м виде документов;

*Inj* - количество информации, приходящейся на один показатель в *j*-м виде документов.

Аппарат, представляемый теорией информации, позволяет оценить количество сигнальной, алфавитной и знаковой информации, и его применение вполне оправдано при механизации и автоматизации обработки данных. Однако статистический подход к оценке информации оказывается непригодным на семантическом и прагматическом уровне.

Анализ смысловой информации, а также отбор и оценка прагматической информации представляют сложную задачу. Вопросы формализации смыслового анализа, а в особенности математической его интерпретации, находятся в начальной стадии изучения. К тому же и полное осуществление смыслового анализа информации не может служить оценкой ее полезности, а является лишь необходимым этапом на пути к достижению этой цели, поскольку интерпретация информации еще не есть ее оценка. Для прагматической оценки экономической информации характерен подход к данным как к продукту определенного качества. Качество экономических данных определяется комбинацией потребительских свойств, таких, как: содержательность, достоверность, полнота, удобства восприятия. Информация - производственный ресурс, способный быстро терять свои качества. Поэтому немаловажное значение приобретает такой фактор как своевременность информации. При обработке информации необходимо соблюдать принцип экономичности, который заключается в организации этого процесса, обеспечивающей систему необходимой информацией с минимальными затратами. Все эти факторы определяют ценность экономической информации. Из их числа можно выделить информативность данных. Для ее измерения можно использовать формулу Шеннона, но такую, которая определяла бы количество информации не по вероятности появления знаков, а в зависимости от вероятностей событий и ситуаций, отображаемых экономической информацией. Единой оценки полезности информации пока еще нет. Если цель системы четко определена, то полезность информации может быть определена через прирост вероятности достижения цели по формуле:

(4.11)



где P0 вероятность достижения цели до получения информации;

P1 - вероятность достижения цели после получения информации.

Ценность информации может быть определена как мера близости к заданной цели системы. Допустим, что цель задана каким-то списком вопросов. Тогда мерой ценности информации может служить функция

(4.12)



где *n* - число вопросов, определяющих цель;

αi - вес *i*-го вопроса, его значение по относительной шкале достижения цели;

Pi =1 - если нa *i*-й вопрос содержится ответ в данной информации;

Рi=0 - если в данной информации не содержится ответ на *i-*й вопрос.

На практике в качестве критериев оценки экономической информации используются показатели: значимости, употребимости, полезности, ранга, стоимости, а также своевременности, доступности и достоверности. С помощью этих критериев может быть подучена некоторая общая оценка информации.

При обработке больших массивов данных может возникнуть необходимость в их усредненной оценке по нескольким параметрам сразу. В этом cлучae можно ввести весовые коэффициенты для каждого из оценочных параметров: значимости, полезности, периодичности и других.

Общая информативность системы, массива или текста определяется суммированием значений ценности содержащихся в них информационных единиц.

Отношение информативности системы к информативности текста составляет полноту информации. Отношение общей информативности системы к общей стоимости информации определяет эффективность информационной системы.

Рассмотренный подход легко формализуется и может быть использован в практических расчетах для конкретных экономических систем.

Экономическая информация выступает своеобразным ресурсом, эффективное использование которого имеет большое значение для процесса управления.

Под системой экономической информации понимается совокупность данных, отображающих экономический аспект деятельности системы управления.

Обеспечение целостности информационной системы базируется на концепции интегрированных систем обработки данных.

Применение принципов интеграции в широком смысле слова для обработки экономической информации, а также при проектировании системы экономической информации является необходимым условием эффективной организации процесса управления.

ГЛАВА 5.ЭКОНОМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

Биологический моделью промышленного предприятия или фирмы является живой организм, взаимодействующий с окружающей средой. Эту модель мы уже привлекали ранее, и в данном случае она предназначена только для того, чтобы сосредоточить вокруг нее наши рассуждения. Но при этом не следует думать, что в этой аналогии мы намерены усматривать нечто большее, чем ее общее экологическое значение и удобство. Представим себе некоторый, организм, обладающий протяженностью и материальным единством. Он изменяется, развиваясь и разрушаясь, приспосабливаясь к новым внутренним и внешним воздействиям. Питание этого организма составляют капитал, рабочая сила и сырье, а в результате его деятельности образуется дополнительный капитал в форме прибыли, производятся товары и удовлетворяются духовные потребности людей. Внутренние службы предприятия подобны системе кровообращения и эндокринных желез, они питают энергией отдельные части организма и обусловливают их работу. Связи, реализуемые внутри предприятия, которые представляют собой средства управления и объединения предприятия в единое целое, подобны нервной системе (хотя, как мы показали с самого начала, пока что эти средства являются весьма несовершенными: продолжая биологическую аналогию, можно сказать, что они находятся на уровне нервной системы, губки). Это общее внутреннее сходство предприятия с живым организмом дополняется его рефлексами, т.е. заложенными в него реакциями, определяемыми системой управления производством, а также наличием мозга предприятия, которым является его руководство. Однако для внешнего мира предприятие выступает как часть организма промышленной фирмы, функционирующей в некоторой окружающей среде и способной воспринимать ее воздействия в виде изменения в конъюнктуре рынка и в социальной, политической и экономической обстановке. Этот организм должен непрерывно реагировать как единое целое в соответствии со своей структурой и свойствами на случайные возмущения, окружающей среды и свои собственные изменения и неполадки.

Одно время, например, в начале прошлого века, мы в Англии пытались рассматривать этот организм как простую детерминированную систему. Промышленник в то время, по существу, управляя входами предприятия по собственному произволу, ибо в период экономического расцвета капитал имелся в избытке, рабочая сила в условиях упадка социальной системы была в изобилии, а в сырье в эпоху интенсивного открытия месторождений полезных ископаемых не испытывалось недостатка. В тех условиях можно было заставить "организм", т. е. предприятие, подчиняться категорическим решениям мозга главным образом потому, что всегда имелась возможность увеличения числа рабочих, а сами рабочие не предъявляли особых претензий. Окружающая среда в целом не создавала особых помех, так как это была эра международной экспансии. В наше время современная теория руководства промышленностью считает предприятие или фирму сложной вероятностной системой. Многие методы этой теории, например исследование производственных процессов, организация и методы руководства и т. п., достигли вершины своего развития в исследовании операций, потому что руководство промышленностью - это именно та область, в которой приходится исходить из современных гипотез в отношении систем, которые одновременно являются сложными и вероятностными. Именно на этом этапе развития методов руководства возникают непреодолимые трудности, ибо (в соответствии с нашей приблизительной классификацией систем) предприятие или фирма являются не просто сложными, но очень сложными системами. Если перевести это положение на язык возможностей человеческого разума, то можно сказать, что мы работаем над решением проблем управления, явно не поддающихся невооруженному разуму.

Ст..Бир

#### Общая характеристика экономической системы

Экономика (экономическая система) - сложная целенаправленная управляемая динамическая система, осуществляющая производство, распределение и потребление материальных благ с целью удовлетворения неограниченных человеческих потребностей.

Экономическая система с точки зрения системного подхода может быть представлена следующим образом.

Пространство и время - наиболее общие детерминанты экономической системы, конкретизирующие ее пространственное и временное существование и ограниченность.

Природная среда находится в непрерывном взаимодействии с экономической системой; последняя, в частности, эксплуатирует природные ресурсы: сельскохозяйственные земли, запасы минералов, воды, древесины, - и оказывает воздействие на природу, изменяя ее. Экономика является функциональной подсистемой социальной системы, выполняя требование удовлетворения потребностей общества и используя человеческие ресурсы.

Принцип неограниченности потребностей общества следует понимать так, что ориентация экономики на максимальное удовлетворение человеческих потребностей никогда не достигает идеальной цели - создания полного изобилия в силу действия закона опережающего роста потребностей.

Экономическая система, эффективность функционирования которой характеризуется экономическими показателями: прибылью, рентабельностью, себестоимостью, производительностью и другими, - является сложной системой. Изменения, возникающие в одной части системы, вызывают изменения в других ее частях. Так, появление нового продукта в одной из отраслей промышленности приводит не только к изменениям в этой отрасли, но и оказывает преобразующее воздействие на структуру спроса и потребления, что, в свою очередь, определяет новые изменения в производящих отраслях. Экономическая система находится в непрерывном движении: она растет и I развивается. Понятие роста отражает количественный аспект динамики: увеличение числа элементов, связей, размеров экономической системы. Принцип развития связывается с понятием качества, совершенствования системы, возрастанием ее потенциала. Примечательно, что макроэкономическая система наращивает потенциал дом скорейшего достижения цели - улучшение качества и уровня жизни населения (развитие) и характеризуется реальными показателями повышения уровня жизни (рост).

Среда экономической системы также является сложной системой и обладает всеми свойствами таковой. При выделении системы исходят из наличия более жестких связей внутри самой сложной системы по сравнению со связями между системой и внешней средой. Система и среда в общем случае характеризуется различными интересами, целями и критериями. Совокупность факторов внешней среды характеризуется:

сложностью - разнообразием факторов, воздействующих на систему;

силой воздействия факторов, среди которых выделяются более существенные и менее значимые;

динамичностью - скоростью изменений, происходящих в окружении системы;

неопределенностью - количеством априорной информации, которой располагает система относительно конкретного фактора.

Исследование экономических систем различного уровня с использованием метода моделирования базируется на предположении о том, что сложная экономическая система обладает набором характеристик, инвариантных относительно целей исследования, среди которых основными являются:

целостность - все части системы (подсистемы) и элементы подчинены единой цели, стоящей перед всей системой. Цель может быть задана системе извне или сформулирована самой системой. Цель может быть сформулирована на качественном уровне или иметь форму целевых заданий по конкретным количественным экономическим показателям. Формулировка глобальной цели должна быть достаточной, чтобы управляющая система могла осуществить разработку плана ее достижения. Локальные цели подсистемы должны быть совместимы с глобальной целью системы;

эмерджентность - несводимость свойств системы в целом к свойствам отдельных ее частей;

холизм - формальный аспект обеспечения целостности системы:

цели экономической системы должны быть формализуемы, координируемы и агрегируемы;

пространственная и временная определенность и ограниченность означает, что для экономической системы, локализованной и функционирующей в реальном времени, можно построить модель или систему моделей, с помощью которых можно решать задачи трех классов: наблюдения, идентификации, прогнозирования; задача наблюдения связана с определением настоящего состояния системы U(t) по данным поведения выходных величин в будущем:

; задача идентификации требует определения U(t) пo данным о поведении выходных величин в прошлом: ; задача прогнозирования позволяет определять будущее состояние и() по данным о текущих и прошлых значениях выхода ;



динамичность - экономическая система функционирует и развивается во времени, она имеет предысторию и будущее, характеризуется определенным жизненным циклом, в котором могут быть выделены определенные целями исследования фазы: возникновение, формирование, рост, развитие, стабилизация, деградация, ликвидация или стимул к изменению;

сложность - экономическая система характеризуется большим числом неоднородных элементов и связей, полифункциональностью, полиструктурностью, многокритериальностью, многовариантностью развития и другими свойствами сложных систем;

относительная автономность функционирования экономических систем означает, что в результате действия обратной связи каждая из составляющих выходного сигнала может быть изменена за счет изменения входного сигнала , причем другие составляющие , остаются неизменными;



функциональная управляемость экономической системы означает, что подходящим выбором входного воздействия *х* можно добиться получения любого выходного сигнала :



где - функциональная управляемая система;



причинность экономической системы означает возможность предсказывать последствия некоторых событий в будущем. Иначе, причинно-следственные связи в системе определены тогда, когда причины возникновения некоторого явления идентифицированы, выявлены их последствия и установлена их зависимость. Причинность во времени предполагает такое описание эволюции системы, при котором значения выходных величин в любой момент времени *t* зависит исключительно от предыстории развития системы. С причинностью связаны понятия неупреждаемости системы и предопределенности. В неупреждающей системе изменения выходной величины не могут предугадывать, упреждать изменения входного воздействия. Предопределенность системы означает, что существуют такие что для любых будущая эволюция системы определяется исключительно прошлыми наблюдениями;



*неопределенность* в функционировании экономической системы представляет собой множество возмущающих воздействий которые сказываются на поведении системы и на исходе принятого решения X. Элементы включают как параметрическую, так и структурную неопределенность;



гомеостатичность системы отражает ее свойство к самосохранению, противодействие разрушающим воздействиям среды; гомеостатичность можно трактовать как способность осуществлять простейшие формы управления: в структурном отношении такая система характеризуется наличием только отрицательных обратных связей, а в функциональном - постоянством цели управления, это система в ее статическом представлении, вне развития; более обширный подход к исследованию адаптивных характеристик системы дает такая характеристика, как устойчивость;

устойчивость системы зависит от уровня, вида экономического объекта, а также от того, каким образом оценивается степень ''инертности" системы. Иными словами, исследуется вопрос о том, насколько существенно изменяется поведение системы под действием возмущений. Система признается устойчивой относительно введенного определения окрестности, если при достаточно малых изменениях условий функционирования экономической системы поведение системы существенно не изменится. В рамках теории систем исследуются структурная устойчивость и устойчивость траектории поведения системы;

инерционность экономической системы сказывается в возникновении запаздываний в системе, симптоматично реагирующей на возмущающие и управляющие воздействия. Такие запаздывания учитываются, в частности, с помощью моделей лагов: внутренних, или лагов принятия решений относительно стабилизирующих воздействий, и внешних - отражающих задержки в реакции системы на соответствующие воздействия;

адаптивность экономической системы определяется двумя видами адаптации: пассивной и активной адаптацией. Пассивная адаптация является внутренне присущей характеристикой экономической системы, которая располагает определенными возможностями саморегулирования (эффект антисипации). Активная адаптация представляет механизм адаптивного управления экономической системой и организацию его эффективного осуществления.

Описанные характеристики в той или иной мере присущи любой экономической системе: макроэкономической - экономике в целом, крупным секторам экономики, модели которых оперируют синтетическими показателями (общественный продукт, национальный доход, инвестиции и т.п.); - или микроэкономической, изучающей поведение отдельных объектов - предприятий, фирм, потребителей и взаимодействий между ними. Исследование экономических систем любого уровня производится с позиций системного подхода, который является научной и прикладной методологией решения крупных проблем.

#### Сущность системного подхода к исследованию экономической системы

Системный подход - понятие, подчеркивающее значение комплексности, широты охвата и четкой организации в исследовании реальных систем, в частности, - экономической природы. Системный подход опирается на диалектический закон взаимосвязи и взаимообусловленности явлений в мире и обществе, определяя необходимость рассмотрения исследуемых явлений и процессов не только как самостоятельной системы, но как подсистемы некоторой большей системы, по отношению к которой данный объект рассматривается как открытая система. Системный подход требует прослеживания всего комплекса внутренних и внешних связей с тем, чтобы выделить все существенные связи и эффекты. Очень важно для системного подхода понимание того, что система - это не простое объединение своих частей. Отсюда и отрицание элементаризма — подхода, неверно ориентирующего на простое "сосуществование" элементов, их механическое соединение. На практике системный подход - это системный охват, системные представления, системная ориентация исследований. Системный охват требует рассмотрения проблемы в различных аспектах с различных позиций. Системное представление достигается построением единой модели, способной замещать реальный объект и давать актуальную информацию о моделируемом объекте. Системная организация исследования означает непрерывное планирование и управление разработкой с помощью методов и средств координации работ. Решение сложных проблем с позиций системного подхода подчинено определенной последовательности действий (рис. 5.2).

Важнейшие этапы этого процесса предполагают:

идентификацию проблемы Р,

внутренний и внешний анализ проблемы Р,

идентификацию системы S,

синтез модели М,

анализ модели М,

оптимизацию системы S с помощью модели М в ходе эксперимента Э.

В рамках системного подхода задачи анализа и синтеза взаимосвязаны, они чередуются с заданной регулярностью и характеризуют две стороны единого цикла процесса исследования.

Описанный цикл решения проблемы относится как к количественному, так и к качественному системному подходу. При этом идентификация и имитация реализуются на интуитивном, эвристическом уровне. Основным недостатком качественного подхода является то, что противоинтуитивное поведение, которое проявляется в сложных социально-экономических системах, упускается из виду и не анализируется. Преимущество качественного подхода перед количественным состоит в существенной экономии времени и средств на проведение исследования.

Существует, помимо качественного и количественного, еще один интересный и перспективный подход к исследованию систем, предложенный Л.А. Задэ (Zaden L.A.), базирующийся на концепции размытых множеств. Размытое множество определяется как класс объектов, не имеющий четкой границы между принадлежащими и не принадлежащими ему объектами.

Определение 5.1. Пусть Х={х} - заданное множество объектов. Тогда размытое множество А появляется в Х как множество распределенных пар:



где - функция принадлежности *х* к *А*:



где *z* - пространство принадлежности.

Функция принадлежности носит исключительно эвристический характер. Например, она определяется в ходе изучения мнений заинтересованных лиц или организаций.

Данный подход имеет "неявный" характер, по предположению, он позволяет обрабатывать нечеткие высказывания вроде: "влияние фактора не слишком сильное, но и не слабое", "операция h не является вполне законной", - с помощью логических операторов.



***Экономическая система как система управления***

Экономическая система является сложной системой управления, причем разнообразие структур управления определяется разнообразием экономических систем и процессов, а также разнообразием их характеристик.

С точки зрения внешней среды экономика выступает:

в роли производственной системы, производящей материальные блага, удовлетворяющие определенную потребность;

как система целенаправленного преобразования ресурсов;

как объем приложения живого и общественного труда;

как преобразователь инвестиций во вновь созданный капитал;

как информационная система управления процессами функционирования и развития объекта, реализующая функции организации, контроля, анализа, регулирования, координации, планирования и проектирования с помощью соответствующих структур - организационно-хозяйственной и социально-экономической.

Выделение в экономической системе производственно-технологического уровня преобразования ресурсов и информационно-управляющих уровней преобразования информации определяют два типа моделей: 1) моделей объектов управления и 2) моделей процессов управления. Используемые модели, методы, цели, объекты управления существенно различны, и в последующих главах будут рассмотрены обособленно.

***Идентификация экономической системы***

Подход, с помощью которого строится процедура идентификации экономической системы, состоит в следующем:

Основные системные понятия вводятся с помощью формализации. Это значит, что исходя из результатов проблемного анализа ситуации, формируется интуитивное, эвристическое описание предметной области исследования, определяются цели исследования и, на основе размытого словесного описания экономической системы, дается *вербальное определение* этого понятия, имеющее минимальную математическую структуру, например, - минимум аксиом, допускающий его однозначную интерпретацию.

Опираясь на основные понятия, полученные в результате первоначальной формализации, добавляются новые математические структуры, необходимые для исследования фундаментальных свойств, присущих экономической системе и актуальных с позиций целей исследования. Подобная процедура позволяет идентифицировать необходимое множество предположений для описываемых свойств или для условий их выполнения.

Отправной точкой идентификации экономической системы является диагностический анализ ситуации. Первая фаза диагностического анализа - осознание и прояснение симптомов, или *проблем-следствий* (например, дефицит товара на рынке, низкая прибыль, низкое качество продукции, чрезмерные издержки, высокий уровень безработицы и т.д.). Выявлению симптомов способствуют данные мониторинга соответствующих экономических показателей (формальный, неформальный мониторинг). Динамика симптоматичных показателей определяет главные *индикаторы проблемного анализа.* Определение базовых *проблем — причин* диагностированных симптомов осуществляется на практике путем *логико-смыслового моделирования.* Дальнейший анализ предполагает определение ожидаемых последствий и генерирование решений по элиминированию нежелательных симптомов. На этой фазе формируется *вербальное определение* экономической системы, которая по определению является целенаправленной. Вербальное, или лингвистическое определение соответствует предельно общему уровню представлений об экономической системе. Экономическая система представляется в виде некоторого отношения, определенного на множестве объектов. Для такого уровня идентификации пригодна концепция нечеткого множества. Фактически в состав системы попадают объекты, имеющие отношение к цели исследования. В такой системе свойства не формализованы. Уточняя свойство целостности, определяется эмерджентность системы, а ее назначение связывается с глобальной целью или с макрофункцией системы. При этом часть объектов первоначальной совокупности исключается из системы и интерпретируется как источники воздействия на нее со стороны внешней среды. Система формализуется в терминах входов и выходов, как открытая система, взаимодействующая с внешней средой. Такой уровень идентификации отвечает *теоретико-множественному* определению абстрактной системы. Но для экономической системы соответствующие множества имеют конкретный экономический смысл, например: множество ресурсов и множество продуктов. Назначение системы связывается с ее основной функцией - преобразователя множества входных воздействий в выходные. Начинает проясняться структура системы: для выполнения основной функции система должна осуществлять собственно "производство" (или другую деятельность, связанную с конечным результатом, с *"миссией"* системы) и выполнять управление этой деятельностью. формируется функциональная структура обеих подсистем: часть элементов образуют управляющую подсистему, а остальные упорядочиваются в некую производственно-технологическую структуру. Формализуются соответствующие *функционально-структурному* уровню идентификации характеристики экономической системы. Объект управления и управляющая система характеризуются как сложные, со всеми присущими сложным системам характеристиками. Интуитивно понятно, что их поведение не предопределено. Последующая идентификация требует учета временного аспекта, случайности, запаздывающих реакций (лагов). Все эти свойства учитываются идентификацией на уровне *сложной динамической системы.* Этот уровень предполагает идентификацию поведенческих аспектов работы системы. Действительно, экономическая система может справляться со своей функцией, например, с выпуском продукции, но осуществлять это она может по-разному: с различной производительностью, с разными затратами ресурсов, на различном оборудовании, разнообразными технологическими способами. Для описания новых, присущих системе свойств вводятся соответствующие математические структуры. Параллельно идентифицируется управляющая система. Она предстает как *система принятия решений,* как правило, - иерархическая: многоуровневой системе решения задач управления соответствует многоуровневая структура организации элементов, вырабатывающих решения.

Идентификация системы, ее уровень, глубина, спектр учитываемых и интерпретируемых свойств производится на основе базы знаний об особенностях и специфике объекта исследования и целей исследования и предваряет проектирование работоспособной модели, включающей существенные черты реальной системы и отвечающей требованиям, предъявляемым к ней исследователем.

Описанная схема процесса идентификации характеризует дедуктивный теоретический подход к построению модели экономической системы. Нередко для крайне сложных социально-экономических процессов известна лишь часть взаимосвязей, хотя объясняющие их причинно-следственные закономерности отсутствуют. Можно утверждать, что иногда реальные системы характеризуются "противоинтуитивным" поведением. При экспериментальном подходе модель строится методом индукции, исходя из измеренных значений на входе и выходе системы. При этом внутренняя структура исследуемой системы не рассматривается, является "чёрным ящиком".

На практике обычно используется комбинированный подход, сочетающий одновременное применение дедукции и индукции и имеющий итеративный характер.

*Экспериментальные методы идентификации* подразделяются на методы прямого и адаптивного (косвенного) измерения.

В методах прямого измерения параметры процесса определяются непосредственно по данным измерения характеристик входа и выхода реальной системы.

В методах адаптивного измерения наряду с анализом поведения реальной системы изучается ее модель. Параметры модели и системы сопоставляются и модифицируются так, чтобы они соответствовали реально существующему аналогу.

В последующих главах будут рассмотрены вопросы построения моделей анализа и синтеза экономических систем.

ГЛАВА 6.**.**ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА МОДЕЛЕЙ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*Если возникает задача руководства, которую можно сузить, иначе говоря, если можно выделить небольшую область деятельности организма для изучения и усовершенствования, то такое частичное исследование все еще будет относиться к классу "сложных" систем, и методы исследования операций в этом случае вполне работоспособны. Подобно тому, как хирург вскрывает изолированный участок человеческого тела, чтобы удалить аппендикс, руководство может разрешить изолированную проблему. Но в чем заключается общая задача руководства? Она сводится к обеспечению условий существования фирмы или предприятия. Частные задачи должны решаться именно с этих позиций. Так, например, руководству может потребоваться научно обоснованное решение относительно закрытия отдельного цеха предприятия или отдела фирмы. Если методами теории операций удастся изолировать этот участок, то можно его исследовать как сложную вероятностную систему. Прежде всего необходимо сформулировать критерий, отвечающий на вопрос, чего стремится достигнуть руководство. Если речь идет о максимизации прибыли, то все обстоит благополучно. Если задача заключается в минимизации рабочей силы, то ученый также в состоянии решить ее. Если требуется максимизировать производительность предприятия или свести к минимуму капиталовложения, то и в этих случаях задача разрешима. По существу, мы перечислили именно те задачи, которые в настоящее время наиболее успешно решаются различными методами исследования операций. При этом, однако, предполагается, что определенная область может быть целесообразно изолирована, подобно тому. как поступает хирург при операции по поводу аппендицита. Но предположим теперь, что хирургу нужно сделать операцию на печени или мозжечке. Если он сделает то, что представляется наиболее рациональным с точки зрения этих органов, не учитывая весь организм в целом, то он может просто решить удалить их.*

*Могут возразить, что хирургу отлично известно, что он имеет дело с живым организмом. Руководство предприятием также наверняка осознает, что решение проблемы для какой-либо изолированной части предприятия, рассматриваемой в качестве автономной замкнутой системы, может оказаться неверным с точки зрения общего благополучия всего предприятия. Здесь следует со всей решительностью высказать два соображения. Прежде всего, на практике руководство далеко не всегда осознает, когда действительно допускаемся изолированное рассмотрение отдельного участка производства и когда этого нельзя делать. Любой специалист в области исследования операций, имеющий практический опыт, безусловно, сталкивался с такими случаями, когда перед ним ставили псевдозадачи. Мы называем их "псевдозадачами", ибо решение, безусловно, оптимальное для локальной системы, может оказаться неправильным или даже катастрофическим для всей системы в целом. Во-вторых, гораздо более опасным является случай, когда руководство уже само заранее признает, что задача затрагивает весь организм, или убеждается в этом на опыте. Что же происходит при этом с критерием оптимальности? Общей целью предприятия как единого организма является не только максимизация прибыли. Использование всего арсенала научных средств для максимизации текущей прибыли означало бы, очевидно, принесение в жертву репутации или предприятия, что, в конечном счете, приводит к гибели всего организма.*

*Ст. Бир*

**Принципы декомпозиционного анализа *экономической системы***

### Декомпозиционным решением исходной глобальной задачи управления экономической системой является определение решения с помощью системы взаимосвязанных локальных задач. При этом подразумевается, что частные, или локальные задачи являются в определенном смысле менее сложными, чем исходная задача.

Методы декомпозиции, которые позволяют построить систему локальных задач, образуют известную дихотомию: с одной стороны, они являются основой вычислительных алгоритмов при решении задач управления - алгоритмическое направление; с другой - методы декомпозиции служат для выделения моделей комплекса подсистем управления, функциями которых является решение локальных задач, - модельное направление, или декомпозиционное моделирование.

Пусть *-* множество экзогенных переменных, или интенсивностей видов деятельностей.



В конкретном случае под видами деятельности понимается факторы производства, технология, мероприятия, отрасли и т.д.

Интенсивности управляемы, т.е., где *Xi, -* множество допустимых значений *i*-ой переменной, и ограничены, т.е.*,* где *аi,* - лимит *i*-го вида деятельности.



- множество эндогенных переменных, или результатов.



Показателями результатов могут быть: выпуск, потребность, спрос, доход, расход и т.д.

*,где βj -* лимит результата.



Функцию, которая описывает связи между эндогенными и экзогенными переменными, назовем функцией результата:

*F:X→Y, или y=F(X).* (6.1)

Пусть также с результатами связаны значения определенных показателей эффекта. Показателями эффекта могут быть, например:

прибыль, экономия времени и др. В отдельных случаях показатели эффекта совпадают с показателями результата (например, доходы).

Функцию, которая описывает связи между результатами и эффектами, назовем функцией цели, или целевой функцией:

*f* : *Х → Y ,* или с = *f(y)* = *f(F(x)) = f’(x),* (6.2)

где *f(y) -* функция цели по результатам,

*f'(x) -* функция цели по интенсивности, или по плану.

*Замечание 6.1.* Если интенсивности видов деятельности являются

планируемыми, они называются планом.

#### Пусть также предикат

*P{z, D(x, a)}* (6.3)

означает, что "z является решением задачи *D",* иди иначе:

*z = D(x, a).*

Описанные функции и переменные *Х* могут быть детерминированными и стохастическими. В первом случае исходная задача управления может быть записана в виде:

(6.4)



*Замечание 6.2.* В задаче (6.4) целевая функция и система ограничений разделены фигурной скобкой

Эта запись означает: найти такое значение *X,* при котором функция *f'(x)* достигает экстремума при ограничении результата параметром β, а деятельность - лимитом *а.* Или, используя предикативную форму (6.3), запись (6.4) можно представить в виде:

(6.5)



Описание стохастической задачи сложнее и в данной главе не рассматривается.

Декомпозиция исходной системы или глобальной задачи производится путем применения принципов декомпозиции и координации. Первые определяют те свойства исходной системы (или задачи), на основе которых она будет разложена.

Рассмотрим следующие *принципы декомпозиции:*

по времени,

по видам деятельности,

по целям,

по результатам (по ресурсам или по ограничениям),

по аспектам.

При *декомпозиции по времени* исходная динамическая задача управления разбивается на различные по времени частные задачи, ориентированные на достижение долгосрочных, среднесрочных, краткосрочных целей. В практике планирования этот принцип традиционен.

Долгосрочные цели формируются, как правило, в первую очередь и имеют наибольший горизонт планирования. Затем вырабатываются средне- и краткосрочные цели для обеспечения долгосрочных целей.

Например, долгосрочная цель в отношении производительности системы: увеличить общую производительность на 25% за 5 лет. Среднесрочная цель: повышение производительности на 10% за 2 года. Краткосрочные цели планируются на сроки в пределах одного года и устанавливаются в конкретных областях: стоимость товарно-материальных запасов, повышение квалификации работников, модернизация оборудования, повышение эффективности использования производственных мощностей и так далее. Эта группа целей должна обеспечивать долгосрочные, среднесрочные цели, а также быть согласована с другими целями уровня.

Обозначим:

*D -* глобальная задача управления;

*{Di} -* множество задач перспективного планирования,



*{Dj} -* множество задач среднесрочного планирования



*{Dk} -* множество задач краткосрочного планирования,



ti ,tj ,tk - горизонты планирования.

Тогда:



(6.6)



где μ- отношение связи между задачами уровня *i, j, k;*

*λ -* отношение связи между уровнями.

При разложении исходной системы *по объектам и видам деятельности* основой декомпозиции служат структурные или функциональные элементы экономическою объекта. Такой подход также вполне традиционен в аналитическом исследовании. Структуризация системы при этом зависит от воли исследователя, который руководствуется целями анализа и требуемой степенью детализации.

Пусть S – исходная система, тогда :

, (6.7)



где *{Si}* – множество ее подсистем или элементов,

μ - отношение связи между ними.

В качестве элементов *S,* могут выступать предприятия, регионы, отрасли, цеха или технологические процессы и др.

*Принцип целевого разложения* применяется в случае использования комплексных, интегральных целевых показателей. Исходная задача может быть декомпонирована на локальные таким образом, чтобы аргументом целевой функции каждой частной задачи были один или несколько целевых показателей исходной задачи. Например, если аргументами целевой функции исходной задачи служат потребление и накопление, то можно составить две частные задачи - задачи максимизации потребления и накопления.

Целевая функция *F* исходной задачи может быть представлена алгебраическим выражением:

,



где *R -* алгебраическая операция,

*{Fi} -* целевые функции локальных задач.

*Декомпозиция по результатам или ограничениям* производится следующим образом. Исходная задача содержит систему ограничений на результаты, а также на значения экзогенных переменных. Следовательно, можно составить частные задачи, в которых присутствует только часть ограничений.

*Поаспектная декомпозиция* делится на два класса: проблемная и формальная. Так, комплексную в проблемном отношении систему можно разложить по проблемам. Например, комплекс факторов внешней среды организации можно разделить на семь областей: экономика, политика, рынок, социум, технология, конкуренция, международное положение.

Формальная декомпозиция системы может быть проиллюстрирована следующим образом. По формальным свойствам адекватная модель экономического объекта является стохастической, нелинейной, непрерывной, некоторые аргументы которой принимают только дискретные значения и т.д. Для решения задач управления такой системой можно составить систему из формально более простых задач, каждая из которых предназначена для изучения объекта в определенном аспекте. Например, одна задача линейная, но детерминирована, вторая - стохастическая, но линейная и непрерывная, третья - дискретна, но линейна и детерминирована.

Для создания декомпозиционного метода можно комбинировать несколько принципов разложения. Например, применить последовательно разложение по времени и по аспектам. В этом смысле можно говорить о принципах комбинированной декомпозиции.

Следует различать два основных способа использования перечисленных принципов:

дизъюнктивный тип декомпозиции;

конъюнктивный тип декомпозиции.

В первом случае подсистемы не пересекаются, а локальные задачи не имеют общих переменных. Во втором случае подсистемы пересекаются, а локальные задачи содержат общие показатели. Именно последний тип декомпозиции более сложен и более продуктивен при исследовании сложных аналитических проблем. Он не имеет общей формальной схемы реализации, но способен дать новые результаты в каждом конкретном случае, например, когда речь идет о согласовании конкретных целей (региональных и отраслевых, конкурентных и т.д.).

Для того, чтобы разложенные части глобальной задачи, представленные комплексом локальных задач, были связаны в единую систему, эквивалентную исходной, используются *принципы координации.*

В данном случае мы рассматриваем задачи управления в виде (6.4), то есть они имеют две основные компоненты: целевую функцию и систему ограничений. Таким образом, взаимосвязь частных задач может быть обеспечена путем введения координирующих параметров в целевые функции частных задач и/или в их ограничения.

При таком подходе говорят о двух основных принципах координации:

стимулирования;

лимитирования.

Стимулирующая координация локальных задач производится при помощи связующих сигналов, которые входят в целевую функцию частной задачи.

При лимитировании координирующие параметры содержатся в системе ограничений локальной задачи.

В рамках общего принципа стимулирования следует различать:

принципы цен;

принципы штрафов;

принципы целевой консультации.

Если целевая функция по сущности выступает как стоимостная, то цены в составе этой функции в определенном смысле "стимулируют" решение локальной задачи. Очевидно, что принцип цен может быть реализован в виде:

цены результаты;

цены деятельности.

В первом случае цены координируют результаты (например, выпуск продукции). Во втором - цены устанавливают применительно к показателям интенсивности деятельности.

Принципы штрафов стимулируют уменьшение нежелательных отклонений переменных и результатов от координирующих параметров. Соответственно, различаются:

штрафы за деятельности;

штрафы за результаты.

Принцип целевой консультации состоит в ситуационной корректировке цен, уже имеющихся в целевой функции глобальной задачи.

В рамках основного принципа лимитирования выделяются три принципа:

лимитирование результатов;

лимитирование деятельностей;

лимитирующие консультации.

Лимитирование результатов предполагает воздействие на локальные задачи с помощью ограничения результатов (например, лимитирование резервов) в системе ограничений задачи, а лимитирование деятельностей состоит в прямом ограничении переменных интенсивностей в частных задачах. Лимитирующие консультации предусматривают корректировку параметров функций в системе ограничений.

Перечисленные принципы координации применяются или отдельно (уникоординация) или комбинировано (мультикоординация). В прикладном аспекте наибольший интерес представляет сочетание различных принципов координации.

Исходная глобальная задача и применяемые к ней принципы декомпозиции, а также принципы координации определяют метод декомпозиции или систему локальных задач.

Построение метода на этой основе требует описания алгоритмов корректировки координирующих параметров.

Каждый метод декомпозиции имеет ряд свойств. Прежде всего, сюда относятся сходимость метода к решению исходной задачи и необходимые для этого предпосылки. Существенны также скорость сходимости, монотонность сходимости и т.д.

Одним из принципов декомпозиционного анализа является *принцип моделирования.* Он заключается в использовании систем локальных задач или методов декомпозиции в качестве так называемых *моделей решающих систем. Решающая система -* более общее понятие, чем система локальных задач. Поэтому для ее моделирования особенно подходят более общие методы, обладающие комбинированными связями разных направлений, а также иерархическими и обратно иерархическими структурами.

В моделировании решающей системы используются такие основные понятия, как *число уровней* и *направление связей.*

Для определения уровней локальные задачи подразделяем на:

задачи управления (выработки управляющих воздействий или планирования);

задачи координации.

Первые содержат независимые переменные исходной глобальной задачи, а вторые - не содержат. Предполагается, что координирующая задача в сравнении с управляющими находится на более высоком уровне, а управляющие - на каком-либо одном уровне. Связи между локальными задачами разных уровней называются вертикальными, а между локальными задачами одного уровня - горизонтальными.

Системы, где координирующая задача отсутствует, содержат только горизонтальные связи, являются одноуровневыми и называются децентрализованными.

Системы, содержащие несколько уровней, могут быть моно- или полицентрическими. В первом случае каждую локальную задачу координирует только одна координирующая задача, а во втором случае - их несколько.

Многоуровневые системы могут быть иерархическими или пирамидальными. В пирамидальных системах имеются только вертикальные связи, они называются централизовано координированными системами. В иерархических системах есть как вертикальные, так я горизонтальные связи, они называются системами с централизованно

- децентрализованной координацией.

Полицентрические системы делятся на типы в зависимости от того, находятся ли на низшем уровне одна или несколько частных задач, имеются ли только вертикальные или горизонтальные связи. Существуют понятия обратной иерархии и обратной пирамиды. Последние структуры складываются тогда, когда па низшем уровне имеется только одна частная задача.

### Координация в иерархических системах управления

*Иерархические системы управления* (ИСУ) - это системы произвольной природы (экономические, технические, социальные, биологические) и назначения, имеющие многоуровневую структуру в организационном, функциональном или каким-либо ином плане.

Всем иерархическим системам присущи следующие особенности:

*вертикальная декомпозиция,* или многоуровневая иерархия;

*приоритет действий* верхнего уровня, или подчиненность (отношение субординации) действий нижних уровней решениям, принимаемых на верхнем уровне;

*зависимость решений,* принимаемых на верхних уровнях иерархии, от результатов, полученных на нижних уровнях, т.е. *наличие обратных связей* в ИСУ

Широкое распространение ИСУ и их универсальный характер обусловлены рядом преимуществ, которыми они обладают по сравнению с другими системами управления:

свобода локальных действий в пределах, обусловленных вмешательством верхнего уровня;

возможность согласования локальных и глобального критериев оптимальности уровней ИСУ в соответствии с целью, поставленной перед всей системой;

преимущества обобщения, сжатия, агрегирования информации, поступающей в ИСУ "снизу вверх", и - конкретизации, детализации информации, передаваемой "сверху вниз";

высокая надежность системы управления, ее гибкость и адаптивность к изменяющейся ситуации;

универсальный характер и, зачастую, - экономичность.

Основные разделы теории ИСУ: структурный анализ и синтез ИСУ; проблема координации ИСУ; оптимизация функционирования

ИСУ.

*Задачи структурного анализа и синтеза ИСУ* весьма разнообразны, представление сложной системы в виде ИСУ зависит от принципа детализации: он определяет структуризацию системы по уровням. Различают три основные концепции построения иерархической структуры "по вертикали":

декомпозиция системы по аспектам деятельности называется *стратификацией* сложной системы, а сами уровни называются *стратами.* Так, например, регион как сложная система, может быть представлен следующими уровнями, или стратами: политической, экономической, социальной, природно-климатической, экологической, др.;

расчленение системы по организационному признаку позволяет строить *многоэшелонные* структуры управления, отражая необходимую субординацию между подсистемами, что является плодотворным при построении системы управления различными производства ми, фирмами и др.;

подразделение сложной проблемы на частные задачи позволяет представить процесс решения в виде *многослойной иерархии.*

В ходе структуризации каждый из уровней можно подразделять еще на ряд подсистем уже по другому признаку. В качестве такового можно использовать функциональный подход или избранный принцип управления: с отрицательной обратной связью, с адаптацией, с обучением и др.

Основными задачами, возникающими при исследовании ИСУ, являются задачи анализа и синтеза иерархических систем. Рассмотрим некоторые предпосылки формального подхода к постановке задания исследования.

ИСУ любой системы сложности может быть представлена как совокупность взаимосвязанных модулей, в качестве которых выступают двухуровневые ИСУ - простейшие подсистемы, имеющие все характерные особенности ИСУ.

Двухуровневая ИСУ образована *(п+2)* основными подсистемами:

вышестоящей управляющей подсистемой, или *координатором С0 ,* генерирующим координирующие сигналы *уi (i=1,п),* адресованные

*п* нижестоящим *управляющим подсистемам Сi (i=1,n),* которые вырабатывают сигналы обратной связи ωi *(i=1,n),* поступающие на вход координатора, а также управляющие воздействия *mi*, предназначенные для управления

*процессом Р,* связь которого с внешней средой осуществляется посредством входа *Х* и выхода *У,* а обмен информацией о результатах деятельности происходит по каналам обратной связи *zi.*

Взаимодействия между подсистемами ИСУ носят динамический характер, изменяются во времени и образуют замкнутый контур, при чем по определению верхний уровень обладает приоритетом.

При этом вышестоящий элемент *С0* до принятия управленческих решений подсистемами *Ci (i=1,2,...,n)* реализует *директивную функцию:* на основе прогнозирования состояния окружающей среды и будущего поведения системы управления (сокращение неопределенности ситуации) устанавливает функцию качества управления, определяет форму взаимосвязи элементов Сi *(i=1,2,...,n),* или способ координации (выбор алгоритмов и правил) и выбирает координационные переменные *уi* *(i=1,2, ...,п)* ∈ *Г,* а после выработки и реализации управляющих воздействий *mi* *(i=1,2,...,n)* и получения информации о результатах по каналам *ωi (1,2,...,п)* корректирует, регулирует деятельность подсистем управления, реализуя *побудительную функцию,* чтобы достичь цели системы наилучшим образом.

Такие представления о правилах функционирования системы, используя терминологию теории множеств, в общем виде можно записать:

- директивная функция C0,



- побудительная функция C0,



- функция управления Ci,

(6.9)



- функция оценки результата,



- функция производства Р,



отчетная информация объекта P.



Выражения (6.9) иллюстрируют принципы построения соответствующих зависимостей, конкретный вид которых определяется спецификой реальной системы.

Задача выбора *способа координации* элементом C0 сводится к отысканию таких правил, которые определяют значения воздействий множества μ и, в частности, устанавливают целесообразный способ согласования действий между подсистемами одного уровня *Ci(i=1,2,…n).* Можно предложить несколько принципов, пригодных для указанных целей:

координация путем *"прогнозирования взаимодействий " -* вышестоящий элемент прогнозирует состояние внешней среды и, в соответствии с ним, определяет связующие сигналы для подсистем нижнего уровня, которые действуют уже в условиях определенности;

координация путем *"оценки взаимодействий " -* когда элемент C0задает диапазон изменений связующих сигналов для элементов *Ci(i=1,2,…n)*;

*"развязывание взаимодействий" -* управляющие подсистемы действуют относительно автономно, самостоятельно выбирая связующие сигналы;

координатор осуществляет свое право путем *"наделения ответственностью",* определяя зависимость между действиями (результатами) управляющих подсистем и откликами (санкциями, поощрениями) координатора;

координация с помощью *"создания коалиций",* когда вышестоящий элемент определяет тип связей между группами элементов нижнего уровня.

На рис 6.4 представлена двухуровневая система с двумя подсистемами на первом уровне, с помощью которой можно наглядно продемонстрировать сущность способов координации. Первый уровень (подсистемы С1 и *С2)* управляет объектами *P1* и *Р2* с помощью воздействий *т1* и *т2.* Координатор *С0* управляет регуляторами С1 и *С2,* подавая на их входы координирующие сигналы *у1* и *у2,* от которых зависят значения *m1* и *т2 : m1(y1)* и *т2 (у2).* Или в общем случае: *m1(y)* и *т2 (у),* где *y=(y1, у2).* Иначе, *m1* и *т2* могут зависеть одновременно от *у1* и от *y2.*

Система называется *координируемой,* если найдены такие значения *,* что *m1()* и *т2()* удовлетворяют общей вели, стоящей перед системой. Значения управляющих воздействий *т1* и *т2,* удовлетворяющие условию координируемости, обозначим через 1*(у) и* 2*(у).* Величины *U1* и *U2:* характеризуют перекрестные взаимодействия между управляемыми объектами *P1* и *Р2.* Текущие значения этих величин *U1* и *U2* передаются к координатору *С0* и путем сопоставления их со значениями 1*(у)* и 2*(у),* удовлетворяющими условиям координируемости системы, определяют ошибки рассогласования:



и



и используют их для построения алгоритма функционирования координатора.

Стратегия координатора, при которой значения управляющих воздействий 1*(у) и* 2*(у)* удовлетворяют общей цели системы, когда:



и (6.10)



то есть достигается баланс взаимодействий, называется принципом "прогнозирования взаимодействий", а если соотношения (6.10) заменяются на

и (6.11)



где и  *-* допустимые диапазоны изменения связующих сигналов *U1* и *U2,* то принцип координации называется "оценкой взаимодействий".



Выбор того или иного способа координации производится на основе сопоставления результатов теоретических расчетов, моделирования и эвристических соображений. При исследовании ИСУ, имеющих более двух уровней, при переходе от уровня к уровню характер задач и их алгоритмизация меняется и сопровождается усложнением: все меньше автоматизма и все больше эвристики, учитывающей мотивационные аспекты управления.

Следующее уточнение касается выбора способа формализации связующих сигналов. Для этого рассмотрим *декомпозицию* отдельных подсистем двухуровневой ИСУ, представленной на рис.6.3. В соответствии с этой схемой, собственно управление процессом Р осуществляется подсистемами С1, *С2, ..., Сn ,* с помощью управляющих воздействий *m1, т2, ..., тn,* воздействующие на различные аспекты деятельности *Р.* Логично предположить необходимость декомпозиции процесса *Р* на некоторые взаимосвязанные подпроцессы *P1, Р2,…, Рn* (по числу аспектов) такой, что результат работы новой, декомпонированной системы будет обеспечивать достижения цели управления, а сущность механизма управления и координации станет более ясной и простой. Суть процесса декомпозиции представлена с помощью схем на рис.б.5. Все обозначения соответствуют представленным ранее.

По предположению, процесс *Р* подвергается декомпозиции по аспектам и может быть представлен совокупностью подпроцессов *P1, P2*..., *Рn.* При этом предполагается, что не только множество управлений *М,* но и множество входов *Х* и выходов *Y* декомпонируется так, что каждому из подпроцессов приписывается определенное входное воздействие ωi и выход *уi*, такие, что *.*



В результате мы получаем совокупность автономных подпроцессов (рис.6.5,б), которое отличается от *Р* тем, что подпроцессы не связаны между собой. Для того, чтобы получить совокупность взаимосвязанных подпроцессов (рис.6.5,в), предположим, что на вход каждого из *Pi* *(i=1,...,n)* поступает связующий сигнал *Ui (i=1,...,n),* обеспечивающий координированное, согласованное функционирование подпроцессов.



Выработка связующих сигналов между подпроцессами, с точки зрения сущности их деятельности, может производиться на основе:

известных управляющих воздействий и результатов, или на основе управляющих воздействий и ситуации, определенной входами из вне, или же на основе управления, ориентации на результат и учета ситуации вместе. Эти концептуальные соображения могут быть положены в основу определения функции взаимосвязи подпроцессов *F* в конкретном случае исследования реальной ИСУ.

Формальное описание процесса дается следующими соотношениями:

,(6.12)



,(6.13)



,(6.14)



,(6.15)



,(6.16)



,или *и=F(m,y),*(6.17)



,или (6.18)



.(6.19)



Декомпозиция управляющих подсистем осуществляется аналогично, однако полезно рассматривать процедуру координации во взаимосвязи с решаемыми в ИСУ задачами.

В общем случае в ИСУ решаются задачи трех типов: глобальная, стоящая перед всей системой, задача D; задача, решаемая координатором *С0 -* задача *D0* и задачи управления, решаемые нижестоящими подсистемами Сi, которые фигурируют в описании как задачи *D*i (i=1, 2*,..., п).* Отметим, что в общем случае задачи *D* и *D0* не совпадают. Можно предположить, например, что глобальная задача, конкретизируемая целями функционирования системы или внешними требованиями к ней со стороны внешней среды (канал *S* на рис.6.3), связана с выходом *Y,* т.е. предикат (6.20) является истинным, когда *D(S) -* глобальная задача, а *Y*- ее решение.

*P{Y, D(S)}.* (6.20)

И пусть *D0 -* задача вышестоящего элемента, состоящая в выработке координирующих воздействий *y*. Цель вышестоящего элемента как отражение его интересов может быть, например, связана уже не с функцией результата, а с функцией эффективности, и координирующие воздействия могут быть направлены на достижение цели, диссонирующей с требованиями внешней среды, что вызывает в таком случае необходимость координации, или согласования. Очевидно можно сформулировать:

*Р{у, D0(S,Ω)}.* (6.21)

И аналогично:

*Р{тi ,Di(yi, zi, ui)},* (6.22)

где *Di* - задача *i*-й управляющей подсистемы Сi, конкретизированная координирующим сигналом *уi*, сигналами от управляющего объекта *z*i и сигналами от подсистем этого же уровня *иi;*

*тi* - решение задачи *Di*, или управляющий сигнал.

Совместное рассмотрение всех трех типов задач дает возможность определить понятие координируемости в ИСУ.

Поскольку решение глобальной задачи связывается с функцией результата, который, в свою очередь, обеспечивается выбором управляющих воздействий из множества *М,* то решения локальных задач управления должны быть согласованы с решением глобальной задачи - координируемоть 1, или координируемоть первого рода. Иначе:

.(6.23)



Обеспечение совместного согласованного управления подсистемами одного уровня производится на основе координации с помощью сигналов у, вырабатываемых координатором *С0,* то есть решения задач управления должны быть координированы относительно задачи координатора - координируемоть 2:

.(6.24)



В свою очередь, задача координатора должна быть скоординирована относительно глобальной задачи - координируемоть 3:

.(6.25)



Тогда понятие *координируемости* ИСУ предполагает совместимость всех задач, или существование в допустимых множествах *Г* и *М* таких элементов

и *,* что:



.(6.26)



Условие *полной координированности* ИСУ выражает предложение:

,(6.27)



которое называется *постулатом совместимости* задач в ИСУ.

Основной причиной возникновения конфликтов в ИСУ является нескоординированность во взаимодействии подсистем. Задача координатора - установление таких правил взаимодействия, которые приводят к желаемому результату: выполнению глобальной задачи с максимальной выгодой для подсистем различного уровня, и в этом отношении имеет смысл говорить о проблеме оптимизации в ИСУ. Принципы координации позволяют постулировать условия взаимодействия подсистем и опосредовано оказывают влияние на эффективность функционирования ИСУ. Критерием применимости конкретного принципа координации служит постулат совместимости.

Таким образом, *задачи синтеза ИСУ,* которые ставятся в процессе проектирования таких систем, могут касаться различных аспектов проблемы:

1. *Синтез координатора.* Даны глобальная задача и задачи управления, решаемые подсистемами нижнего уровня. Необходимо найти такую задачу *D0,* решаемую на уровне координирующего элемента *С0*, чтобы система была координируема.

2. *Синтез задач управления.* Известна глобальная задача, и координатор делегирует полномочия по управлению процессом подсистемам нижнего уровня, состав задач которых, структуру и характер взаимодействия определяет координатор так, чтобы выполнялся постулат совместимости задач.

3. *Синтез заданного комплекса.* В соответствии с глобальной задачей формулируются задачи *D0* и *D*i *(i=1,2,...,n),* решение которых должно удовлетворять постулату совместимости.

4. *Синтез структуры ИСУ.* В соответствии с известным задачным комплексом определяется необходимое число уровней иерархии и количество элементов каждого уровня.

5. *Синтез методов, или процедур координации.* Двухуровневая ИСУ определена, задачи в ней координируемы. Необходимо найти эффективный метод получения координирующих сигналов, которые позволяли бы перейти от частичной к полной координированности задач.

6. *Синтез процедур управления.* Аналогично пункту 5 определяется модификация задач управления, решаемых на нижнем уровне управления, такая, чтобы эти модифицированные задачи удовлетворяли постулату совместимости.

7. *Синтез производственной системы.* Осуществляется проектирование объекта, отвечающего потребностям внешней среды.

Предпосылки формализации задачи синтеза в той или иной модификации будут приведены в последнем разделе настоящей работы.

### Методы декомпозиционного анализа

Разработанные до настоящего времени методы декомпозиции ориентированы в основном на детерминированные задачи и применяют дизъюнктивную декомпозицию по деятельности и единицам. При том исходные задачи выбираются аддитивно сепарабельными по деятельностям. Для координации в основном применяют стимулирование с помощью цен результата или лимитирование при помощи лимитирования результатов.

*Замечание.* У математической функции различают три уровня

сепарабельности, которые в понижающемся порядке таковы:

1) аддитивно сепарабельная функция *:*;



2) мультипликационно сепарабельная функция:;



3) несепарабельная функция: .



При этом логарифм мультипликативно сепарабельной функции аддитивно сепарабелен: *.* Таким образом, сепарабельность можно формально повысить за счет усложнения функции.



Декомпозиция по деятельностям и единицам и координация с помощью цен результата в терминах классической математики (дифференциального исчисления) эпизодически разрабатывались еще в начале текущего столетия (А. Маршалл, А. Пигу). Но только те методы декомпозиции, которые базируются на двойственной теории оптимизации, дают принципам координации с помощью цен (классическая доктрина равновесных цен) математически последовательное объяснение и алгоритмы для вычисления этих цен. Математическая основа существует еще с ХVIII века в виде метода неопределенных множителей Ж. Лагранжа. В трудах Л.В. Канторовича по линейному программированию (1939г.) аналогами неопределенных множителей Лагранжа служат разрешающие множители, или объективно обусловленные оценки.

Математическое содержание метода стимулирования с помощью цен результата состоит в следующем. От задачи с глобальными ограничительными условиями между единицами переходят к эквивалентной функции Лагранжа, в которой неопределенный множитель имеет 1 содержание цены. Далее для анализа функции Лагранжа используются понятия седловой точки или двойственной функции.

Экономическое толкование этого класса методов представляет собой классическую теорию конкурентных равновесных цен. Задача координирующего центра (рынка) состоит в том, чтобы корректировать цены по соотношению между предложением и спросом единиц, Поскольку балансовое соответствие предложения и спроса определяется градиентом целевой функции центра, то корректировка цен в основном происходит на этой основе.

Применимость этого класса методов ограничивается тем, что исходная задача должна быть аддитивно сепарабельна и иметь строгую вогнутость; другими словами, частные планирующие задачи здесь на каждом шаге должны иметь единственные решения. Последнее утверждение не распространяется на методы с нелинейными ценами. Метод Данцига - Вульфа обходит это препятствие с помощью того, что на последнем шаге координирующая задача вместо стимулирования применяет лимитирование деятельности в самой строгой форме (диктат).

Другой, больший класс методов, который применяется при декомпозиции по деятельностям и единицам с помощью лимитирования результатов, начал развиваться несколько позже. Идея исходит от Я. Корнай и Т. Липтака (1961г.). Позднее ее разработал В.А. Волконский (1973г.), развили К.А. Багриновский (1968г.), Дж. Сильверман (1972г.) и другие.

Математическая идея лимитирования состоит в том, что ограничения исходной задачи распределяются по деятельности или по единицам, которые в этих пределах определяют локальные оптимумы. Координация используется для нахождения распределения ограничений, позволяющего достигнуть глобального оптимума. Индикативной информацией могут здесь служить двойственные решения частных задач планирования. Об экономическом содержании изложенного метода следует сказать, что решения двойственных задач описывают предельные эффективности выделенных ресурсов и обязательств. На этой основе ресурсы и обязательства перераспределяются до тех пор, пока эффективности не станут одинаковыми.

Метод может использоваться как при линейных, так и при нелинейных аддитивно сепарабельных задачах. Преимущество этого метода в том, что в ходе решения приближенные планы являются допустимыми. Его недостаток - это сложность координации, связанная с трудностями обеспечения непротиворечивости частных задач.

Некоторые комбинированные классы методов представляются также экономически эффективными.

Дизъюнктивная композиция по времени и координация с помощью цен результата может рассматриваться как самостоятельный класс математических методов, в котором вместо функции Лагранжа применяется функция Гамильтона, т.е. это подход является версией принципа максимума Понтрятина. Разработки этого подхода были опубликованы В.Е. Дементьевым.

Первая работа о конъюнктивной декомпозиции по результатам (ограничениям) и координации с помощью штрафов деятельности была опубликована в 1966 г. Дж. Лионсом и Р. Темамом, и далее этот подход был развит Ж. Сеа. Данный класс методов называется методом совмещения планов. По основной идее этих методов вся система частных задач состоит из планирующих задач. В каждой частной задаче в ходе итерации определяется весь план исходной задачи с учетом:

целевой функции исходной задачи,

части ограничений исходной задачи,

значений плана остальных задач на предыдущем шаге (с целью уменьшения различия между локальными планами). Метод работает для широкого класса задач, в том числе несепарабельных.

Дизъюнктивную декомпозицию по деятельности и единицам и комбинированную координацию, как уже указывалось, впервые применили Дж. Данциг и П. Вульф в 1960 г. Их идея такова: в ходе решения координация происходит с помощью цен результата, и на последнем шаге итерации применяется диктование.

А. Чарнесом, Р. Кловером и К. Кортанеком был рассмотрен подход комбинирования цен результата и лимитов результата. Позднее этот подход исследовал Ю. Эннусте. Ф. Мартинес-Солер изучал применение пены деятельности и лимита результата, а Б.Т. Поляк и Н.В. Третьяков предложили сочетание цены результата и штрафа за результат. Принцип цены результата и штрафа за деятельность был использован Л.М. Дудкиным. Следует отметить, что по сравнению с уникоординацией при комбинированных методах координации существенно растет объем последней, но полученные результаты позволяют предполагать, что основанные на этом методы являются более общими и лучше сходятся. С точки зрения экономической науки вариант комбинации цен результата и лимитов результата кажется наиболее содержательным, так как сочетает гибкость координации посредством цен и стабильность, достигаемую лимитированием.

Параллельное применение стимулирования и лимитирования в экономических системах очень распространено, причем лимитирование не только обеспечивает большую стабильность, но и позволяет также корректировать недостатки стимулирования. Таким образом, дальнейшее развитие этого метода представляет большой интерес: он может стать как методом решения, так и средством моделирования и анализа функционирования экономических процессов.

В области разработки методов декомпозиции стохастических за дач существуют лишь некоторые частные подходы (Д.Б. Юдин, Ю. Эннусте). Однако эти задачи представляют особый интерес для экономических исследований, так как экономические задачи являются по существу стохастическими, и анализ процессов координации представляется здесь особенно плодотворным. Общие трактовки в этом направлении предлагаются теорией экономического равновесия в условиях неопределенности. Однако работы по экономическому равновесию не содержат идеи иерархической координации.

В области синтеза систем на основе методов декомпозиции развивается преимущественно формализованная теория механизма управления экономикой. В качестве математического аппарата в основном используется теорема X. Куна и А. Таккера о седловой точке, а также связи последней с задачами на оптимум. Это же направление продолжали работы О. Ланге, М. Месаровича, Я. Корнай, Н.П. Федоренко, А.Г. Аганбегяна, К.А. Багриновского, А.Г. Гранберга, В.И. Данилова-Данильяна, М.Г. Завельского и других.

Указанные авторы в своих исследованиях старались исходить из возможно более общих экономических условий и описывать строгие модели экономических систем на базе декомпозиционных методов. Но зачастую для строгости им приходилось жертвовать общностью трактовки, а поэтому и адекватностью с реальными системами управления.

Подведем некоторые итоги сказанному в этом разделе.

Кибернетика - наука о законах структурной организации и функционирования систем управления любой материальной природы и степени сложности, имеющая своей целью анализ, синтез и оптимизацию таких систем. Законы кибернетики объективны и специфичны, они не являются предметом исследования никакой другой науки.

Основными понятиями кибернетики являются: система, модель, информация, управление.

Кибернетике присущ системный подход, основывающийся на принципе целостности объекта исследования и обеспечивающий рассмотрение этого объекта во всей его сложности и разнообразии свойств и связей.

При всем разнообразии возможных подходов к определению понятия "система" для целей экономической кибернетики важными являются системно-ориентированное, структурно-функциональное и Динамическое представление о сложной системе.

Экономическая кибернетика - самостоятельное научное направление, исследующее экономику и ее звенья как сложные динамические системы управления.

Объект экономической кибернетики - экономические системы. Предмет исследования экономической кибернетики - процессы и закономерности структурной организации и функционирования экономических систем, а также механизмы управления экономическими процессами.

Специфическим методом кибернетики, экономической кибернетики является моделирование.

Модель - представление объекта исследования в некоторой форме, отличной от формы его реального существования.

Важным свойством отношения "оригинал-модель" является отношение гомоморфизма.

Математические модели экономических систем используются для формализации целей функционирования и развития таких систем, а также ограничений, диктуемых действующими экономическими условиями.

Экономико-математическая модель - это совокупность математических выражений, описывающих экономические объекты и процессы и применяемых для получения необходимой в целях управления информации.

Существенным признаком, обеспечивающим целостное представление о сложной экономической системе, является наличие в ней управления.

Управление есть целенаправленное воздействие одной системы на другую, имеющее целью изменить ее поведение в соответствии с изменяющимися условиями внешней среды.

Введение понятия управления предоставляет возможность математически строго определить такие важные для целей экономической кибернетики понятия, как: система управления, управляемость системы, качество управления, задача управления, закон управления и оптимальное управление.

Важный класс систем управления составляют иерархические системы, имеющие многоуровневую структуру.

Соединения элементов в системах управления осуществляются посредством прямых и обратных связей, наличие которых определяют важные свойства систем управления.

В разомкнутых и замкнутых системах управления реализуются принципиально различные виды управления: жесткое управление, регулирование, адаптивное управление.

Важным свойством, которым обладают системы управления с высоким многообразием, является свойство самоорганизации. Адаптация, обучение, самоорганизация так же, как и эволюция, - это стохастические процессы, которые обуславливаются и обеспечиваются наличием в системе управления специальных обратных связей.

Методологической основой исследования систем и процессов управления любой природы является комплекс принципов управления: целостность, системный подход, необходимое разнообразие, внешнее дополнение и другие.

Неотъемлемым атрибутом любого процесса управления является информация.

Информация - это мера неоднородности распределения материи и энергии в пространстве и во времени.

Иначе, информация есть отображение разнообразия среды или объекта. Полезность экономической информации определяется информативностью данных.

Экономическая кибернетика исследует процессы управления сложными экономическими системами, используя метод экономико-математического моделирования, причем процессы управления являются по сути информационными, базирующимися на экономической информации.

Экономическая система (экономика) - это сложная целенаправленная управляемая динамическая система, осуществляющая производство, распределение и потребление материальных благ с целью удовлетворения потребностей общества. Основными детерминантами экономической системы выступают, таким образом, общество, природа, пространство и время.

Экономике присущи все свойства сложной динамической системы, а ее исследование требует системного подхода к решению задач анализа, синтеза и оптимизации управления.

Системный подход к решению любой экономической проблемы предполагает последовательность этапов: идентификация проблемы, внутренний анализ проблемы, внешний анализ проблемы, идентификация системы, синтез модели, анализ модели, оптимизация системы с помощью модели.

Задачи анализа и синтеза в процессе исследования экономической системы взаимосвязаны и образуют единый комплекс. Ввиду сложности экономической системы они базируются на системе принципов декомпозиции экономической системы и координации процессов управления в ней, эта система принципов составляет сущность методов декомпозиции.

Более подробно существо процессов анализа и синтеза экономических систем будет рассмотрено в последующих разделах учебника.