

В.И. МУХИН

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

**АНАЛИЗ И СИНТЕЗ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ**

УЧЕБНИК

*Рекомендовано Министерством общего
и профессионального образования Российской Федерации
в качестве учебника для студентов
высших учебных заведений,
обучающихся по специальности «Менеджмент»*

**Издательство
«ЭКЗАМЕН»**

**МОСКВА
2003**

УДК 65.0
ББК 65.290-2
М 92

Мухин В.И

М 92 Исследование систем управления: Учебник для вузов /
В.И. Мухин — М.: Издательство «Экзамен», 2003.—
384 с.

ISBN 5-8212-0298-1
ISBN 5-94692-448-6

В учебнике рассматриваются концептуальные и методологические основы исследования систем управления. Описаны особенности анализа и синтеза различных видов систем управления. Проведен системный анализ и синтез проблемы. Рассмотрены методы исследования систем управления.

Учебник предназначен для студентов ВУЗов по специальности менеджмент, аспирантов и преподавателей. Он может представлять интерес для научных работников и практикующих менеджеров.

ISBN 5-8212-0298-1
ISBN 5-94692-448-6

УДК 65.0
ББК 65.290-2

© Мухин В.И., 2003
© Издательство «ЭКЗАМЕН», 2003

ПРЕДИСЛОВИЕ

«Исследование систем управления» входит в состав дисциплин обязательного профессионального обучения будущих специалистов в области менеджмент. Дисциплина «Исследование систем управления» имеет целью развитие навыков исследовательской работы будущих специалистов в области менеджмента. Его необходимость определяется квалификационной характеристикой специалиста, в которой предусмотрена готовность к практической деятельности, владению навыками исследования систем управления.

Идеология специальности предлагает воспитание и развитие творческих подходов к работе, осуществление научного подхода к управлению во всех его проявлениях. Перечень специализаций по специальности «Менеджмент» включает более 50 наименований и охватывает все сферы экономической, финансовой, промышленной, сельскохозяйственной, здравоохранения, отдыха, транспорта, безопасности и других видов управленческой деятельности.

Широкий охват видов управленческой деятельности менеджера предусматривает знания общей методологии и особенностей анализа и синтеза технических, человеко-машинных и организационных систем управления. Как показывает анализ различных учебных программ по этой дисциплине, предлагаемых вузами, в большинстве из них исследования систем управления рассматривается применительно к определенной сфере деятельности или дублирует разделы таких дисциплин как «Теория организации», «Теория управления», «Управленческие решения», «Менеджмент».

Предлагаемый учебник является одной из попыток изложения вопросов исследования систем управления с позиций системного подхода. Логика построения учебника предполагает первоначальное рассмотрение концептуальных, методологических основ систем управления, анализа и синтеза технических, человеко-машинных и организационных систем управления, а также представления системы как проблемы. Далее рассматриваются эвристические, формализованные и математические методы исследования систем управления.

Учебник состоит из пяти глав. В первой главе излагаются общесистемные понятия: понятие система, элемент, отношения и связи системы, входы и выходы, состояние, движения системы, классификация систем. Далее рассматривается понятие управления системой, процессы, закон и критерии эффективности управления системой.

Вторая глава посвящена изложению методологических основ исследования систем управления. Раскрывается сущность системного подхода как общеметодического принципа исследования систем управления. Дается классификация задач анализа и синтеза систем управления. Рассматриваются принципы анализа и синтеза систем управления. Определяются виды анализа и синтеза систем управления. Устанавливаются уровни исследования и структура показателей систем управления.

В третьей главе описываются особенности анализа и синтеза различных видов систем управления. Рассматриваются особенности и специфика анализа и синтеза технических, эргатических (человеко-машинных) и организационных систем управления. Даются основы синтеза облика перспективной технической системы управления, а также процесса нововведений при создании эргатических систем управления. Раскрывается методология анализа и синтеза организационных систем управления.

Четвертая глава посвящена системному анализу и синтезу проблемы. Раскрывается представление проблемы как системы. Дается системный анализ и синтез проблемы.

В пятой главе дается кратный обзор наиболее употребимых методов решения проблем при исследовании систем управления. Раскрывается сущность методов, область и особенности их применения, а также даются ссылки на литературу, которая поможет практически использовать тот или иной метод.

Специалистам в области менеджмента, в силу специфики их деятельности, необходимо быть ознакомленным со всеми возможными методами поиска новых форм организации управления.

ГЛАВА 1.

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Цель главы — раскрыть сущность и содержание основных понятий и дать классификацию систем.

ПОСЛЕ ИЗУЧЕНИЯ ГЛАВЫ ВЫ ДОЛЖНЫ БЫТЬ В СОСТОЯНИИ:

- Дать определение основным понятиям системы;
- Описать характеристики процессов системы;
- Раскрыть сущность процесса управления системой;
- Сформулировать закон управления системой;
- Определить критерии управления системой и способы их задания;
- Выделить классы систем по различным классификационным признакам.

1.1. ПОНЯТИЯ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ СТРУКТУРУ СИСТЕМЫ

Существует множество понятий системы. Рассмотрим понятия, которые наиболее полно раскрывают ее существенные свойства (рис. 1.1).

«Все, состоящее из связанных друг с другом частей, мы будем называть системой» [7].

«Система — это комплекс взаимодействующих компонентов» [5].

«Система — это множество связанных действующих элементов» [22].

«Система — это множество взаимосвязанных элементов... не существует ни одного подмножества элементов, не связанного с другим подмножеством» [2].

«Система — это не просто совокупность единиц... а совокупность отношений между этими единицами» [30].

«И хотя понятие системы определяется по-разному, обычно все-таки имеется в виду, что система представляет собой определенное множество взаимосвязанных элементов, образующих устойчивое единство и целостность, обладающее интегральными свойствами и закономерностями» [19].

«Мы можем определить систему как нечто целое, абстрактное или реальное, состоящее из взаимозависимых частей» [38].

«Более полно и содержательное общее определение описывает систему как набор объектов, имеющих данные свойства, и набор связей между объектами и их свойствами» [28].

Приведем определение академика П. К. Анохина, которое хотя и тяготеет по своему существу к приведенным нами оп-

ределениям, но явно отличается от них, да и от всех, пожалуй, имеющейся в известной нам литературе [3]: «Системой можно назвать только такой комплекс избирательно-вовлеченных компонентов, у которых взаимодействие и взаимоотношение приобретает характер взаимосодействия компонентов на получение фокусированного полезного результата».

Рассмотрим некоторые характерные моменты этого определения:

1. «...только такой комплекс избирательно-вовлеченных компонентов...» Это значит, что, во-первых, не все компоненты объекта могут стать элементами системы, и, во-вторых, существует некоторая причина такой избирательности.

2. «...у которых взаимодействие и взаимоотношения приобретают характер взаимосодействия компонентов...»

Анохин П.К. утверждает, что не вообще «совокупность взаимодействующих компонентов», а совокупность взаимодействующих для чего-то конкретного и определенного важно в определении системы.

3. «...на получение фокусированного результата».

Анохиным П.К. вводится в определение понятие системы «системообразующего фактора». Причины образования системы являются узловым в системной теории.

Само вовлечение компонентов или выбор из имеющегося множества происходит до и в процессе формирования цели и происходит это на основе исходной потребности. Потребность есть причинный системообразующий фактор, а цель — функциональный фактор.

«Итак, системой может являться любой объект живой и неживой природы, общества, процессы или совокупность процессов, научная теория и т. д., если в них определены элементы, образующие единство (целостность) со своими связями и взаимосвязями между ними, что создает в итоге совокупность свойств, присущих только данной системе и отличающих ее от других систем (свойство эмерджентности)» [21].

Мы будем использовать понятие системы, которое учитывает такие важные составляющие любого материального объекта, как элемент, связи, взаимодействия, целеполагание.

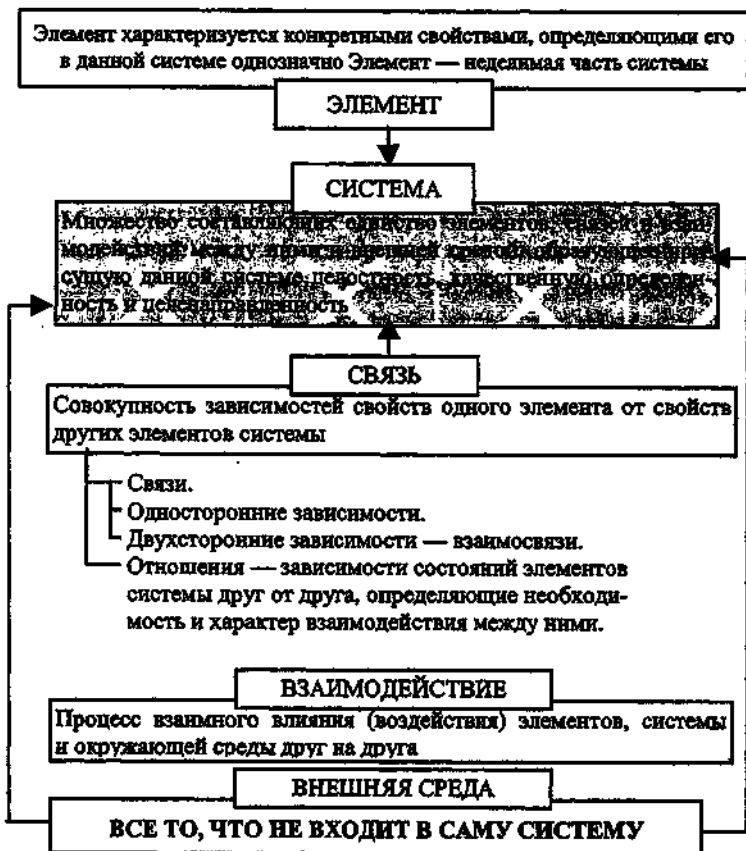


Рис. 1.1. Понятие системы

Система — множество составляющих единство элементов, связей и взаимодействий между ними и внешней средой, образующие присущую данной системе целостность, качественную определенность и целенаправленность.

ПОНЯТИЕ ЭЛЕМЕНТА СИСТЕМЫ

По определению элемент — это составная часть сложного целого. В нашем понятии сложное целое — это система, которая представляет собой целостный комплекс взаимосвязанных элементов.

Элемент — неделимая часть системы. Элемент — часть системы, обладающая самостоятельностью по отношению ко всей системе и неделимая при данном способе выделения частей. Неделимость элемента рассматривается как нецелесообразность учета в пределах модели данной системы его внутреннего строения.

Сам элемент характеризуется только его внешними проявлениями в виде связей и взаимосвязей с остальными элементами и внешней средой.

Множество A элементов системы можно описать в виде [21]:

$$A = \{\alpha_i\}, i = 1, \dots, n, \quad (1.1)$$

где α_i — i -й элемент системы;

n — число элементов в системе.

Каждый α_i элемент характеризуется m конкретными свойствами $Z_{i1}, \dots, Z_{im}$ (вес, температура и т.д.), которые определяют его в данной системе однозначно.

Совокупность всех m свойств элемента α_i будем называть состоянием элемента Z_i :

$$Z_i = (Z_{i1}, Z_{i2}, Z_{i3}, \dots, Z_{ik}, \dots, Z_{im}) \quad (1.2)$$

Состояние элемента, в зависимости от различных факторов (времени, пространства, внешней среды и т.д.), может изменяться.

Последовательные изменения состояния элемента будем называть движением элемента.

ПОНЯТИЕ СВЯЗИ

Связь — совокупность зависимостей свойств одного элемента от свойств других элементов системы. Установить связь между двумя элементами — это значит выявить наличие зависимостей их свойств [21].

Множество Q связей между элементами α_i и α_j можно представить в виде [21]:

$$Q = \{q_{ij}\}, i, j = 1 \dots n. \quad (1.3)$$

Зависимость свойств элементов может иметь односторонний и двусторонний характер.

Взаимосвязи — совокупность двухсторонних зависимостей свойств одного элемента от свойств других элементов системы.

Взаимодействие — совокупность взаимосвязей и взаимоотношений между свойствами элементов, когда они приобретают характер взаимодействия друг другу.

ПОНЯТИЕ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ

Структура системы — совокупность элементов системы и связей между ними в виде множества [21].

$$D = \{A, Q\}. \quad (1.4)$$

Структура является статической моделью системы и характеризует только строение системы и не учитывает множества свойств (состояний) ее элементов.

ПОНЯТИЕ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ

Система существует среди других материальных объектов, которые не вошли в систему и которые объединяются понятием «внешняя среда» — объекты внешней среды.

Вход характеризует воздействие внешней среды на систему, выход — воздействие системы на внешнюю среду.

По сути дела, очерчивание или выявление системы есть разделение некоторой области материального мира на две части, одна из которых рассматривается как система — объект анализа (синтеза), а другая — как внешняя среда.

Внешняя среда — набор существующих в пространстве и во времени объектов (систем), которые, как предполагается, оказывают действие на систему.

Внешняя среда — это совокупность естественных и искусственных систем, для которых данная система не является функциональной подсистемой.

1.2. ПОНЯТИЯ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ПРОЦЕСС ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ

СОСТОЯНИЕ СИСТЕМЫ

Состояние системы — совокупность состояний ее n элементов и связей между ними (двухсторонних связей не может быть более чем $n(n - 1)$ в системе с n элементами). Если связи в системе неизменны, то ее состояние можно представить в виде [21]:

$$Z = (Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_k, \dots, Z_n) \quad (1.5)$$

Задание конкретной системы сводится к заданию ее состояний, начиная с зарождения и кончая гибелью или переходом в другую систему.

Реальная система не может находиться в любом состоянии. На ее состояние накладывают ограничения — некоторые внутренние и внешние факторы (например, человек не может жить 1000 лет) [21].

Возможные состояния реальной системы образуют в пространстве состояний системы некоторую подобласть $Z_{сд}$ (подпространство) — множество допустимых состояний системы [21].

ВХОДЫ И ВЫХОДЫ СИСТЕМЫ

Входы системы — различные точки приложения влияния (воздействия) внешней среды на систему называются входами x_i системы [21].

Входами системы являются информация, вещество, энергия, которые подлежат преобразованию.

Входные воздействия, изменяющиеся с течением времени, образуют *входной процесс*. Входной процесс можно задать, если каждому моменту времени поставить в соответствие, по определенному правилу, входное воздействие.

Обобщенным входом X называют некоторое (любое) состояние всех r входов системы, которое можно представить в виде вектора [21]:

$$X = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_k, \dots, x_r).$$

Выходы системы — различные точки приложения влияния (воздействия) системы на внешнюю среду называются выходами y_j системы [21].

Выход системы — это результат преобразования информации, вещества и энергии.

Выходные величины изменяются с течением времени, образуя *выходной процесс*.

Обратная связь — то, что соединяет выход со входом системы и используется для контроля за изменением выхода (рис. 1.2).

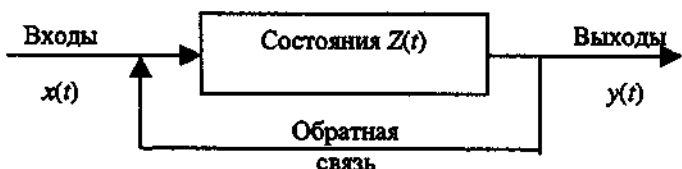


Рис. 1.2. Элементы системы управления.

Ограничения системы — то, что определяет условия реализации процесса (процесс — последовательность операций по преобразованию чего-либо, т.е. то, что преобразует вход и выход).

Ограничения бывают внутренними и внешними. Одним из внешних ограничений является цель функционирования системы. Примером внутренних ограничений могут быть ресурсы, обеспечивающие реализацию того или иного процесса.

ДВИЖЕНИЕ (ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ) СИСТЕМЫ

Движение системы — процесс последовательного изменения состояния системы [21].

Вынужденное движение — движение системы под влиянием внешней среды, которое приводит к изменению ее состояния. Вынужденное движение (пример) — перемещение ресурсов под действием приказа (поступившего в систему извне).

Собственное движение — движение системы без воздействия внешней среды (только под действием внутренних причин). Собственным движением человека будет его жизнь как биологического (а не общественного) индивида, т.е. питание, сон, размножение [21].

Рассмотрим зависимости состояний системы от функций (состояний) входов, переходов, выходов системы.

Состояние системы $Z(t)$ в любой момент времени t зависит от функции ее входов (состояния входов) $X(t)$ [21]:

$$Z(t) = F_c[X(t)].$$

Состояние системы $Z(t)$ в любой момент времени t также зависит от предшествующих ее состояний в моменты $Z(t-1)$, $Z(t-2)$, ... т.е. от функций состояний (переходов):

$$Z(t) = F_c[X(t), Z(t-1), Z(t-2), \dots], \quad (1.6)$$

где F_C — функция состояния (переходов) системы.

Связь между функцией входа $X(t)$ и функцией выход $Y(t)$ системы, без учета предыдущих состояний, можно представить в виде:

$$Y(t) = F_B[X(t)],$$

где F_B — функция выходов системы.

Система с такой функцией выходов называется *статической* [21].

Если же система зависит не только от функций (состояний) входов $X(t)$, но и от функций состояний (переходов) $Z(t-1)$, $Z(t-2)$..., то

$$Y(t) = F_B[X(t), Z(t), Z(t-1), Z(t-2) \dots]. \quad (1.7)$$

Системы с такой функцией выходов называются *динамическими* (или системами с поведением) [21].

В зависимости от характера математических свойств функций входов и выходов систем различают системы дискретные и непрерывные.

Для непрерывных систем выражения (1.6) и (1.7) запишутся в виде [21]:

$$\frac{dZ(t)}{dt} = F_C[X(t), Z(t)]; \quad (1.8)$$

$$Y(t) = F_B[X(t), Z(t)], \quad (1.9)$$

Уравнение (1.8) определяет состояние системы и называется *уравнением переменных состояний* системы.

Уравнение (1.9) определяет наблюдаемый нами выход системы и называют *уравнением наблюдений*.

Функции F_C (функция состояний (переходов) системы) и F_B (функция выходов) учитывают не только текущее состояние $Z(t)$, но и предыдущие состояния $Z(t-1)$, $Z(t-2)$, ..., $Z(t-\nu)$ входов системы.

Предыдущие состояния являются параметром «памяти» системы. Следовательно, величина ν является объемом (глубиной) памяти системы. Иногда ее называют глубиной ν интеллекта памяти [21].

1.3. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕССОВ СИСТЕМЫ

ПОНЯТИЕ ПРОЦЕССОВ СИСТЕМЫ

Процесс — совокупность последовательных изменений состояния системы для достижения цели.

Входной процесс — множество входных воздействий, которые изменяются с течением времени.

Входной процесс можно задать, если каждому моменту времени t поставить в соответствие по определенному правилу ω входные воздействия $x \in X$. Моменты времени t определены на множестве T , $t \in T$. В результате этот входной процесс будет представлять собой функцию времени $\omega: T \rightarrow X[x]$.

Функции входных процессов — задание, по определенному правилу, в определенные моменты времени, управляющих воздействий.

Выходной процесс — множество выходных воздействий на окружающую среду, которые изменяются с течением времени.

Воздействие системы на окружающую среду определяется выходными величинами (реакциями). Выходные величины изменяются с течением времени, образуя выходной процесс, представляющий функцию $\gamma: T \rightarrow Y[X]$.

Функции выходных процессов — задание, по определенному правилу, в определенные моменты времени, выходных величин (реакций) системы.

Множество допустимых функций, характеризующих выходной процесс, обозначим $\Gamma = \{y, T \rightarrow Y\}$. Для обозначения

мгновенных значений выходных величин в моменты t можно использовать обозначения $y(t) [x]$.

Изменение состояния происходит с течением времени образуя движение системы, которое можно задать, если каждому моменту времени $t \in T$ по определенному правилу φ поставить в соответствие состояние $z \in Z$, т.е. движение системы будет представлять собой функцию $\varphi: T \rightarrow Z$. Множество допустимых движений системы определяется на интервале T : $\Phi = \{\varphi: T \rightarrow Z\}$. Множество допустимых начальных движений определяется $\Phi_0 = \{\varphi_0: T \times T \times \Theta \rightarrow Z\}$, где $\Theta = \{v\}$ множество возможных величин отрезков v . Величина v зависит от памяти системы и может изменяться от t_0 до 0 $[x]$.

Множество допустимых входных процессов, определяемых различными функциями на интервале $[t_0, t]$, описывается [40]:

$$\Omega_{(t_0, t)} = \{\omega_{(t_0, t)}: T \rightarrow X\} \subset \Omega$$

Следовательно, состояние $Z(t)$ системы в момент времени t будет зависеть от начального момента $t_0 \in T$, текущего времени $t \in T$, начального движения $\varphi_0 \in \Phi_0$ на отрезке $[t - v, t_0]$ и входного процесса $\omega_{(t_0, t)} \in \Omega_{(t_0, t)}$ на интервале $(t_0, t]$. Таким образом, состояние $Z(t)$ может быть определено с помощью переходной функции состояния [40]:

$$\psi: T \times T \times \Phi_0 \times \Omega_{(t_0, t)} \rightarrow Z$$

Графически переходная функция представлена на рис. 1.3 [40].

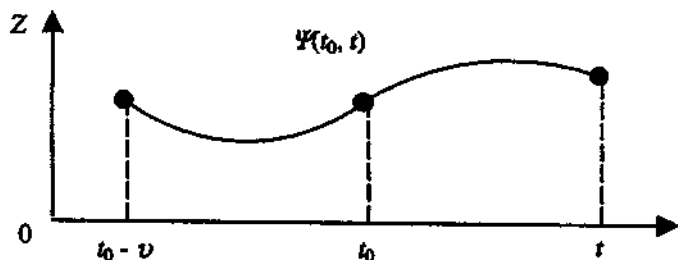


Рис. 1.3. Переходная функция.

На рис. 1.3 отрезок движения системы φ на промежутке $[t_0 - \nu, t]$ будет представлять собой сочленение двух отрезков: φ_0 — начального движения на промежутке $[t_0 - \nu, t_0]$ и $\Psi_{(t_0, t]}$ — отрезка переходной функции на интервале $(t_0, t]$.

Переходная функция состояния должна удовлетворять следующим требованиям [40].

Во-первых, поскольку знание начального движения системы φ_0 на отрезке $[t_0 - \nu, t_0]$ и отрезка входного процесса $\omega(t_0, t]$ на интервале $(t_0, t]$ является необходимым и достаточным условием, позволяющим определить состояние системы $Z(t)$ в момент времени t , то соотношение

$$Z(t) = \Psi(t, t_0, \varphi_0, \omega_{(t_0, t]})$$

должно быть определено во всех $t \geq t_0 - \nu$.

Во-вторых, переходная функция состояния должна быть согласована с начальным движением и начальным состоянием:

$$Z(t) = \Psi(t, t_0, \omega_{(t_0, t]}) = \varphi_0(t, t_0, \nu) \text{ при } t \leq t_0;$$

$$Z(t_0) = \Psi(t_0, t_0, \varphi_0, \omega_{(t_0, t]}) = \varphi_0(t_0, t_0, \nu) \text{ при } t \leq t_0;$$

для всех $t \in T$, $z \in Z$, $\omega \in \Omega$. Эти условия устанавливают также независимость начального движения φ_0 и начального состояния $Z(t_0)$ от значений входного процесса, поскольку $\omega_{(t_0, t]} = 0$ при $t \leq t_0$.

В-третьих, один и тот же входной процесс ω определяет состояние системы на конце интервала времени $(t_0, t]$ независимо от того, действовал ли он последовательно, сначала на интервале $(t_0, t']$, а затем на интервале $(t', t]$ или на всем интервале $(t_0, t]$.

Переходная функция состояния описывает переходный процесс системы.

Переходный процесс системы (процесс системы) — множество преобразований начального состояния и входных воздействий в выходные величины, которые изменяются с течением времени по определенным правилам.

ФОРМЫ ВХОДНЫХ И ВЫХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

Функцией входа является возбуждение той силы, которая обеспечивает систему энергией, материалом, информацией, поступающей в процесс.

В зависимости от связей входные процессы могут принимать одну или более из следующих форм [28]:

- 1) результат предшествующего процесса, последовательно связанный с данным процессом;
- 2) результат предшествующего процесса, беспорядочно связанный с данным процессом;
- 3) результат процесса данной системы, который вновь вводится в нее.

Пример первой формы входных процессов показан на рис. 1.4.

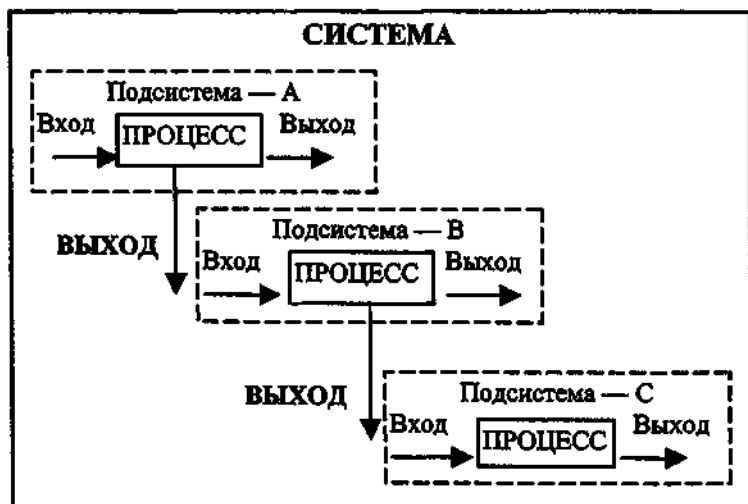


Рис. 1.4.

В процессах В и С выходной процесс предыдущей подсистемы вводится без изменений как входной процесс в следующий процесс системы. Процесс А в этом примере является более ранней по времени подсистемой, но не обязательно более простой или более сложной.

Подсистемы А, В и С объединяются в полную систему.

Если несколько подсистем объединены для формирования конечного выхода, частные процессы А, В, С и т. д. связаны, как показано на рис. 1.5.

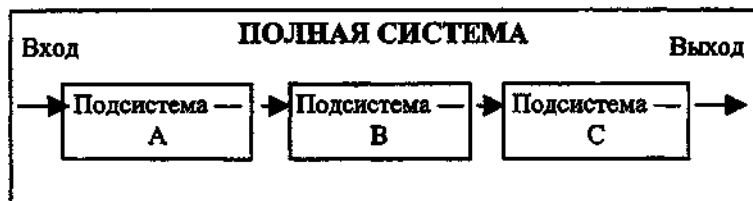


Рис. 1.5.

Полная система состоит из всех подсистем, свойств и связей, необходимых для достижения данной цели при данных принуждающих связях. Цель полной системы определяет назначение, для достижения которого организуются все ее подсистемы, свойства и связи. Принуждающие связи системы являются ограничениями, накладываемыми на ее действия. Принуждающие связи определяют границу полной системы и дают возможность точно установить условие, при котором она должна действовать. Понятие полной системы можно иллюстрировать примером системы управляемого снаряда, которая будет включать:

- 1) подсистему снаряд;
- 2) подсистему наземного оборудования;
- 3) подсистему обслуживающий персонал наземное оборудование;
- 4) подсистему командование;
- 5) подсистему цели.

Каждая такая подсистема, в свою очередь, состоит из нескольких входящих в нее подсистем. Например, в снаряд входят следующие подсистемы:

- 1) корпус;
- 2) двигатель;
- 3) система управления полетом снаряда и т. д.

Другой пример полной системы — организация маркетинговой службы предприятия (маркетинг — директор) включает подсистемы:

- 1) рыночные исследования;
- 2) планирование производства и маркетинга;
- 3) управление сбытом;
- 4) управление сервисом.

Вторая форма входного процесса была названа беспорядочной. Эта форма входного процесса показана на рис. 1.6.

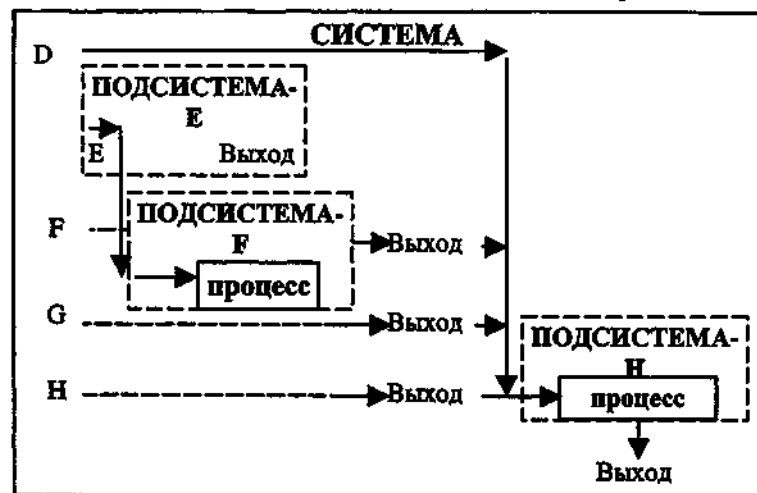


Рис. 1.6.

В этом примере входные процессы подсистемы *D* и *G* являются входами, вводимыми в случайные моменты времени. Подсистемы *D*, *F*, *G* и *H* можно представить как части единого процесса — полную систему (рис. 1.7)

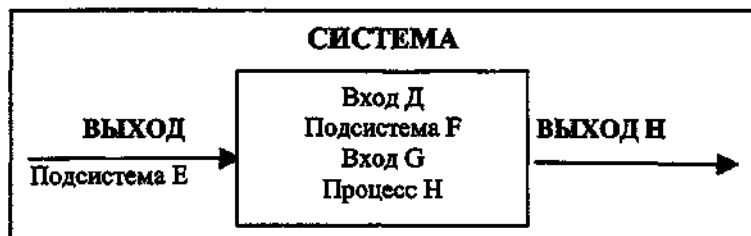


Рис. 1.7

Третья форма входного процесса отличается тем, что в этом случае вход вводится в систему будучи до этого выходом этой же системы. Указанный случай иллюстрируется рис. 1.8, где подсистемы *K*, *P* и *Q* имеют входные процессы, связанные с процессом обратной связи.

Рассмотрим процесс «выход : вход» между подсистемами более высокого порядка. Данный случай иллюстрируется рис. 1.9.

Чтобы обеспечить подходящий вход в подсистему более высокого порядка, выходы, как это показано на рис. 1.9, могут быть взаимно причинно зависимы. Подсистемы *R*, *S* и *T* по времени предшествуют подсистемам *U*, *V* и *X*. Они с необходимостью должны предшествовать этим последним, чтобы система могла работать; подсистемы *U* и *V* имеют более высокий приоритет по сравнению с *R*, *S*, *T* и *W*, но более низкий приоритет, чем подсистема — *X*.

Обозначенный на рисунке выход индексом «Выход : вход» может автоматически становиться входом, если он вводится в последующую подсистему без изменений, т. е. в этом случае выход и вход идентичны.

Процессы *R*, *S*, *T* и *U*, *V*, *W* производят один выход *X*. Выход *W* является выходом от внешней подсистемы и поэтому он не связан с предыдущей последовательностью системных процессов, производящих выходы *U* и *V*. Никаких ограничений на число выходов от внешней среды, кроме возможностей человека и машины воспринимать их, не существует.

СИСТЕМА

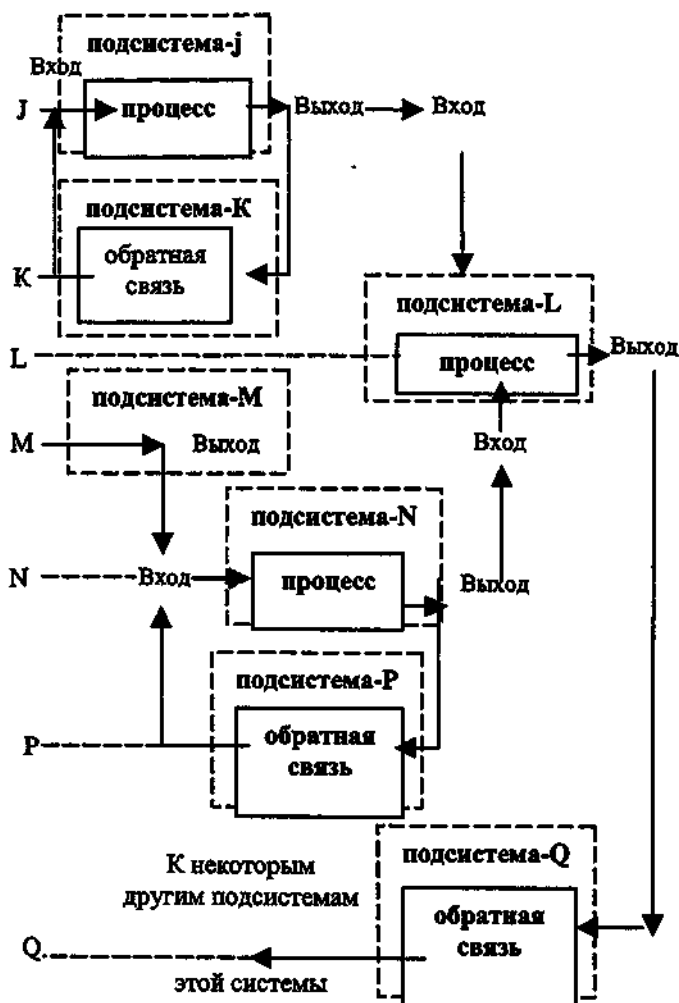


Рис. 1.8.

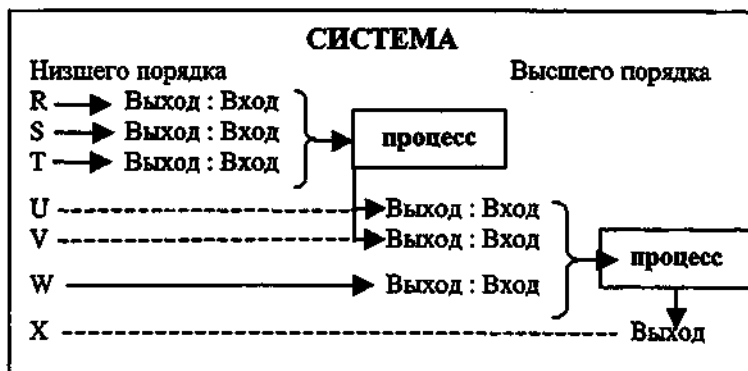


Рис. 1.9.

ФУНКЦИИ ПРОЦЕССА ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

Единственное назначение подсистем обратной связи — изменение идущего процесса.

Обратная связь может выступать:

- 1) как объект отдельного процесса подсистемы;
- 2) как объект интегрированного процесса подсистемы;
- 3) как распределенный по времени объект, возвращающий выход подсистемы с высшим приоритетом (более поздний по времени) для сравнения с критерием подсистемы низшего приоритета (более раннего по времени).

Схема рис. 1.10 позволяет пояснить перечисленные виды процессов подсистемы обратной связи.

Интегрированным процессом называется такой, в котором объекты подсистемы теряют свой независимый характер. В интегрированных системах объекты могут быть определены только в контексте подсистемы или системы, к которой они принадлежат.

Подсистема АА на схеме рис. 1.10 предшествует двум подсистемам АВ и АС. Но она играет по отношению к ним разные роли: обратная связь АВ дает вход в подсистему АА (выступает как обратная связь объекта отдельного процесса подсистемы), но, кроме того, выход используется как вход в подсистему АС.

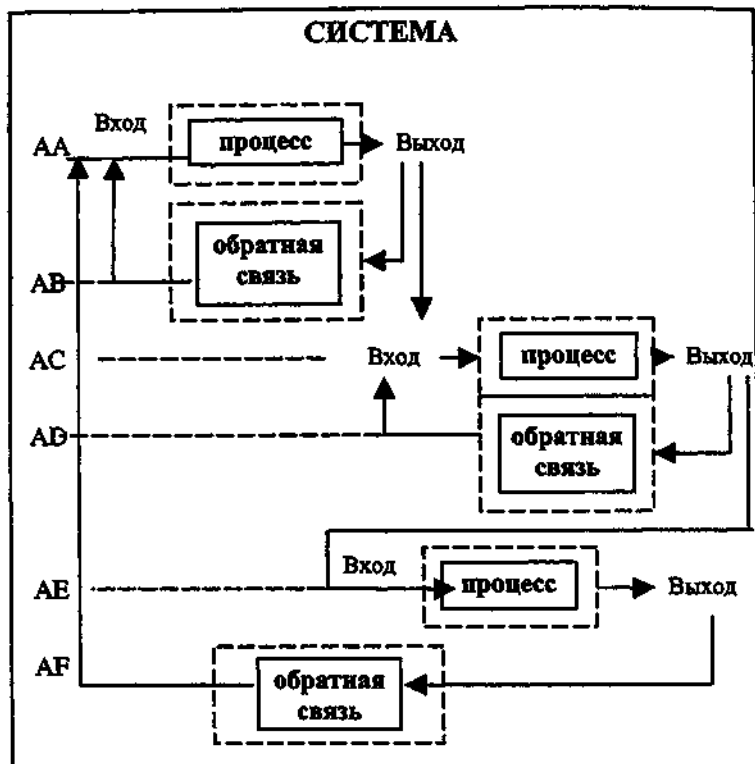


Рис. 1.10

Выход подсистемы АС поступает на входную сторону подсистемы АЕ. Подсистемы АА, АС и АЕ видоизменяются собственными функциями подсистем обратной связи (обратная связь выступает как объект интегрированного процесса подсистем), кроме того, подсистемы АА, АС, АЕ также изменя-

ются воздействием результатов последующих действий, например, таких, как подсистема АЕ изменяет подсистему АА с помощью обратной связи АГ. Рассмотрим практический пример системы (рис. 1.10):

- ♦ «автомобиль — водитель — дорога — окружающая обстановка».

В этой системе:

- ♦ подсистема АА включает: «автомобиль — водитель — путь (направление) и скорость автомобиля»;
- ♦ подсистема АС включает: «дорога — дорожные знаки»;
- ♦ подсистема АЕ включает: «время дня или ночи — окружающая обстановка».

Выход подсистемы АС — положение автомобиля на дороге относительно дорожных знаков и других наличных условий.

Выход обратной связи, который передается из АЕ в АА, есть «оценка водителем безопасности движения и соответствия пределу скорости, которые получаются им сравнением с тем, что ему известно как приемлемые характеристики вождения. Подсистемы АВ, АД и АГ будем называть подсистемами критериев действия системы. В подсистемах АА, АС и АЕ результаты сравнения характеристик движения с критериями АВ, АД и АГ возвращаются в подсистему АА, в которой «водитель корректирует путь и скорость автомобиля».

ФУНКЦИЯ ПРОЦЕССА ОГРАНИЧЕНИЯ СИСТЕМЫ

Функция ограничения системы складывается из двух частей: цели и принуждающих связей.

Ограничение системы является выходом органа, обозначаемого как *потребитель (покупатель)* выхода системы.

Например, потребитель (покупатель) может быть Министерство обороны, которое задает исходные требования к вооружению и технике и ставит подлежащие выполнению условия и т.д.

Системный потребитель (покупатель) воздействует на выход и управление системы, как это показано на схеме рис. 1.11.



Рис. 1.11.

Системные потребители (покупатели) существуют на всех уровнях действия подсистем. Требования к системе диктуются потребителем (покупателем) в форме ограничения.

Ограничения проблемы должны быть установлены руководителями организаций для всех уровней ее руководства, участвующих в определении политики организации, и для всех руководителей функциональных отделов, влияющих на достижение ее целей. Организация — это средство для достижения цели при данных ограничениях.

1.4. КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ

ХАРАКТЕРИСТИКА РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ СИСТЕМ

Для выделения классов систем могут использоваться различные классификационные признаки. основными из них считаются: природа элементов, происхождение, длительность существования, изменчивость свойств, степень сложности, отношение к среде, реакция на возмущающие воздействия, характер поведения и степень участия людей в реализации управляющих воздействий. Классификация систем представлена в табл. 1.1 [27].

Таблица 1.1

Классификация систем

№ п/п	Имя классификационного признака	Значение классификационного признака (имя класса)
1	2	3
1	Природа элементов	Реальные (физические) Абстрактные
2	Происхождение	Естественные Искусственные
3	Длительность существования	Постоянные Временные
4	Изменчивость свойств	Статические Динамические
5	Степень сложности	Простые Сложные Большие
6	Отношение к среде	Закрытые, Открытые

№ п/п	Имя классификационного признака	Значение классификационного признака (имя класса)
1	2	3
7	Реакция на возмущающие воздействия	Активные Пассивные
8	Характер поведения	С управлением Без управления
9	Степень связи с внешней средой	Открытые Изолированные Закрытые Открытые равновесные Открытые диссипативные
10	Степень участия в реализации управляющих воздействий людей	Технические Человеко-машинные Организационные

По природе элементов системы делятся на реальные и абстрактные [27].

Реальными (физическими) системами являются объекты, состоящие из материальных элементов.

Среди них обычно выделяют механические, электрические (электронные), биологические, социальные и другие подклассы систем и их комбинации.

Абстрактные же системы составляют элементы, не имеющие прямых аналогов в реальном мире. Они создаются путем мысленного отвлечения от тех или иных сторон, свойств и (или) связей предметов и образуются в результате творческой деятельности человека. Иными словами, это продукт его мышления. Примером абстрактных систем являются системы уравнений, системы счисления, идеи, планы, гипотезы, теории и т.п.

В зависимости от происхождения выделяют естественные и искусственные системы [27].

Естественные системы, будучи продуктом развития природы, возникли без вмешательства человека. К ним можно отнести, например, климат, почву, живые организмы, солнечную

систему и другие системы. Появление новой естественной системы — большая редкость.

Искусственные системы — это результат созидательной деятельности человека, а, следовательно, со временем их количество увеличивается.

По длительности существования системы подразделяются на постоянные и временные. К *постоянным* обычно относятся естественные системы, хотя с точки зрения диалектики все существующие системы являются *временными*.

К постоянным относятся искусственные системы, которые в процессе заданного времени функционирования сохраняют существенные свойства, определяемые назначением этих систем.

В зависимости от степени изменчивости свойств системы делятся на статические и динамические [27].

К *статическим* относятся системы, при исследовании которых можно пренебречь изменениями во времени характеристик их существенных свойств.

Статическая система — это система с одним состоянием. В отличие от статических динамические системы имеют множество возможных состояний, которые могут меняться как непрерывно, так и в дискретные моменты времени.

В зависимости от степени сложности системы делятся на простые, сложные, большие.

Простые системы с достаточной степенью точности могут быть описаны известными математическими соотношениями. Особенность простых систем — в практически взаимной независимости от свойств, позволяющей исследовать каждое из них в отдельности в условиях классического лабораторного эксперимента и описать методами традиционных технических дисциплин (электротехника, радиотехника, прикладная механика и др.). Простые системы — отдельные детали, элементы электронных схем и т.п.

Сложная система — система, которая состоит из большого числа взаимосвязанных и взаимодействующих между собой элементов, каждый из которых может быть представлен в виде системы (подсистемы).

Сложные системы характеризуются многомерностью (большим числом составленных элементов), многообразием связей, разнородностью структуры, многообразием природы элементов.

Считается, что сложной называется система, обладающая по крайней мере одним из нижеперечисленных признаков:

- 1) система допускает разбиение на подсистемы, изучать каждую из которых можно самостоятельно;
- 2) система функционирует в условиях существенной неопределенности и воздействия среды на нее, обуславливает случайный характер изменения ее показателей;
- 3) система осуществляет целенаправленный выбор своего поведения.

Сложные системы обладают свойствами, которыми не обладает ни один из составляющих элементов. Сложные системы — организм или человек, ЭВМ и т.д. Особенность сложных систем заключается в существенной взаимосвязи их свойств.

Большие системы — это сложные пространственно—распределенные системы, в которых подсистемы (ее составные части) относятся к категориям сложных. Дополнительными особенностями, характеризующими большую систему, являются:

- ♦ большие размеры системы;
- ♦ сложная иерархическая структура;
- ♦ циркуляция в системе больших информационных, энергетических и материальных потоков;
- ♦ высокий уровень неопределенности в описании системы.

Большие системы — автоматизированные системы управления, воинские части, системы связи, промышленные предприятия, отрасли промышленности и т.п.

В статической физике системы делятся на изолированные, закрытые, открытые равновесные и открытые диссипативные.

Изолированные системы не обмениваются со средой энергией и веществом. Процессы самоорганизации в них невозможны. Энтропия изолированной системы стремится к своему максимуму.

Закрытые системы не обмениваются с окружающей средой веществом, но обмениваются энергией. Они способны к фазовым переходам в равновесное упорядоченное состояние. При достаточно низкой температуре в закрытой системе возникает кристаллический порядок.

Открытые системы обмениваются с окружающей средой энергией и веществом. Изменение энтропии открытой системы ds определяется алгебраической суммой энтропии, производимой внутри системы $d_p s$, и энтропии, поступающей извне или уходящей во внешнюю среду $d_c s$, то есть:

$$ds = d_p s + d_c s.$$

В состоянии прочного равновесия — стационарном состоянии: $ds = 0$.

Открытые системы в значительной мере характеризуются скоростью производства энтропии в единице объема — функцией диссипации, которая по определению:

$$\frac{d_p s}{dt} = \int \sigma dV,$$

где σ — функция диссипации (рассеяния); t — время; V — объем.

К *открытым равновесным системам* относятся также системы, которые при отклонении от стационарного состояния возвращаются в него экспоненциально, без осцилляций. По теории И. Пригожина для открытых равновесных систем в стационарных состояниях функция диссипации имеет минимум, т.е. соблюдается принцип экономии энтропии.

Открытые диссипативные системы возникают в результате кооперативных процессов. Их поведение нелинейно. Механизм образования диссипативной структуры: подсистемы флуктуируют, иногда достигая точки бифуркации, после которой может наступить порядок более высокого уровня. Переходы в состояния динамической упорядоченности, когерентности, автоколебаний и автокаталитических реакций и результате роста флуктуаций являются своего рода фазовыми переходами.

Изолированных и закрытых систем фактически в природе не существует. Можно проанализировать пример любой из таких систем и убедиться, что нет экранов сразу от всех форм материи или энергии, что любая система быстрее — медленнее развивается или стареет. В вечности понятия «быстро» и «медленно» смысла не имеют, поэтому, строго говоря, существуют только открытые диссипативные системы, близкие к равновесию, условно названные открытыми равновесными системами. Изолированные и закрытые системы — заведомо упрощенные схемы открытых систем, полезные при приближенном решении частных задач.

В зависимости от реакции на возмущение воздействия выделяют активные и пассивные системы.

Активные системы способны противостоять воздействиям среды (противника, конкурента и т.д.) и сами могут воздействовать на нее. У пассивных систем это свойство отсутствует.

По характеру поведения все системы подразделяются на системы с управлением и без управления.

Класс систем с *управлением* образуют системы, в которых реализуется процесс целеполагания и целеосуществления.

Примером системы *без управления* может служить Солнечная система, в которой траектории движения планет определяются законами механики.

В зависимости от степени участия человека в реализации управляющих воздействий системы подразделяются на технические, человеко-машинные, организационные.

К *техническим* относятся системы, которые функционируют без участия человека. Как правило, ими являются системы автоматического управления (регулирования), представляющие собой комплексы устройств для автоматического изменения, например, координат объекта управления, с целью поддержания желаемого режима его работы. Такие системы реализуют процесс технологического управления. Они могут быть как адаптивными, т.е. приспособляющимися к изменению внешних и внутренних условий в процессе работы путем изменения своих параметров или структуры для достижения требуемого качества функционирования, так и неадаптивными.

Примерами *человеко-машинных (эргатических)* систем могут служить автоматизированные системы управления различного назначения. Их характерной особенностью является то, что человека сопряжен с техническими устройствами, причем окончательное решение принимает человек (ЛПР), а средства автоматизации лишь помогают ему в обосновании правильности этого решения.

К *организационным* системам относятся социальные системы-группы, коллективы людей, общество в целом.

1.5. ПОНЯТИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Д. Клиланд и В. Кинг определяют управление как «процесс, ориентированный на достижение определенных целей» [16].

С.А. Оптнер считает управление целью обратной связи. «Обратная связь «воздействует» на систему. Воздействие есть средство изменения существующего состояния системы путем возбуждения силы, позволяющей это сделать» [28]. Действия обратной связи могут превзойти действия существующего входа системы в зависимости от места, времени, формы, интенсивности, содержания и длительности воздействия. Тот, кто решает проблему, должен вмешиваться в существующее состояние (ситуацию), чтобы выполнить свою цель. При всем многообразии форм воздействия их можно разделить на два класса: воздействия, изменения, проводящие к деградации, разрушению системы, уменьшению степени ее организованности, и воздействия, изменения, соответствующие развитию системы, увеличению степени организованности. Э.А. Смирнов считает, что «процесс организации отражает количественные и качественные изменения объекта управления на всех его фазах, этапах и стадиях. Если изменений нет, то нет и самого процесса» [34].

Следовательно, специалист или руководитель, разрабатывающий решение, должен позаботиться о рациональном наборе воздействий, чтобы добиться устойчивого процесса и достигнуть поставленной цели.

Процесс целенаправленного воздействия на систему, обеспечивающий повышение ее организованности, достижения того или иного полезного эффекта, и называется *управлением*.

Системы, в которых протекают процессы управления, называются *системами управления*.

Понятие системы управления характерно для теории автоматического управления. Так в [36] система управления определена как «система, состоящая из управляющего объекта и объекта управления».

Например, по схеме автомобиль и водитель, самолет и его автопилот, командир и подразделение и т.д.

Поскольку управление — специфическая функция, то она реализуется определенными элементами системы. Система в процессе своего функционирования разделяется на управляющую и управляемую подсистемы. Действительно, если мы полагаем, что в системах не может быть бесцельных процессов, то очевидно, что если есть цель деятельности, должно быть управление достижением этой цели и сама деятельность по ее достижению.

Таким образом, налицо разделение функций управляющей и управляемой подсистем. Подобное разделение явилось объективной необходимостью, вызванной усложнением процессов деятельности во всех ее областях, постоянным ростом общественного характера деятельности, увеличением взаимосвязей различных процессов. Появляется необходимость согласования целей и усилий индивидуумов, коллективов предприятий, отраслей и т.д., управления их совместной деятельностью.

На рис. 1.12 представлена структура системы управления.

Система, формирующая управляющее воздействие $u(t)$, называется управляющей подсистемой. Система, «испытываю-

щая» на себе внешние воздействия, называется управляемой подсистемой (объектом управления). Обе эти системы в совокупности с учетом их взаимодействия образуют уже новую — систему управления, как совокупность двух подсистем (управляющей и управляемой).

Связь от управляющей подсистемы к управляемой называется прямой связью. Такая связь имеется в любой без исключения системе управления (иначе не будет возможности управлять), противоположная по направлению действия связь (от управляемой подсистемы к управляющей) называется обратной связью.

Понятие обратной связи является фундаментальным в технике, природе и в обществе.



Рис. 1.12. Состав системы управления.

На рис. 1.13 показан процесс возникновения механизма управления и обратной связи.



Рис. 1.13. Процесс возникновения механизма
управления и обратной связи.

1.6. ЦЕЛЬ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

В работе [20] цель определяется как вариант удовлетворения исходной потребности, выбранный из некоторого множества альтернатив, сформулированных на основе специального знания.

Потребность — категория объективная, цель — субъективная категория, определяемая имеющимся опытом. Результат — это мера достижения конкретной цели, т.е. мера удовлетворения потребности. Цель есть конкретное выражение потребности, сформулированное на основе имеющегося опыта и определяющее конкретное функционирование создаваемой системы. Отсюда возникает причинно-следственная цепочка (рис. 1.14): потребность → цель → функционирование (управляемой) системы → результат.

Реализация потребности связана с возможными альтернативными путями ее реализации. Выбор альтернативного варианта связан с оценкой возможностей на данном уровне знания, то есть определяется не только выбором определенной и конкретной совокупности методов и средств, обеспечивающих реализацию модели в данных условиях.

Потребность — это то, что объективно связывает человека (и вообще живое) с внешней средой (миром), в том числе и с социальным, как некоторое (определяющее) условие обеспечения его жизнедеятельности и существования

Существование субъектов поддерживается возникновением и удовлетворением потребностей.

Для живого вообще потребность определяется как «объективно присущие живому организму требования условий, необходимых для его сохранения и развития» [20].

Для людей она является движущей «пружиной» поведения и сознания, определенной зависимостью человека от внешнего мира, субъективному миру, ее нуждой в таких предметах и условиях, которые необходимы для ее нормальной жизнедеятельности, для самоутверждения и развития» [20].

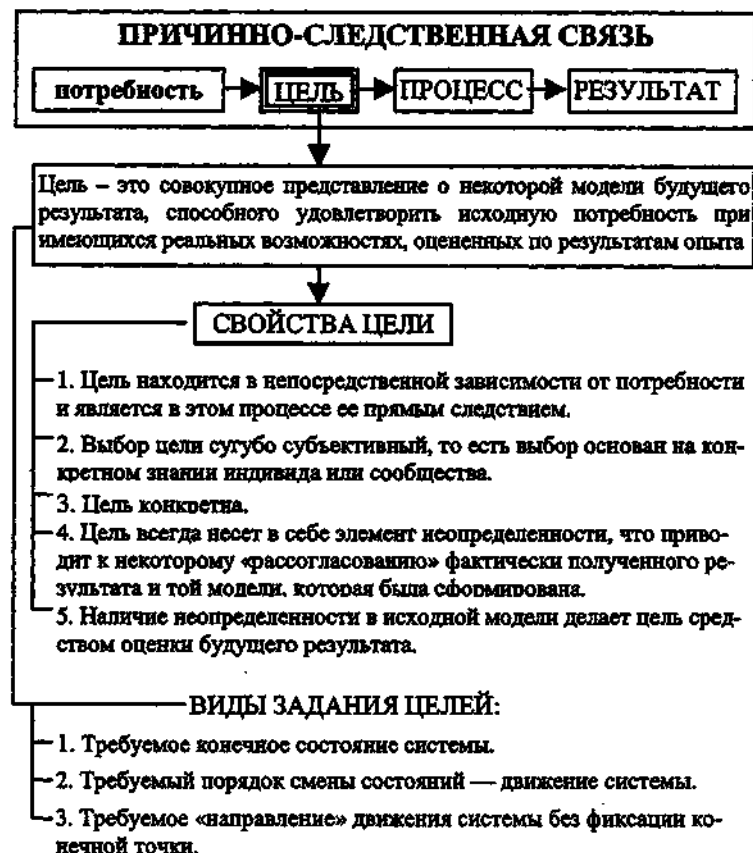


Рис. 1.4. Понятие цели системы управления.

Цель — это совокупное представление о некоторой модели будущего результата, способного удовлетворить исходную потребность при имеющихся реальных возможностях, оцененных по результатам опыта.

Рассмотрим свойства цели [20]:

- ♦ цель находится в непосредственной зависимости от потребности и является в этом процессе ее прямым следствием;
- ♦ выбор цели сугубо субъективный, то есть выбор основан на конкретном знании индивида или сообщества;
- ♦ цель конкретна;
- ♦ цель всегда несет в себе элемент неопределенности, что приводит к некоторому «рассогласованию» фактически полученного результата и той модели, которая была сформирована;
- ♦ наличие неопределенности в исходной модели делает цель средством оценки будущего результата.

Рассмотрим некоторые соотношения потребности и цели в социальных образованиях. Известно, что каждый человек индивидуален и одновременно является социальным элементом, будучи членом определенного сообщества, определенной социальной организации.

Принято считать, что требование (предписание, директива) «вышестоящей» организации безусловно для «нижестоящей», и поэтому, следовательно, автоматически трансформируется в цель для него, которую необходимо также безусловно реализовать.

Однако это не совсем так. Рассмотрим варианты трансформации требований в цель [20].

Требование определяет все элементы цели. В этом случае «проблема выбора» для социального элемента отсутствует полностью.

Требование не ограничивает условия реализации, точно определяя остальные элементы. В этом случае уже социальному элементу надо формировать решение (цель), как создать условия, чтобы предписанные способы использования предписанных средств привели к требуемому результату.

Требование не ограничивает условия и методы реализации, однако точно предписывает модель результата и совокупность средств ее реализации. Свобода выбора в достижении цели расширяется, так как индивид вправе использовать данные в его распоряжении средства «по своему усмотрению», лишь бы получить необходимый результат.

Требование предписывает только точные параметры модели результата. Социальный элемент имеет полную «свободу выбора» в рамках средств, имеющихся в его распоряжении. В этом случае предписанная модель войдет в состав совокупной цели, а остальные компоненты сформулируются на основе его знания в виде принятого решения, каким образом реализовать исходное требование.

Требование не имеет никаких ограничений. Случай, когда требование не несет в себе необходимости конкретных предписаний по всем компонентам цели.

Рассмотрим соотношения между целью, характером деятельности и видом результата [20].

Созерцательная деятельность (отдых, необычная обстановка и др.).

Сознание может воспринимать, а может и не воспринимать какие-нибудь существующие в памяти образы.

Для созерцательной деятельности характерно отсутствие целевой установки и «отсутствие» результата.

Деятельность носит характер эксперимента. Субъект действия создает некоторую «исполнительную» систему из имеющихся (известных) средств, при известных методах и условиях, однако модель результата точно не определена. Следовательно, не определен и момент фиксации результата. В

этом случае говорят о постановке эксперимента и о результатах эксперимента, положительных или отрицательных. Для экспериментальной деятельности характерно наличие цели, неопределенность результата.

Исследовательская деятельность — потребность познания, познавательно-практическая потребность. Для исследовательской деятельности характерно наличие цели, результаты деятельности способны быть полезными в будущем, если будут обнаружены.

Производственная деятельность. Субъект действия создает некоторую «исполнительную» систему при полной определенности компонентов цели, в том числе и модели результата.

Цель реальных систем можно свести к трем основным видам формального их задания [21]:

- ♦ требуемое конечное состояние системы;
- ♦ требуемый порядок смены состояний — движения системы;
- ♦ требуемое «направление» движения системы без фиксации конкретной конечной точки.

1.7. ЗАКОН УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ

Мы установили, что система, формирующая управляющие воздействия $u(t)$, называется управляющей системой.

Тогда система, «испытывающая» на себе внешнее воздействие — управление (управляющие воздействия), называется управляемой системой (объектом управления).

Воздействия управляющей системы на объект управления рассматриваются как процесс — последовательную смену значений $u(t)$. Элементы процесса управления системой показаны на рис. 1.15.

Управляющие воздействия направлены на то, чтобы функционирование (движение) системы управления способствовало достижению цели.

Из рис. 1.15 видно, что состояние выхода управляющей системы $u(t)$ — управляющего воздействия в любой момент времени t зависит от состояния ее входов, которые являются выходами объекта управления $Y(t-1)$.

Следовательно [21],

$$u(t) = F_y[Y(t-1)].$$

Следует отметить, что управляющие воздействия во многом зависят от свойств управляющей системы (ее структуры, параметров и др.) — p

$$u(t) = F_y[Y(t-1), p].$$

Необходимо отметить важную отличительную особенность управляющей системы — ее непосредственная собственная цель не совпадает с целью управляемой системы.

Собственная цель управляющей системы — единственная — выработка управляющих воздействий $u(t)$. Цели объекта управления могут быть разнообразными. Однако собственная

цель управляющей системы не должна противоречить цели объекта управления. Объекты управления могут быть многоцелевыми и получать управляющие воздействия от нескольких управляющих систем.

ПРОЦЕСС УПРАВЛЕНИЯ

Совокупность последовательных действий, заключающихся в сборе информации, передаче ее в пункты накопления и переработки, анализе поступающей, накопленной и справочной информации, принятии решения на основе выполненного анализа, выработке соответствующего управляющего воздействия и доведения его до объекта управления

ЭЛЕМЕНТЫ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ

1. Получение информации о целях и задачах управления (Π).
2. Получение информации о результатах управления (т.е. о поведении объекта управления Y).
3. Анализ полученной информации I и выработка решения (информация о неуправляемой, но контролируемой составляющей среды X'' и поведении объекта управления Y).
4. Осуществление управляющих воздействий $u(t) = x'$ (выполнение решения).

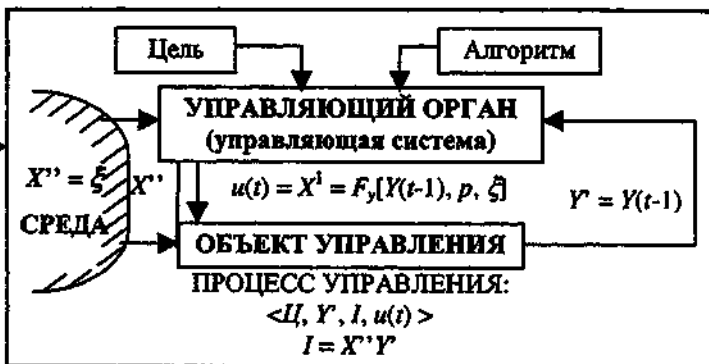


Рис.1.15. Элементы процесса управления системой.

На процесс выработки и осуществление управляющих воздействий оказывает влияние внешняя среда.

Реально в качестве внешней среды могут выступать ресурсы, выделяемые для достижения цели управления, сведения об

условиях функционирования объекта управления и др. Влияния внешней среды могут быть известными, случайными (неизвестными, не предсказуемыми) или неопределенными (неизвестными и непредсказуемыми).

Следовательно, закон управления в общем виде может быть представлен в виде [21]

$$u(t) = F_y[Y(t-1), p, \xi],$$

где F_y — закон управления для данной системы управления;

p — свойства управляющей системы;

ξ — свойства внешней среды.

Закон управления — правило (F_y) выработки управляющего воздействия с учетом особенностей (свойств и возможностей) (p) управляющей системы и учета степени влияния внешней среды (ξ).

В обобщенном виде закон управления — правило достижения цели управления.

Сущностью закона управления является нахождение функции F_y , т.е. оценивание несоответствия выходов объекта управления $Y(t-1)$ и модели объекта управления (модели желаемого результата).

1.8. КРИТЕРИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ

Эффективность управления (управляющих воздействий) есть степень соответствия (фактического или ожидаемого) результата требуемому (желаемому) или, иными словами, степень достижения цели.

Для оценки эффективности управления необходимо формализовать и измерить реальный (фактический или ожидаемый) результат Y и требуемый (желаемый) результат $Y_{тр}$, которые включают множество частных показателей, позволяющих всестороннее оценить результат функционирования системы управления. Как правило, для многих практических задач принимается, что значение показателей, определяющих цель $Y_{тр}$, является фиксированным, а реальный результат Y будет зависеть от варьируемых частных показателей h , т.е. $Y = Y(h)$.

Степень соответствия реальных результатов $Y(h)$ поставленной цели $Y_{тр}$ предлагается оценить с помощью функции соответствия $q = \rho(Y(h), Y_{тр})$, которая в общем случае может представлять собой вектор-функцию или характеризовать, например, расстояние между точками Y и $Y_{тр}$ или другую степень соответствия данных величин

$$q(h) \in G^{np},$$

где G^{np} — множество требуемых (эффективных) значений показателей эффективности q , которым соответствуют значения определяемых характеристик h исследуемого объекта (системы, решения и т.п.).

При использовании критерия оптимальности требуется получить наилучшие (максимальные или минимальные) значе-

ния показателя. Однако в случае векторного показателя стремление максимизировать одни и минимизировать другие альтернативные компоненты вектора q может привести к множеству его значений, не различимых по предпочтению. В связи с этим наибольшее распространение получили два способа задания множества G^{mp} [40]:

- ♦ выделение множества значений векторного показателя q , не различимых по предпочтению;
- ♦ определение оптимального (минимального или максимального) значения одного из частных показателей вектора q при ограничениях, накладываемых на остальные показатели.

В первом случае выделяемое множество G_n значений показателя называется множеством Парето, и критерий оптимальности будет иметь вид [40]:

$$q(h_n) \subset G_n, h_n \in H,$$

где h_n — паретно-оптимальные значения характеристик исследуемого объекта.

Множество Парето G_n может представлять собой дискретную или непрерывную совокупность точек в соответствующем n -мерном пространстве и его определение производится с помощью специальных методов, используемых при поиске паретно-оптимальных решений многокритериальных задач.

Во втором случае при минимизации частного показателя q_1 задается следующим образом [40]:

$$q_1(h^*) = \min_{h \in H} q_1(h),$$

$$q_{0j} < q_j(h) < q_{mj}, j = 1, 2, \dots, n; j \neq i; h^* \in H,$$

где h^* — оптимальное значение характеристик исследуемого объекта.

В случае применения единственного скалярного показателя $g(h)$ критерий оптимальности принимает вид:

$$q(h^*) = \min_{h \in H} q_1(h).$$

Множество G^{*p} в этом случае вырождается, как правило, в единственную точку, соответствующую минимальному значению данного показателя.

Основные требования по выбору критерия [21]:

- ♦ поскольку критерий предназначен для сравнения, то он должен определять некоторый порядок на множестве альтернатив. Если критерий представляется функционалом, то это выполняется автоматически;
- ♦ каждый критерий должен иметь четкий физический смысл и отражать целевое предназначение системы.

РЕЗЮМЕ

Система — это множество, составляющее единство элементов, связей и взаимосвязей между ними и внешней средой, образующее присущую данной системе целостность, качественную определенность и целеполагание.

Системой можно назвать только такое множество избирательно вовлеченных элементов, у которых взаимодействие и взаимоотношение приобретает характер взаимодействия элементов на получение конкретного результата. В систему входят только те элементы и только в таких взаимоотношениях, которые имеют значение в получении требуемого результата.

Система характеризуется состоянием и движением системы.

Состояние системы — совокупность состояний ее элементов, связей, взаимосвязей, взаимодействий между ними. Состояние элемента — совокупность всех различных (конкретных) свойств элементов.

Движение системы — процесс последовательного изменения состояния системы под влиянием внешней среды (путем воздействия внешней среды на входы системы).

Входы системы — различные точки приложения влияния (воздействия) внешней среды на систему.

Входами системы являются информация, вещество, энергия, которые подлежат преобразованию. Входные воздействия, изменяющиеся с течением времени, образуют *входной процесс*.

Выходы системы — различные точки приложения (воздействия) системы на внешнюю среду. Выходные величины, изменяясь с течением времени, образуют *выходной процесс*.

Процесс системы (переходный процесс системы) — множество преобразований начального состояния и входных воздействий в выходные величины, которые изменяются с течением времени по определенным правилам.

Обратная связь — то, что соединяет выход со входом и используется для контроля за изменением выхода. Единственное назначение обратной связи — изменение идущего процесса.

Ограничение системы — то, что определяет условия реализации процесса. Ограничения системы определяются целями и принуждающими связями, которые определяют границу системы и дают возможность точно установить условия и требования, по которым она должна действовать. Под требованиями понимается условие, положение, предписание, отражающие закономерности, порядок, отношение и взаимодействие характеристик, обязательных для выполнения.

Потребность является причиной создания системы, а альтернативный вариант ее реализации — конкретной целью ее достижения, то есть потребность первична по отношению к цели. Система образуется после того, как выбран альтернативный вариант удовлетворения потребности, то есть определена цель.

Цель — это конкретное представление о некоторой модели будущего результата, способного удовлетворить исходную потребность при имеющихся реальных возможностях, оцененных по результатам прошлого опыта. Цель выбирается из некоторого множества альтернатив, исходя из знаний исследователя, то есть цель несет в себе элементы неопределенности. Наличие неопределенности в исходной модели требует оценки будущего результата.

Управление — непрерывный и целенаправленный процесс воздействия на объект управления, которым может быть отдельная личность, коллектив, технологическая установка и т.д. Управление есть процесс, а система управления — механизм, который обеспечивает этот процесс.

Система управления — совокупность двух взаимодействующих подсистем (управляющей и управляемой — объекта управления), образующих новую систему — систему управления. Этими составляющими могут быть руководитель и подчиненный, диспетчер и заводские цеха, человеческий мозг и управляемые им через нервную систему органы и т.д.

Управляющая подсистема — подсистема, формирующая управляющие воздействия.

Управляемая подсистема (объект управления) — подсистема, испытывающая на себе управляющие воздействия (управления).

Сущность выработки управляющих воздействий (управлений) — выявление отклонений параметров системы от нормы, которые затрудняют достижение цели управления.

Отклонения параметров системы от нормы образуются за счет воздействия внешней и внутренней среды. Без отклонения нет информации, а следовательно и процесса управления.

Под *законом управления* понимают формирование (выработку решения) и реализацию управляющих воздействий (управлений), выбранных из множества возможных на основании определенной информации, обеспечивающей желаемое движение (функционирование, поведение) объекта, приводящее к поставленной цели.

Эффективность управления системой рассматривается как мера степени достижения цели функционирования. Эффективное решение выбирается из множества решений с помощью правила, которое называется *критерием* (мерой) выбора решения.

ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

1. Дайте определение понятия система.
2. Какие элементы включает система?
3. Определите такие понятия, как связь (взаимосвязь) отношения, взаимодействия.
4. Дайте определение понятия внешней среды.
5. Опишите взаимодействие системы со средой.
6. Дайте определение понятия состояния и движения системы.
7. Что такое входы, выходы системы?
8. Опишите понятие процесса в системе.
9. Дайте определение обратной связи.
10. Что такое ограничения системы?
11. Формы входных и выходных процессов.
12. Функции подсистемы обратной связи.
13. Функции ограничения системы.
14. Дайте классификацию систем по признакам.
15. Сущность понятия управления системой.
16. Определите понятие цель.
17. Раскройте варианты трансформации требований в цель.
18. Сущность закона управления системой.
19. Что такое критерий эффективности управления системой и способы его задания?

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамова Н.Т. Целостность и управление. — М.: Наука, 1974.
2. Акофф Р. Эмери М. О целеустремленных системах. — пер. с англ. М.: Советское радио, 1974.
3. Анохин П.К. Избранные труды: Философские аспекты теории функциональной системы. М.: Наука, 1978.
4. Афанасьев В.Г. Общество: Системность, познание и управление. М.: Политиздат, 1981.
5. Берталанфи Л. Общая теория системы: Критический обзор. — В кн. Исследования по общей теории систем. М.: Прогресс, 1969.
6. Белман Р., Глинсберг И., Гросс О. Некоторые вопросы математической теории процессов управления. — М.: Сов. Радио, 1974.
7. Бир Ст. Наука управления: Пер. с англ. М.: Энергия, 1971.
8. Бурков В.Н. Человек. Управления. Математика. — М.: Просвещение, 1989.
9. Бунш Г. Теория систем. — М.: Сов. Радио, 1978.
10. Гиг Дж., Ван. Прикладная общая теория систем: Пер. с англ. М.: Мир, 1981, к. 1,2.
11. Денисов А.А., Колесников Д.Н. Теория больших систем управления. — М.: Энергоиздат, 1982.
12. Директер С., Рорер Д. Введение в теорию систем. — М.: Мир, 1974.
13. Дружинин В.В., Конторов Д.С. Проблемы системологии. М.: Мир, 1974.

14. Каган М.С. Человеческая деятельность. (Опыт системного анализа). М.: Политиздат, 1974.
15. Калман Р., Фалб П., Арбаб М. Очерки по общей теории систем. — М.: Мир, 1971.
16. Клиланд Д., Кинг В. Системный анализ и целевое управление. — М.: Сов. радио, 1979.
17. Касты Дж. Большие системы. М.: Мир, 1982.
18. Клир Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач: Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1990.
19. Кузьмин В.П. Принципы системности в теории и методологии К.Маркса. М.: Политиздат, 1976.
20. Карташов В.А. Система систем. Очерки общей теории и методологии. — М.: "Прогресс-Академия", 1995.
21. Ларин А.А. Теоретические основы управления. — ч. 1: Процессы, системы и средства управления. Учебное пособие. — М.: РВШ, 1998.
22. Месарович М., Маго Д, Тахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. Пер. с англ. М.: Мир, 1973.
23. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. — М.: Наука, 1981.
24. Мухин В.И. Основы исследования систем. — Курс лекций. — Новгородск: АГЗ, 1997.
25. Негойце К. Применение теории систем к проблеме управления: Пер. с англ. Таржова В.Б. (Под редакцией Орловского С.А.) М.: Мир, 1981.
26. Ниолаев В.И., Брук В.М. Системотехника: методы и приложения. Л.: Машиностроение, 1985.
27. Основы общей теории систем. — ч. 1. Попов А.А., Телушкин И.М., Бушуев С.Н. Учебное пособие. С.-П.: ВАС, 1992.
28. Оптнер С.Л. Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем. Пер. с англ. М.: Сов. Радио, 1969.

29. Павлов В.И. Методические основы системных исследований военно-космических средств. Учебное пособие. — М.: РВСН, 1998.
30. Партер У. Современные основания общей теории систем. — М.: Наука, 1971.
31. Пospelов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика. — М.: Наука, 1981.
32. Растринин Л.А. Современные принципы управления сложными системами. — М.: Наука, 1980.
33. Рогожин С.В. Исследование систем управления. Учебное пособие. — М.: Национальный институт бизнеса, 1999.
34. Смирнов Э.А. Основы теории организации. Учебное пособие. — М.: Юнити, 1998.
35. Садовский В.Н. Основы общей теории систем. М.: Наука, 1978.
36. Теория управления. Терминология. (Сб. рекомендуемых терминов). — М.: Наука, 1988, вып. 107.
37. Усмов А.И. Системный подход и общая теория систем. М.: Мысль, 1978.
38. Холл А. Опыт методологии для системотехники. — М.: Сов. радио, 1975.
39. Черняк Ю.И. Системный анализ в управлении экономикой. М.: Экономика, 1975.
40. Хохлачев Е.Н. Теоретические основы управления. — Ч. 2. Анализ и синтез систем управления. Учебное пособие. — М.: РВСН, 1996.
41. Цвиркун А.Д. Структура сложных систем. — М.: Сов. радио, 1975.
42. Шилейко А.В., Кочнев В.Ф., Химушин Ф.Ф. Введение в информационную теорию систем. — М.: Радио и связь, 1985.

ГЛАВА 2.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Цель главы — изучить сущность и содержание анализа и синтеза систем управления

ПОСЛЕ ИЗУЧЕНИЯ ГЛАВЫ ВЫ ДОЛЖНЫ БЫТЬ В СОСТОЯНИИ:

- раскрыть основные черты и сущность системного подхода;
- определить цели и задачи анализа и синтеза систем управления;
- сформулировать принципы и постулаты системного анализа и синтеза систем управления;
- раскрыть содержание каждого вида анализа и синтеза систем управления;
- описать уровни исследования систем управления;
- раскрыть структуру показателей систем управления.

2.1. СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД КАК ОБЩЕМЕТОДИЧЕСКИЙ ПРИНЦИП ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

ПОНЯТИЕ И ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА

Изучение объектов и явлений как систем вызвало формирование нового подхода в науке — системного подхода.

Системный подход — конкретно-научный метод диалектико-материалистической методологии, имеющий общенаучное значение.

В силу высокой общности системный подход основывается на ряде принципов диалектики: взаимосвязь и развитие, зависимость (связанность) и независимость (автономность), качественное различие части и целого. Однако системный метод даже в реализации этих принципов уже диалектика. Можно указать, в частности, на принцип развития, который в системном методе представлен лишь через движение и изменение. Но принцип отрицания в развитии конструктивно не включен в системный подход.

Системный подход как общеметодический принцип используется в различных отраслях науки и деятельности человека. Гносеологической основой (гносеология — раздел философии, изучающий формы и методы научного познания) является общая теория систем, начало которой положил австралийский биолог Л. Берталанфи. Предназначение этой

науки он видел в поиске структурного сходства законов, установленных в различных дисциплинах, исходя из которых можно вывести общесистемные закономерности.

В этом плане системный подход представляет одну из форм методологического знания, связанную с исследованием и созданием объектов как систем, и относится только к системам (*первая черта системного подхода*).

Второй чертой системного подхода является иерархичность познания, требующая многоуровневого изучения предмета: изучение самого предмета — «собственный» уровень; изучение этого же предмета как элемента более широкой системы — «вышестоящий» уровень и, наконец, изучение этого предмета в соотношении с составляющими данный предмет элементами — «нижестоящий» уровень.

Следующей чертой системного подхода является изучение *интегративных свойств и закономерностей систем и комплексов систем*, раскрытие базисных механизмов интеграции целого. И, наконец, важной чертой системного подхода является его нацеленность на получение количественных характеристик, создание методов, сужающих неоднозначность понятий, определений, оценок. Другими словами, системный подход требует рассматривать проблему неизолированно, а в единстве связей с окружающей средой, постигать сущность каждой связи и отдельного элемента, проводить ассоциации между общими и частными целями. Все это формирует особый метод мышления, позволяющий гибко реагировать на изменения обстановки и принимать обоснованные решения.

С учетом сказанного определим понятие системного подхода.

Системный подход — это подход к исследованию объекта (проблемы, явления, процесса) как к системе, в которой выделены элементы, внутренние и внешние связи, наиболее существенным обра-

зом влияющие на исследуемые результаты его функционирования, а цели каждого из элементов определены исходя из общего предназначения объекта.

СУЩНОСТЬ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА

На практике для реализации системного подхода необходимо предусмотреть выполнение следующей последовательности действий:

- ♦ формулировку задачи исследования;
- ♦ выявление объекта исследования как системы из окружающей среды;
- ♦ установление внутренней структуры системы и выявление внешних связей;
- ♦ определение (или постановка) целей перед элементами исходя из проявляющегося (или ожидаемого) результата всей системы в целом;
- ♦ разработка модели системы и проведение на ней исследований.

В настоящее время много работ посвящено системным исследованиям. Общее у них то, что все они посвящены решению системных задач, в которых объект исследований представляется в виде системы.

Системные задачи могут быть двух типов: системного анализа или системного синтеза.

Задача анализа предполагает определения свойств системы по известной ей структуре, а *задача синтеза* — определение структуры системы по ее свойствам.

Задачей синтеза является создание новой структуры, которая должна обладать желаемыми свойствами, а задачей

анализа — изучение свойств уже существующего образования.

Системный анализ и синтез предполагает исследование больших систем, сложных задач. Н.Н. Моисеев отмечает: «Системный анализ... требует анализа сложной информации различной физической природы». Исходя из этого, Ф.И. Перегудов определяет, что «... системный анализ есть теория и практика улучшающего вмешательства в проблемные ситуации».

Рассмотрим особенности реализации системного подхода [11].

Любое исследование предваряет его формулировка, из которой должно быть понятно, что нужно делать и на основании чего это делать.

В формулировке задачи исследования надо постараться различить общий и частный планы. Общий план определяет тип задачи — анализ или синтез. Частный план задачи отражает функциональное предназначение системы и описывает характеристики, подлежащие исследованию.

Например:

- 1) разработать (общий план — задача синтеза) космическую систему, предназначенную для оперативного наблюдения земной поверхности (частный план);
- 2) определить (общий план — задача анализа) оперативность, наблюдение земной поверхности с помощью космической системы (частный план).

Конкретность формулировки задачи во многом зависит от знаний исследователя и имеющейся информации. Меняется представление о системе и это приводит к тому, что почти всегда имеются различия между поставленной и решаемой задачей. Чтобы они были несущественными, формулировка задачи должна корректироваться в процессе ее решения. Изменение в основном будут касаться частного плана сформулированной задачи.

Особенностью выделения объекта как системы из окружающей среды является то, что необходимо выбрать такие его

элементы, деятельность или свойства которых проявляются в области исследования данного объекта. Например, пусть задачей исследования будет определение возможности наблюдения земной поверхности с помощью космического аппарата (КА). В табл. 2.1 приведен порядок выделения исследуемой задачи (объекта) из внешней среды, в который входят выделяемые элементы, внешние системы и исходные данные.

Между элементами КА устанавливаются связи, т.е. образуется структура системы. Необходимость выявления (либо создания) той или иной связи определяется степенью ее влияния на исследуемые характеристики: должны оставаться те, которые оказывают существенное влияние. В тех случаях, когда связи неясны, необходимо укрупнить структуру системы до известных уровней и проводить исследования в целях последующего углубления детализации до необходимого уровня. Не должны вводиться в структуру системы элементы, не имеющие связей с другими.

Таблица 2.1

**Порядок выделения исследуемой задачи (объекта)
из внешней среды**

Задача	Элементы системы	Внешние системы	Исходные данные
1	2	3	4
Определение возможности наблюдений на земных объектах с помощью КА	Подсистема наблюдения Подсистема управления движением центра масс Подсистема ориентации стабилизации	Наземный специальный комплекс Объекты наблюдения Гравитационное поле Земли Атмосфера Земли	Параметры движения КА Координаты специального комплекса Координаты объектов наблюдения и их характеристики Характеристики атмосферы

Из сказанного следует вывод: установление внутренней структуры не является операцией только начального этапа исследования, она будет уточняться и изменяться по мере про-

ведения исследований. Этот процесс отличает сложные системы от простых, в которых элементы и связи между ними не изменяются в течение всего цикла исследования.

В любой системе каждый элемент ее структуры функционирует исходя из некоторой своей цели. При ее выявлении (или постановке) следует руководствоваться требованием подчиненности общей цели системы. Здесь следует отметить, что иногда частные цели элементов не всегда согласуются с конечными целями самой системы.

Сложные системы, как правило, исследуются на моделях. Целью моделирования является определение реакций системы на воздействия, границы функционирования системы, эффективность алгоритмов управления. Модель должна допускать возможность вариаций изменения количества элементов и связей между ними с целью исследования различных вариантов построения системы. Процесс исследования сложных систем носит итеративный характер, и число возможных приближений зависит от априорных знаний о системе и жесткости требований к точности получаемых результатов.

На основе проведенных исследований вырабатываются рекомендации:

- ♦ по характеру взаимодействия между системой и окружающей средой;
- ♦ структуре системы, видам организации и типам связей между элементами;
- ♦ закону управления системой.

Главная практическая задача системного подхода в исследовании систем управления состоит в том, чтобы обнаружив и описав сложность, обосновать также дополнительные физически реализуемые связи, которые бы, будучи наложенными на сложную систему управления, сделали ее управляемой в требуемых пределах, сохранив при этом такие области самостоятельности, которые способствуют повышению эффективности системы.

Включенные новые обратные связи должны усилить благоприятные и ослабить неблагоприятные тенденции поведения системы управления, сохранив и укрепив ее целенаправленность, но при этом ориентируя ее на интересы надсистемы.

2.2. ЗАДАЧИ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

ЗАДАЧИ АНАЛИЗА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Под анализом понимается процесс исследования системы управления, основанный на ее декомпозиции с последующим определением статических и динамических характеристик составляющих элементов, рассматриваемых во взаимосвязи с другими элементами системы и окружающей средой.

Целью анализа системы управления является [16]:

- ◆ детальное изучение системы управления для более эффективного использования и принятия решения по ее дальнейшему совершенствованию или замене;
- ◆ исследование альтернативных вариантов вновь создаваемой системы управления с целью выбора наилучшего варианта.

К задачам анализа системы управления относятся [16]:

- ◆ определение объекта анализа;
- ◆ структурирование системы;
- ◆ определение функциональных особенностей системы управления;
- ◆ исследование информационных характеристик системы;
- ◆ определение количественных и качественных показателей системы управления;
- ◆ оценивание и оценка эффективности системы управления;

- ♦ обобщение и оформление результатов анализа.

Кратко рассмотрим содержание названных составляющих системного анализа.

Определение объекта анализа

При решении данной задачи нужно выполнить следующие действия:

- ♦ выделить анализируемую систему управления;
- ♦ определить цели и задачи управления;
- ♦ произвести первичную декомпозицию системы с выделением управляющей подсистемы (органов управления), объектов управления (исполнителей) и окружающей среды.

Как отмечалось ранее, перед исследователем может стоять одно из двух направлений анализа: первое — определение состояний системы управления (в менеджменте — определение точки отсчета), которое проводится с целью обозначить зоны, требующие улучшения, и стимулирования изменений; другое — исследование альтернативных вариантов вновь создаваемой системы с целью выбора лучшего варианта. В менеджменте выделяют следующие группы определения точки отсчета [8]:

1. *Анализ работы соперников* — систематический анализ деятельности работы соперников, что позволяет улучшать собственную.

2. *Лучшая практика* — поиск лучшей практики, связанный с методами работы компании.

3. *Сравнение качества работы* — способ оценки качества работы компании и ее отделов.

4. *Установление стандарта* — способ создания инструкции для выработки адекватных или повышения рабочих стандартов.

Логика, лежащая в основе определения точки отсчета, четкая — как ты можешь поставить перед собой разумные цели

для самосовершенствования, если не знаешь, что делает соперник, и как клиенты оценивают твои усилия? Определение точки отсчета помогает установить задачи, которые дадут компании возможность достигнуть устойчивого преимущества в соревновании.

При необходимости выделяются подсистемы и факторы окружающей среды, оказывающие положительное (обеспечивающие подсистемы) и отрицательное (конкурент, противник, климатические, территориальные и другие условия) влияние на функционирование системы.

Устанавливаются виды и формы воздействий управляющей подсистемы и реакций объектов управления, а также воздействий окружающей среды. Определяются основные требования, предъявляемые к системе, и формулируется общий алгоритм функционирования.

Структурирование системы

Изучаемые, создаваемые и проектируемые в настоящее время системы характеризуются исключительной сложностью. Сложность системы определяется большим числом элементов и выполняемых ими функций, высокой степенью связности элементов, сложностью алгоритмов выбора тех или иных управляющих воздействий и большими объемами перерабатываемой при этом информации.

Одной из основных черт систем управления считается иерархичность и сложные структурные и функциональные взаимоотношения между элементами системы.

В зависимости от задачи исследования в понятие структуры системы управления включаются различные вопросы. Так, при разработке структуры автоматизированной системы управления отрасли, под этим понимается определение множества узлов системы и связей между ними, распределение задач, возлагаемых на технические средства АСУ, по уров-

ням и узлам системы и выбор комплекса технических средств, обеспечивающих их эффективное решение. Под структурой управления в АСУ технологическими процессами понимается схема, задающая, во-первых, распределение технологических процессов комплекса по группам, составляющим подсистемы различных уровней, с подчинением подсистем данного уровня подсистемам вышестоящего уровня; во-вторых, распределение функций управления и соответствующих им алгоритмов по подсистемам. Распределение первого вида представляет собой производственную структуру комплекса, распределение второго рода — функциональную структуру управляющего органа. Оба аспекта взаимосвязаны и обоснование структуры предполагает их разработку с учетом этих взаимосвязей.

Под структурой производственной организации понимается устойчивое пространственно-временное распределение хозяйственных решений и обеспечивающих их реализацию ресурсов с соответствующими взаимосвязями.

Под структурой организационной системы — подразумевается форма распределения задач и полномочий по принятию решений между лицами или группами лиц (структурными подразделениями), составляющими организационную систему (организацию), направленную на достижение стоящих перед ней целей.

Целью решения задачи структурирования является детальное изучение системы управления, установление связей и отношений между ее элементами

Результатом решения задачи являются различные варианты структур анализируемой системы, позволяющие определить характеристики и отдельные частные недостатки выделенных элементов и связей между ними, и наметить пути их устранения.

Следовательно, под задачей анализа структуры понимается определение основных характеристик системы при некоторой выбранной (фиксированной) структуре.

Основные характеристики структуры системы могут быть разбиты на две группы [17]. К первой относятся характеристики, связанные с иерархичностью систем: число (подсистем) рассматриваемой системы, характер взаимосвязей между уровнями (подсистемами), степень централизации и децентрализации в управлении, признаки разбиения системы на подсистемы. Ко второй — эффективность (в широком смысле) функционирования системы той или иной структуры: эффективность (стоимостная), надежность, живучесть, быстроедействие и пропускная способность, способность к перестройке и др.

Определение функциональных особенностей системы управления

Задача определения функциональных особенностей системы строго связана с задачей структурирования. С учетом структурирования определяются перечень частных задач и функции каждого элемента системы, порядок их взаимодействия, необходимые входные и выходные данные.

Исследование информационных характеристик систем

Информационные связи между подсистемами различных уровней принято называть вертикальными, а между подсистемами одного уровня — горизонтальными.

Информационный аспект выступает в форме целезадающего, объединяющего, координирующего, осуществляющего информационную и интеллектуальную поддержку выработки решения.

В процессе исследования информационных характеристик определяются:

- ◆ **сущность и качество информации, используемые для выработки управляющих воздействий;**
- ◆ **достаточность информации для выработки управляющих воздействий;**
- ◆ **суммарные объемы поступающей и исходящей информации в единицу времени в целом по системе и отдельно по основным элементам;**
- ◆ **объем информации, постоянно хранящейся в системе;**
- ◆ **единичные объемы передаваемой информации;**
- ◆ **способы передачи или доставки информации;**
- ◆ **основные направления информационных потоков и др.**

Определение количественных и качественных показателей системы

После уяснения поставленной задачи аналогично системы управления, определения объекта анализа и составления его многоуровневого описания производится [16]:

- ◆ **предварительный выбор перечня показателей каждого уровня;**
- ◆ **разработка моделей и методов определения показателей различных уровней;**
- ◆ **уточнение условий определения показателей, включающих предполагаемые воздействия сверхсистемы, возможность комплексирования с другими системами управления и наличие дублирующих систем.**

В результате решения данной задачи:

- ◆ **систематизируются частные качественные и количественные показатели структур, процессов функционирования и информации;**
- ◆ **определяются обобщенные показатели, характеризующие внешние свойства анализируемой системы и ее отдельных элементов.**

Оценивание и оценка эффективности

Данная задача решается с целью определения достигнутых в процессе функционирования системы управления результатов и затраченных на достижение этих результатов материальных и временных ресурсов.

Надо отметить, что понятие показателя, оценивающего функционирование системы, используется в двух смыслах. Во-первых, это — показатели, измеряющие те или иные результаты, проявленные в процессе реального (или имитационного) функционирования системы. Это — экспериментальные показатели функционирования. Другой вариант связан с пониманием показателей функционирования как теоретических оценок возможных значений экспериментально определяемых показателей. Это — теоретические показатели функционирования. Значения теоретических и экспериментальных показателей функционирования могут не совпадать. Несовпадение может быть обусловлено несовершенством (грубостью) метода построения теоретических оценок, недостаточной информированностью лица, строящего соответствующие теоретические оценки, возможностью нескольких вариантов протекания процесса функционирования и др.

Это обстоятельство порождает требование точности построения теоретических показателей, оценивающих функционирование системы. Содержательно степень точности теоретических оценок представляет собой «меру соответствия» теоретически построенных оценок их экспериментальным значениям.

Обобщение и оформление результатов анализа

Задача документального обобщения и оформления результатов анализа включает [16]:

- ♦ краткое описание структуры, процессов функционирования и информационных потоков системы;

- ◆ приводятся значения показателей и результаты оценки эффективности системы (приводятся значения показателей);
- ◆ обобщенные выявленные недостатки и разрабатываются предварительные рекомендации по ее дальнейшему использованию, совершенствованию или замене.

ЗАДАЧИ СИНТЕЗА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

В отличие от анализа, когда исследуется заданная система управления, в процессе синтеза необходимо создать новую систему путем определения ее рациональных или оптимальных свойств и соответствующих показателей.

Целью синтеза системы управления является [16]:

- ◆ создание новой системы управления, на основе новых достижений науки и техники;
- ◆ совершенствование существующей системы управления на основе выявленных недостатков, появлении новых задач и требований.

В общем виде задача синтеза систем управления заключается в определении структуры и параметров системы исходя из заданных требований к значениям показателей эффективности ее функционирования, а также способов обеспечения целей функционирования системы.

Структурный синтез является центральным звеном создания системы управления. Структурный синтез систем управления включает:

1. Синтез структуры управляемой системы, т. е. определение оптимального состава и взаимосвязей элементов системы, оптимальное разбиение множества управляемых объектов на отдельные подмножества, обладающие заданными характеристиками связей.

2. Синтез структуры управляющей системы:

- а) выбор числа уровней и подсистем (иерархии системы);**
- б) выбор принципов организации управления, т. е. установление между уровнями правильных взаимоотношений (это связано с согласованием целей подсистем разных уровней и оптимальным стимулированием их работы, распределением прав и ответственности, созданием контуров принятия решений);**
- в) оптимальное распределение выполняемых функций между людьми и средствами вычислительной техники;**
- г) выбор организационной иерархии.**

3. Синтез структуры системы передачи и обработки информации. В том числе:

- а) синтез структуры системы передачи и обработки информации;**
- б) синтез структуры информационно-управляющего комплекса (в том числе размещение пунктов обслуживания).**

Синтез представляет собой многошаговый итеративный процесс, включающий последовательное решение следующих основных задач:

- ♦ формирование замысла и цели создания системы управления;**
- ♦ формирование вариантов облика новой системы;**
- ♦ приведение описания варианта облика системы во взаимное соответствие;**
- ♦ оценка эффективности вариантов и принятия решения о выборе облика новой системы;**
- ♦ разработка требований к системе управления;**
- ♦ разработка программ реализации требований к системе управления;**
- ♦ реализация разработанных требований к системе управления.**

Формирование замысла и цели создания системы управления

Замысел возникает на основании полученного задания, выделения недостатков существующей системы управления, появления практической потребности или новых научных достижений.

Формирование замысла начинается с исторического анализа проблемы, практических возможностей, научного достижения, потребности, анализа сходных систем, сложившейся ситуации, чужих мнений и всех сопутствующих факторов. Это — творческий этап, слабоструктурированный и слабоформализуемый.

Результатом решения задачи формирования замысла и цели создания системы должно быть [16]:

- ◆ определение назначения системы управления;
- ◆ определение цели (целевой функции);
- ◆ определение задач системы;
- ◆ формулирование основной идеи создания системы;
- ◆ определение направлений разработки системы.

Формирование вариантов облика новой системы

Варианты облика новой системы формируются на основе анализа общей цели создания системы, изучения общественных потребностей, которые должны быть удовлетворены, предполагаемого объема удовлетворения этих потребностей, изучения состояния и перспектив развития аналогичных отечественных и зарубежных систем.

Процесс формирования каждого варианта облика новой системы может быть описан концептуальной и математической моделями.

Рассмотрим порядок построения концептуальной модели варианта облика новой системы управления.

При построении концептуальной модели можно выделить несколько этапов [10].

На первом этапе определяется уровень детализации концептуальной модели варианта системы.

Модель системы представляется в виде совокупности подсистем (элементов). В эту совокупность включаются все подсистемы (элементы), обеспечивающие сохранение целостности системы. Исключение же каких-либо элементов не должно приводить к потере основных свойств системы при выполнении ею функций по назначению.

С другой стороны, каждая подсистема состоит из совокупности элементов, которые, в свою очередь, могут быть расчленены на элементы. С учетом вышесказанного проблема выбора уровня детализации может быть решена путем построения иерархической последовательности моделей, где система представляется семейством моделей, каждая из которых отражает ее поведение на различных уровнях детализации. На каждом уровне, безусловно, существуют характерные особенности системы, принципы и зависимости, определяющие ее поведение.

Выбор уровня детализации зависит от целей моделирования и степени предварительного знания свойств элементов. Обычно в модель включают элементы одного уровня детализации, но может возникнуть необходимость в построении модели из элементов разных уровней.

На втором этапе построения концептуальной модели осуществляется ее локализация (установление границ взаимодействия с сверхсистемой) путем представления внешней среды в виде генераторов внешних воздействий, причем эти генераторы включаются в состав системы в качестве ее элементов. Приемники же воздействия системы на среду и (или) другую систему в модель обычно не включаются, полагая при

этом, что результаты функционирования системы внешняя среда (другая система) принимает полностью и без задержек (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Локализованная система.

На *третьем этапе* завершается построение структуры модели с указанием связей между составляющими ее элементами. Связи могут быть подразделены на вещественные и информационные.

В системах управления информационные связи имеют первостепенное значение. Причем прежде всего следует выделить функционально необходимые внутренние связи, которые обуславливают целостность модели и обеспечивают ее адекватность системе.

Каждый формируемый вариант облика системы включает различные виды описаний: структурное (морфологическое), функциональное, информационное и параметрическое.

Структурное описание включает описание структуры и видов обеспечения системы управления, назначения, состава и размещения ее элементов.

Функциональное описание включает решаемые системой функции, задачи, порядок функционирования системы.

Информационное описание включает описание входной и выходной информации, потоков информации, циркулирующей в системе, способов представления и передачи.

Параметрическое описание включает перечень количественных показателей (параметров), характеризующих отдельные свойства системы, которые необходимо обеспечить в процессе ее создания.

Требования к показателям в виде различных ограничений формируются в процессе оценки эффективности каждого исследуемого варианта облика системы и уточняются в ходе ее разработки.

На *четвертом этапе* определяются управляемые характеристики, т. е. в модель должны войти те параметры (показатели) системы, допускающие варьирование своих значений в процессе моделирования, которые обеспечат нахождение интересующих разработчика моделей характеристик при конкретных внешних воздействиях на заданном временном интервале функционирования системы. Остальные параметры необходимо, по возможности, исключить из модели естественно без ущерба для ее адекватности, а при необходимости ввести их в ограничения. Желательно, чтобы в концептуальной модели были конкретизированы все решающие правила или алгоритмы управления элементами и (или) процессами модели, которые отражают статику системы.

На *пятом этапе* описывается динамика системы. Полученную ранее модель необходимо дополнить описанием функционирования системы. Следует отметить, что в сложных системах зачастую протекает несколько процессов одновременно. Каждый процесс представляет собой определенную последовательность отдельных элементарных операций, часть из которых может выполняться параллельно разными элементами (ресурсами) системы.

Приведение описаний варианта облика системы во взаимное соответствие

Приведение описаний варианта облика системы во взаимное соответствие включает [10]:

- ♦ сопоставление описаний (структурного, функционального, информационного, параметрического);
- ♦ приведение названных описаний во взаимное соответствие;
- ♦ объединение названных описаний.

Дадим краткую характеристику описаний.

Сопоставление описаний. Выполнение требований информационного описания обеспечивается морфологически (структурно) и функционально. Сначала решается вопрос о совместимости информационного описания. Функциональное описание может быть недостаточным для охвата блоков или процессов структурного описания, и тогда его нужно дополнить (в частности, путем проведения новых исследований). Все блоки структурного описания должны быть охвачены функциональным описанием и даны способы и формулы для вычисления всех выходных и промежуточных параметров. Далее требуется выяснить, в какой мере информационное описание обеспечено функционально и морфологически. Часть результатов, которые можно рассматривать как требования, окажутся нерезализуемыми морфологически либо требуют разработки новых элементов (подсистем). На основании морфологического и функционального описания вычисляются (без требования совместимости) наиболее близкие из достижимых параметров, входящих в параметрическое описание. Здесь может быть два случая: 1) требуемые значения параметров недостижимы; 2) требуемые значения параметров достижимы порознь, но несовместимы. В первом случае необходимо выдвижение идей, перестройка морфологии или

функциональных возможностей, во втором — конструктивная перестройка.

Приведение описаний во взаимное соответствие. Выдвижение идей или ассоциативный поиск для эффективной замены элементов морфологического описания производится на основании функциональных свойств системы. Для этого необходимо выявить коренное противоречие, препятствующее достижению положительного результата. Функциональная недостаточность является исходным толчком для обнаружения коренного противоречия. Выявление сущности противоречия требует анализа морфологических и информационных свойств системы. Устранение противоречия путем компромисса, чтобы общее их сочетание было удовлетворительным — редко бывает перспективным. Расширение диапазона применения может приводить к непримиримому противоречию. В этом случае требуются новые идеи, т. е. включение в систему подсистем или элементов с принципиально новыми свойствами, радикальная перестройка структуры и связей создания новых процессов и т. д. Этап является многоступенчатым и заканчивается новым описанием системы.

Объединение описаний. Составление единого описания, охватывающего морфологические, функциональные, информационные свойства и параметры в полном объеме.

Оценка эффективности вариантов и принятия решения о выборе облика новой системы

Решение данной задачи включает [10, 17]:

- ♦ определение значений выбранных показателей эффективности каждого исследуемого варианта облика создаваемой системы;
- ♦ сравнительную оценку эффективности, которая производится в соответствии с заданным правилом предпочтений и установленным критерием;

- ♦ принятие решения о выборе наилучшего варианта облика системы.

После выбора окончательного варианта облика системы уточняется критерий эффективности системы, формируется исходный вариант значений показателей системы управления и производится повторная процедура синтеза системы, которая приобретает каждый раз все большую определенность.

Разработка требований к системе управления

Для искусственных систем организационного или эрготического (человеко-машинного) типа четко сформулировать цель очень сложно, поэтому она вырабатывается в виде количественно-качественных требований к существенным свойствам системы, определяющим ситуацию или область ситуации в n -мерном пространстве, которая должна быть достигнута при функционировании системы (величина n обуславливается количеством выделенных существенных свойств объекта).

Требования формируются в виде показателей (количественные) и характеристик (качественные). Как правило, требования задаются в виде ограничения на допустимые пределы значений показателей.

Разработка требований производится в процессе решения всех перечисленных выше задач. Общие требования к системе управления документально оформляются, а затем уточняется отдельные требования к ее элементам, включая элементы, выделяемые при морфологическом (структурном), функциональном, информационном и параметрическом описании системы.

Разработка программ реализации требований к системе управления

Обычно, программа или план реализации требований включает [2]:

- ♦ перечень целей и задач (заданий) исполнителям (ответственным за создание системы управления развернутых во времени, взаимосвязанных по отношению к общей цели создания новой системы и сбалансированных по отношению к общей цели создания новой системы и сбалансированных по ресурсам);
- ♦ график (порядок) обеспечения исполнителей ресурсами (информационными, материальными; энергетическими и др.).

Сбалансированность по ресурсам означает, что не даются задачи, не обеспеченные ресурсами, и что произведено рациональное распределение ограниченных ресурсов между всеми исполнителями.

Реализация разработанных требований к системе управления

Целью задачи является реализация разработанных требований к системе управления в заданные сроки в соответствии с разработанной программой. Процесс непосредственного создания новой системы управления очень сложный.

Рассмотрим этапы реализации разработанных требований к человеко-машинной (эргатической) системе управления. Условно можно выделить следующие этапы реализации разработанных требований [19]:

- ♦ моделирование (математическое, физическое, сценарное) подсистем и систем в целом;

- ◆ макетирование системы;
- ◆ проектирование системы;
- ◆ конструирование системы;
- ◆ изготовление системы;
- ◆ испытание системы;
- ◆ оценка путей модернизации;
- ◆ возвращение к анализу замысла создания системы и перспектив его развития в связи с созданием новой системы.

Кратко охарактеризуем названные этапы.

Моделирование подсистем и системы в целом. На этом этапе концептуальное описание системы реализуется с помощью математической модели.

Целью моделирования является проверка разных аспектов функционирования системы, ее устойчивость по отношению к внешним факторам и оценка эффективности (по функциональному и физическому критерию) ее функционирования в различных условиях работы. Отработка модели включает создание всего оценочного аппарата. Моделирование позволяет повысить эффективность системы (по физическому критерию) путем дополнительного изменения ее морфологии и функциональных свойств. На основании результатов моделирования делается вывод о переходе к следующему этапу разработки или уточнению требований.

Макетирование системы. Главная задача макетирования состоит в отработке устройств, основанных на новых идеях.

Различают полное и частичное макетирование. Частичное макетирование применяется в тех случаях, когда основные подсистемы ясны и требуется уточнить отдельные блоки и подсистемы. Результаты частичного макетирования используются для повторного моделирования системы и дополнительной ее отработки на основании новых данных. Полное макетирование основных и вспомогательных подсистем применяется при разработке новых систем.

Этап макетирования является решающим и завершающим для творческой части разработки; далее начинается технологическая часть.

Проектирование системы. Задача проектирования охватить всю систему, а также средства и методы, необходимые для ее создания и обеспечения.

В проекте не должно быть сомнительных вопросов: проектирование должно опираться на полную информацию и решать только инженерные (в широком смысле) задачи.

Конструирование системы. Конструкция определяет пространственно-временное расположение элементов системы, их сопряжения, соединение и стыковку.

Задачей конструирования является разработка технологии изготовления системы, либо указание на возможность использования готовой технологии.

Описание конструкции должно быть развито до уровня, доступного и понятного лицам, не участвовавшим в разработке системы и незнакомым с исходными идеями.

Изготовление системы. Под словом «изготовление» новой системы понимается изготовление поэлементно и отработка поблочно (подсистемно), а также создание процесса и организации.

Технология и практика изготовления системы накладывают свой отпечаток на элементы системы и ее свойства в целом.

Для новых систем возможны случаи, когда изготовление подсистем с требуемыми параметрами (подготовка процесса, подбор людей, отработка слаженности групп) оказывается непосильной задачей, и тогда неизбежна соответствующая дополнительная работа (усовершенствование производства, обучение людей, изменение условий) или возвращение к одному их исходных этапов.

Испытание системы. Испытание включает натурную и модельную части с жесткой связью между ними. Для сложных

систем натурные испытания могут составить (звиду их дороговизны, сложности и продолжительности) до 10% всей работы. Испытания проводятся на основании физического критерия эффективности. Планирование экспериментов предполагает комплексный подход и последовательный анализ результатов с тем, чтобы результаты предыдущих экспериментов в полном объеме учитывались в последующих.

На испытаниях отрабатывается способ применения системы и повышение максимально допустимого значения ее эффективности (по физическому критерию). Испытания определяют соответствия системы своему назначению и целевой функции – по функциональному критерию, который вычисляется по результатам испытаний.

Перспективы дальнейшего развития системы оцениваются на основании сопоставления физического и функционального критериев с точки зрения возможностей и путей их дальнейшего увеличения.

Оценка путей модернизации. Научно-технический прогресс характеризуется быстрыми темпами развития процесса создания, накопления и использования знаний.

Появилась новая ситуация в мире выбора альтернатив создания новых систем, которая обусловлена следующими обстоятельствами:

- ◆ жизненный цикл созданной человеком системы (техники, оружия) стал на много меньше жизни человека;
- ◆ сокращение жизненного цикла созданной человеком системы сопровождается возрастанием полного цикла создания системы;
- ◆ проблема вложения средств и ресурсов.

Вырос масштаб, создаваемых человеком систем. Некоторые из них, например, энергетические, транспортные, информационные, стали глобальными. С ростом сложности и масштаба создания новой системы возросли затраты на их реали-

защиту. Риск неудачи выбора варианта создания новой системы становится все ощутимее.

Основой продления жизненного цикла системы является ее своевременная и неоднократная модернизация, идеи которой закладываются на этапе создания системы.

Следовательно, для придания системе какого-либо свойства надо строить ее подсистему, взаимосвязанную со всеми другими подсистемами, генеральной целью которой будет эффективное проявление этого свойства и, естественно, обеспечение его проявления.

Существенность (значимость) любого свойства системы будет зависеть в первую очередь от значимости подсистемы, его проявляющей и обеспечивающей это проявление.

Еще более сложно установление отношений между свойствами и процессами. Выявление совокупности этих отношений, установление взаимосвязей свойств системы и процессов, их показателей является важнейшей задачей исследования систем управления.

Выделение существенных свойств процессов и систем является в основном творческим, носит неформальный характер и во многом зависит от квалификации исследователя, его опыта и интуиции. Часть свойств определяется исследователем в ходе выработки требований, так как последние предъявляются к значениям показателей существенных свойств системы или процесса.

Определение (оценка) значений показателей существенных свойств производится, как правило, двумя способами: «прямыми замерами» на системе и с использованием модели ее функционирования.

Важным моментом является формирование правил определения факта величины несоответствия между значениями показателей существенных свойств процесса системы и требуемых их значений и оценка этого соответствия.

2.3. ПРИНЦИПЫ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Сформулированные задачи анализа и синтеза систем управления имеют следующие особенности:

- ♦ высокую размерность, определяемую большим количеством и разнообразием показателей;
- ♦ наличие множества альтернативных показателей эффективности, по которым осуществляется поиск рационального решения;
- ♦ отсутствие приемлемых аналитических зависимостей и процедур для определения искомых показателей;
- ♦ высокую неопределенность исходных данных.

Исходя из этого, поставленные задачи не могут быть эффективно решены с помощью известных методов одноуровневой оптимизации, использующих достаточно простые аналитические выражения для целевых функций, и требуют применения иных подходов на основе принципов декомпозиции многоуровневого моделирования, позволяющих снизить размерность решаемых задач, и многошаговых итеративных процедур выработки решений.

Рассмотрим единые принципы существования и действия сложных систем управления [2].

ПРИНЦИП ФИЗИЧНОСТИ И ЕГО ПОСТУЛАТЫ

Принцип физичности

Принцип физичности — всякой системе (независимо от ее природы) присущи законы (закономерности), возможно уникальные, определяющие внутренние причинно-следственные связи ее существования и функционирования [2].

Принцип физичности включает несколько постулатов.

Постулат целостности. Сложная система управления должна рассматриваться как единое целое.

Система — не множество подсистем, а целостный объект, допускающий различные членения на подсистемы. Поэтому система не тождественна никаким ее членениям.

Сущность постулата целостности состоит в том, что ни при композиции, т.е. объединении подсистем в систему, ни при декомпозиции, т.е. членении системы, не допустима потеря понятий, а также в том, что композиция и декомпозиция должны осуществляться в направлении генерирования характеризующей систему информации более высокого качества.

Выявление целостности требует учета всех взаимосвязей внутри системы, а также системы со средой. Необходимо выявить системное свойство, его содержание, механизм образования, факторы, которые препятствуют его появлению или снижают его уровень. Необходимо понять, какие свойства подсистем подавляются общесистемным свойством, каков механизм этого подавления и в каких условиях оно теряет силу.

Применение постулата целостности состоит в раскрытии и накоплении сведений о системных свойствах на всех этапах исследования и в обобщение их в понятия, а затем — в применении этих понятий к подсистемам при исследовании их порознь после декомпозиции. Рациональность декомпозиции

оценивается на основании определения целостности: если декомпозиция неудачна, системные и подсистемные понятия невозможно увязать, между ними теряется преемственность, они неустойчивы и производят случайное впечатление.

Система (как целое) обладает особым, системным свойством (свойствами), которого нет у подсистем (элементов) при любом способе декомпозиции.

Постулат декомпозиции систем. Анализ и синтез сложной системы управления осуществляется путем расчленения ее на подсистемы, располагаемые по уровням, причем подсистема на данном уровне является системой на нижележащем уровне и, в свою очередь, рассматривается как элемент вышележащего уровня. Принцип декомпозиции позволяет снизить уровень сложности исследуемой системы.

Значения свойств (характеристик) синтезируемой системы определяются в ходе многоуровневой процедуры выработки решений, начиная с рассматриваемых в рамках системы более высокого ранга, и кончая детальными свойствами (характеристиками) ее элементов (подсистем).

Постулат автономности. С точки зрения постулата целостности, разнообразие декомпозиции помогает выявлению системных свойств. С точки зрения постулата автономности, большинство декомпозиций, а может быть все, кроме одной, отпадут.

ПРИНЦИП МОДЕЛИРУЕМОСТИ И ЕГО ПОСТУЛАТЫ

Принцип моделируемости

Принцип модулируемости. Сложная система представима конечным множеством моделей, каждая из которых отражает определенную грань ее сущности [2].

Этот важный принцип дает возможность исследовать определенное свойство сложной системы при помощи одной или нескольких упрощенных (узкоориентированных) моделей. Модель ориентированная на определенную группу свойств сложной системы, всегда проще самой системы. Создание полной модели для сложной системы всегда бесполезно, так как такая модель будет столь же сложной, как и система.

Принцип моделируемости включает несколько постулатов.

Постулат действий. Для изменения поведения системы требуется прирост воздействия, превосходящего некоторое пороговое значение.

Изменение поведения сложной системы может быть связано с энергетикой, с веществом и с информацией, которые, накапливаясь, проявляют свое влияние скачкообразно, путем качественного перехода.

Одновременное энерго и информационное воздействие может привести к такому же результату, как энергетическое, с более высоким уровнем.

Таким образом, порог есть функция трех переменных: количества определенного вещества, количества энергии и количества определенной информации.

Реакция системы на внешнее воздействие имеет пороговый характер.

Постулат неопределенности. Существует область неопределенности, в пределах которой свойства системы могут быть описаны только вероятностными характеристиками.

Повышение точности определения (измерения) какого-либо количественно-описываемого свойства сложной системы, сверх некоторого предела, влечет за собой понижение возможной точности определения (измерения) другого свойства. Одновременно измерить значения двух (или более) па-

раметров с точностью, превышающей определенный уровень, невозможно.

Максимальная точность определения (измерения) свойств системы зависит от присущей данной системе области неопределенности, внутри которой повышение точности определения (измерения) одного свойства влечет за собой снижение точности определения другого (других).

Постулат дополнительности. Сложные системы, находясь в различных средах (ситуациях) могут проявлять различные системные свойства, в том числе альтернативные (т.е. несовместимые ни в одной из ситуаций по отдельности).

Наблюдатель воспринимает одни грани сущности в одних условиях и другие сущности в других.

Постулат многообразия моделей. Определение характеристик системы на всех уровнях производится с помощью множества моделей, в общем случае различаются используемыми математическими зависимостями и физическими закономерностями. Выбор моделей зависит от цели анализа и синтеза, и особенностей исследуемой системы.

Постулат согласования уровней. Требования к системе, формируемые на любом уровне, выступают как условия или ограничения на выбор частных моделей и предельных возможностей системы на нижележащих уровнях. В случае невозможности выполнения требований осуществляется корректировка условий.

Постулат внешнего дополнения. Проверка истинности результатов, получаемых на каждом уровне, производится с использованием исходных данных, моделей и методов вышележащих уровней. Данный постулат является основополагающим в общей теории систем и его соблюдение является необходимым условием получения правильных решений на всех уровнях исследования системы.

Постулат достаточности. Последовательность уровней (этапов) определения требуемых характеристик в процессе совершенствования сложной системы выбирается по возрастанию затрат на улучшение системы с проверкой достаточности принимаемых решений по заданным критериям эффективности. Постулат достаточности реализуется, как правило, при использовании критериев пригодности и разработке соответствующих моделей, с помощью которых принимаются конструктивные решения на каждом уровне выбора характеристик системы.

Постулат проверенного методического обеспечения. Для анализа и синтеза системы управления необходимо использовать хорошо отработанные и экспериментально проверенные модели и методики, обеспечивающие отдельные характеристики системы в заданные сроки и с требуемой точностью.

ПРИНЦИП ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННОСТИ И ЕГО ПОСТУЛАТЫ

Целенаправленность системы

Целенаправленность системы — функциональная тенденция, направленная на достижение системой некоторого состояния, либо на усиление (сохранение) некоторого процесса.

При этом система оказывается способной противостоять внешнему воздействию, а также использовать среду и случайные события.

Принцип целенаправленности включает в себя постулат выбора.

Постулат выбора. Сложная система обладает способностью к выбору поведения, и следовательно, однозначно предсказать способ действия и экстраполировать их состояние невозможно ни при каком априорном знании свойств системы и ситуаций.

Сложная система строит свое поведение в существенной (хотя и неоднозначной) связи с *ситуацией*. Следовательно, на это поведение можно влиять. Наиболее распространенными являются эргатические системы, для которых постулат выбора выдвигается на передний план. Познавание и практическое использование этого постулата имеет два аспекта.

Первый касается стимулирования или подавления «свободы» выбора. В исследовательских, поисковых, творческих системах возможность выбора должна быть максимальной с целью расширения диапазона деятельности. Исполнительные системы должны иметь возможность выбора в пределах поставленной задачи либо не иметь ее вовсе.

Второй аспект связан с количеством описаний выбора, его формальным представлением, качественной или количественной оценкой и использованием этой оценки при решении задач более общего характера.

Сложные системы управления обладают областью выбора и способностью выбирать поведение, т.е. осуществлять реакцию на внешние воздействия в зависимости от внутренних критериев целенаправленности; никакое априорное знание не позволяет ни надсистеме, ни самой системе однозначно предсказать этот выбор.

Постулат выбора позволяет сложной системе управления в соответствии с ее целенаправленностью использовать редкие благоприятные события, возникающие во взаимодействии со средой, блокируя остальные (неблагоприятные) события и процессы.

Принципы физичности, моделируемости, целенаправленности и их постулаты полно отражают методологию системного подхода исследования систем управления.

2.4. ВИДЫ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ И СИНТЕЗ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Структурный анализ систем управления

Прежде чем раскрыть сущность структурного анализа необходимо еще раз вернуться к понятию структура.

Структура — это внутренняя организация системы, которая способствует связи составляющих систему элементов, определяющая существование ее как целой и ее качественные особенности. Структура определяет упорядоченность элементов объекта.

Структура — это относительно устойчивый, упорядоченный способ связи элементов, придающий их взаимодействию в рамках внутренне расчлененного объекта целостный характер.

Сущностью структурного анализа является определение статических характеристик системы по известной ее структуре.

Структурный анализ проводится с целью исследования статических характеристик системы путем выделения в ней, подсистем и элементов различного уровня и связей между ними.

Объектами исследования структурного анализа являются: различные варианты структур системы управления, которые формируются в процессе ее декомпозиции.

В качестве показателей исследуемых структур целесообразно использовать [16]:

- ♦ множество выделенных элементов, отношений и связей;
- ♦ характеристики элементов и связей;
- ♦ обобщенные показатели структур, характеризующие их влияние на эффективность системы управления (число уровней управления, структурная устойчивость, экономические затраты на поддержание требуемых структурных характеристик и др.)

При выборе и оценке значений показателей структуры применяются различные методы описания и моделирования, которые зависят от вида структуры, степени неопределенности исходных данных и требований, предъявляемых к точности и достоверности результатов анализа. Процедура определения показателей структур включает следующие этапы:

- ♦ определение исходных данных для решения задачи оценивания структуры;
- ♦ вычисление значений характеристик элементов структуры и связей между ними;
- ♦ вычисление значений характеристик (показателей эффективности) структуры.

Исходные данные включают [16]:

- ♦ модель исследуемой структуры, задаваемую в графической, матричной или аналитической форме;
- ♦ перечень определяемых обобщенных показателей эффективности (характеристик) структуры q_l , $l = 1, 2, \dots, L$;
- ♦ перечень определенных показателей (характеристик) элементов h_i , $i, j = 1, 2, \dots, n$;
- ♦ значения характеристик x воздействий окружающей среды, условий функционирования системы управления, частных технических, экономических, эксплуатационных, организационно-штатных и других

характеристик элементов и связей, указанных в соответствующей документации или определяемых в ходе измерений и наблюдений.

На основании исходных данных вычисляются значения показателей элементов и связей:

$$h_i = f_i(x); h_{ij}(x), i, j = 1, 2, \dots, n \quad (2.1)$$

Затем определяются значения показателей эффективности.

$$q_l = F_l(h_1, h_2, \dots, h_n; h_{12}, h_{13}, \dots, h_{n, n-1}) \quad (2.2)$$

Оценка эффективности анализируемых структур производится, как правило, на основе установленного критерия пригодности, который для минимизируемых показателей эффективности будет иметь вид:

$$q_l < q_{ol}, l = 1, 2, \dots, L, \quad (2.3)$$

где q_{ol} — требуемое значение l -го показателя.

Исследование моделей и оценка структуры проводятся на основании конкретных числовых значений q_l и производится их оценка.

На основании оценки производится выбор варианта структуры или же предложения по совершенствованию структуры.

Структурный синтез систем управления

Необходимо обратить внимание на следующее обстоятельство, что в отличие от технических систем при исследовании организационных (общественных) систем вместо понятия синтез используются такие, в принципе идентичные понятия, как создание, проектирование, совершенствование, реорганизация и организация системы. При этом под организацией системы понимается совокупность процессов, действий, ведущих к образованию и совершенствованию взаимодействия между частями целого, т.е. процесс создания системы, т.е. синтез системы.

Сущностью структурного синтеза является разработка (создание, проектирование, совершенствование, реорганизация и организация) системы, которая должна обладать желаемыми свойствами.

Структурный синтез проводится с целью обоснования множества элементов структуры, отношений и связей между ними, характеристик элементов и связей, обеспечивающих в совокупности максимальную степень соответствия заданным требованиям.

Объектами исследования структурного синтеза являются различные варианты разрабатываемых (совершенствуемых) структур системы управления.

К основным обобщенным показателям исследуемых структур относятся [16]:

- ◆ число управляемых объектов;
- ◆ время и достоверность доведения информации до управляемых объектов;
- ◆ вероятность реализации полного цикла управления с использованием синтезируемой структуры;
- ◆ живучесть структуры;
- ◆ суммарная стоимость структуры и др.

В процессе структурного синтеза определяются множество элементов структуры, отношения и связи между ними, характеристики элементов и связей, обеспечивающие оптимальные или рациональные значения обобщенных показателей (2.2) в соответствии с выбранными критериями эффективности

$$q_i \in G, \quad (2.4)$$

где G — множество требуемых значений показателей эффективности q_i .

Общая модель структурного синтеза включает определение показателей структуры (2.1) $\mu = f(h_i, h_{ij})$, $\mu \in M$, обеспечивающие требуемые значения показателя эффективности q_i

(2.1), при заданных условиях выбора $\nu \in N$, т.е. определить $\mu \in M$, при которых

$$q_i(\mu, \nu) \in G, \nu \in N, \quad (2.5)$$

где M — допустимые (предельно, возможные) значения определяемых показателей структуры;

N — заданные значения условий выбора;

G — множество требуемых значений показателей эффективности q_i .

Критерий эффективности (2.5) выбирается с учетом требований, предъявляемых к системе управления. На выбор критерия влияют требования, предъявляемые к точности определения показателей μ , степень определенности исходных данных, наличие методического аппарата.

Условия выбора ν характеризуют все необходимые исходные данные, которые имеет исследователь к моменту решения задачи синтеза. Исходные данные определяются на основе опыта создания и применения аналогичных структур в ходе анализа исследуемой системы управления, уточняются и дополняются в процессе внедрения синтезируемой структуры. Условия выбора ограничивают число возможных вариантов синтезируемых структур и учитываются при окончательном выборе варианта создаваемой структуры системы управления.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И СИНТЕЗ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Вопрос о взаимоотношении структуры и функции — один из древних. Аристотель, задавал вопрос «ради чего существует орган?» (имея ввиду биологическую систему), отвечал: «ради выполнения определенной цели», т.е. функции.

Рассматривая структуру и функцию, предпочтение отдают первичности в изменении функции. Однако наиболее правильно рассматривать диалектическую взаимосвязь и взаимо-

обусловленность их изменений в процессе эволюции (изменение среды требует изменение функции; а она, в свою очередь, влияет на изменение структуры).

Функциональный анализ систем управления

Функциональный анализ осуществляется одновременно с исследованием структуры системы управления.

Сущностью функционального анализа является определение динамических характеристик систем на основании принятых алгоритмов ее функционирования.

Функциональный анализ проводится с целью определения динамических характеристик системы путем исследования процессов изменения ее состояний с течением времени на основе принятых алгоритмов (способов, методов, принципов, концепций) управления. Можно сказать, что функциональный анализ направлен на детальное исследование процессов управления.

Объектами исследования функционального анализа являются реализуемые системой методы и алгоритмы управления, включая общий алгоритм функционирования, содержащий все основные этапы (фазы, функции) управления, и частные методы и алгоритмы, направленные на выполнение отдельных этапов управления (формирование цели управления, сбор и обработка необходимой информации, принятие решений, планирование, организация, контроль, выполнение решений и др.).

Функциональный анализ может включать следующие основные этапы [16]:

- ♦ определение и описание общего процесса управления, реализуемого исследуемой системой;
- ♦ декомпозицию общего процесса управления на ряд частных функций (задач, операций), выполняемых элементами системы управления;

- ♦ определение качественных и количественных характеристик исследуемых процессов и функций управления;
- ♦ формирование критериев и оценку эффективности функционирования системы управления;
- ♦ принятие решения о необходимости совершенствования функциональных характеристик системы управления.

Остановимся кратко на содержании указанных этапов.

Определение и описание общего процесса управления, реализуемого исследуемой системой включает:

- ♦ формирование или уточнение цели управления;
- ♦ формирование управляющих воздействий;
- ♦ реализацию воздействий;
- ♦ контроль результатов реализации воздействий.

Основная цель системы управления рассматривается как желаемое (требуемое) множество состояний объекта управления и элементов окружающей среды, на которые активно воздействует объект управления в желаемые моменты времени.

Существуют следующие виды целей: цель — состояние, цель — движение и цель — направление.

Если перед системой управления не поставлена или не сформулирована цель, функциональный анализ не имеет смысла.

Формирование управляющих воздействий осуществляется на основании установленной цели и включает следующие составляющие:

- ♦ получение информации об объекте управления и окружающей среде;
- ♦ накопление, обработка и анализ информации;
- ♦ определение возможных вариантов воздействий;
- ♦ выбор рационального варианта воздействий;
- ♦ разработка программы (плана, алгоритма) реализации воздействий, предусматривающей последователь-

ность выдачи воздействий и предполагаемые (эталонные) состояния и реакции объекта на эти воздействия.

Реализация воздействий включает два основных этапа:

- ◆ передачу воздействий объекту управления по имеющимся прямым связям (материальным, энергетическим, информационным);
- ◆ отработку воздействий объектом управления, в ходе которой осуществляется его переход в новое состояние и формирование ответных воздействий (реакций), передаваемых в управляющую систему по обратным связям (информационным).

Контроль результатов реализации воздействий включает:

- ◆ получение информации о состоянии объекта после воздействия;
- ◆ обработку этой информации и сравнение ее с эталонной;
- ◆ анализ результатов сравнения и переход к формированию новых управляющих воздействий.

Декомпозиция общего процесса управления включает:

- ◆ проведение детализации общей цели управления на ряд частных взаимосвязанных целей и формирование дерева (иерархии) целей;
- ◆ определение элементов системы управления, реализующих сформированные цели;
- ◆ исключение элементов не имеющих цели функционирования;
- ◆ выявление функций управления (основных и обеспечивающих), которые необходимы для эффективной реализации всех фаз (этапов) управления в соответствии с общей и частными целями управления;
- ◆ сопоставление выделенных функций элементам (исполнителям, руководителям, органам, техническим устройствам) анализируемой системы и оценка полноты их реализации;

- ♦ выявление дублирующих, бесполезных, малоэффективных, надуманных, излишних функций и выработка рекомендаций по совершенствованию системы управления.

В ходе функционального анализа необходимо *оценить качественные и количественные характеристики* исследуемых процессов с целью принятия обоснованных решений о степени соответствия системы управления предъявляемым требованиям и необходимости ее дальнейшего совершенствования.

Совокупность количественных и качественных характеристик можно разделить на следующие группы: комплексные характеристики, позволяющие оценивать существенные свойства системы; структурные характеристики, позволяющие оценивать структуру процесса управления, формируемую в ходе его декомпозиции; частные характеристики, определяющие свойства отдельных этапов (фаз), функций, работ и других управленческих действий, рассматриваемых в качестве отдельных элементов процесса управления. Комплексные характеристики процесса управления включают: непрерывность, оперативность, точность, устойчивость, скрытность, эффективность.

Непрерывность — свойство (способность) процесса управления не допускать перерывы между последовательно выполняемыми этапами (фазами) или другими действиями процесса, приводящими к снижению качества управления. Непрерывность процесса нарушается, если между двумя последовательно выполняемыми этапами, возникает незапланированная пауза, приводящая к снижению качество выполнения последующих этапов (например, из-за потери ценности информации), несвоевременному достижению поставленной цели или срыву всего процесса управления.

Оперативность — свойство процесса управления обеспечивать завершение цикла управления в требуемые сроки.

Точность — свойство процесса управления обеспечивать максимальную степень соответствия реального движения (или конечного состояния) требуемому (эталонному) движению (или конечному состоянию) объекта управления.

Характеристики точности зависят от разности между эталонным и реальным движением или состоянием объекта управления.

При исследовании процессов управления предприятиями точность можно оценить с помощью разности между прогнозируемой и реальной прибылью, полученной в результате управленческой деятельности руководства данного предприятия.

Устойчивость — свойство процесса управления сохранять и восстанавливать свое качество в условиях внешних и внутренних возмущений.

Скрытность — свойство процесса управления противостоять раскрытию противником или другой противодействующей системой планируемых и выполняемых действий.

Данное свойство определяет качество процесса управления в конкурирующих (противоборствующих системах), которые вынуждены в силу каких-либо причин скрывать передаваемую или обрабатываемую информацию.

Эффективность — степень соответствия реальных (фактических или ожидаемых) результатов процесса управления требуемым или, иными словами, это степень достижения цели управления.

Структурные характеристики процесса управления используются для оценки множества анализируемых элементов (функций, работ, действий, фаз, этапов и др.) процесса управления и связей между ними.

К структурным характеристикам процесса управления организационными системами (при их декомпозиции по уровням и функциям) можно отнести [15]: число функций управления каждого уровня и общее число функций управления, реализуемых

исследуемым процессом управления; подчиненность (зависимость по входной и выходной информации) функций управления; число функций управления, выполнение которых зависит от выходной информации функций управления вышестоящего уровня; время реализации каждой функции управления.

При анализе конфигурации структуры процесса управления целесообразно учитывать следующие характеристики сетевых структур [16]: связность структуры, определяемую количеством информационных связей между выделенными функциями процесса; структурную избыточность, определяющую превышение числа связей между функциями процесса над минимально необходимым.

К частным характеристикам процесса управления можно отнести [16]: количество информационных входов и выходов каждой функции; число и перечень информационных и расчетных задач, решаемых при реализации соответствующей функции управления; объем входной, выходной и обрабатываемой информации; средняя продолжительность или другие вероятностные характеристики сроков решения соответствующих частных задач; характеристики потока заявок на выполнение соответствующих функций; перечень и характеристик алгоритмов, машинных программ или пакетов прикладных программ, используемых для реализации функций.

Оценка связей между функциями процесса управления может производиться с использованием следующих характеристик: объема и содержания информации, передаваемой с использованием соответствующей связи времени передачи информации; характера возмущений, влияющих на качество передаваемой информации.

Функциональный синтез систем управления

Функциональный синтез, также как и анализ, осуществляется одновременно с исследованием структуры системы управления.

Сущностью синтеза является обоснование динамических характеристик системы управления, которые должны обладать желаемыми свойствами.

Целью функционального синтеза является обоснование оптимальных или рациональных характеристик процессов функционирования системы управления, т.е. процессов изменения ее состояний с течением времени в соответствии с поставленной целью.

При постановке общей задачи функционального синтеза необходимо учитывать критерии эффективности управления. В соответствии с заданным критерием задача формулируется следующим образом [16]: сформировать процесс управления (управляющее воздействие) $u(t) \in U_T$, обеспечивающий требуемые значения показателя эффективности q при заданных условиях выбора (неуправляемых факторах) $v \in N$:

$$q(u(t), v) \in G, u(t) \in U_T, v \in N.$$

При этом форма представления управляющих воздействий зависит от вида системы управления, реализующей исследуемый процесс. Для общественных систем управления воздействия $u(t)$ формируются и передаются в виде информации (указаний, распоряжений, команд, приказов), определяющей дальнейшее поведение объекта управления. Для технических систем управления воздействия могут задаваться в форме характеристик механических усилий, параметров электрического тока, температуры, давления, действующих на объект управления.

Условия выбора (неуправляемые факторы) $\vee$ включают значения отдельных параметров системы управления и окружающей среды, независящих от управляющих воздействий $u(t)$, но влияющих на значение показателя эффективности.

Для получения решений, близких к оптимальным, необходимо исследовать процессы функционирования в рамках всех формируемых вариантов структур и, в свою очередь, формировать варианты структур, обеспечивающих эффективную реализацию выбранных алгоритмов.

ИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ И СИНТЕЗ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Объектом информационного анализа и синтеза являются информационные процессы, протекающие в системе управления. Остановимся на их сущности и содержании, для чего рассмотрим:

- ♦ коммуникационную (информационную) схему передачи информации в системе управления;
- ♦ классификацию информационных процессов;
- ♦ характеристику существенных свойств информационных процессов;
- ♦ структуру информационного процесса.

Коммуникационная (информационная) схема передачи информации в системе управления

Коммуникационная (информационная) схема передачи информации в системе управления показана на рис. 2.2.

На рис.2.2 источником информации является объект управления, посылающий по каналу обратной связи (КОС) информацию о своем состоянии. Приемник информации, он

же управляющий объект, в зависимости от количества и содержания информации об объекте управления, вырабатывает решение по воздействию на него. Это решение в виде команд и сигналов управления по каналу прямой связи (КПС) передается на объект управления. После выполнения команд объект управления посылает на управляющий объект информацию своего изменения состояния и т.д. Таким образом замыкается цикл обмена информацией в системе управления.

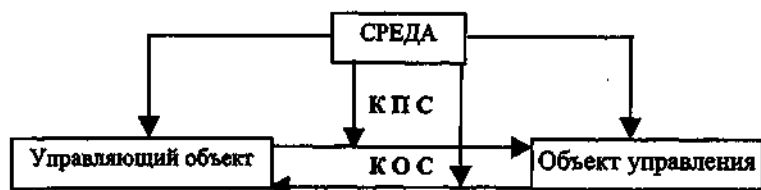


Рис. 2.2. Коммуникационная схема передачи информации.

В реально функционирующих системах управления на источник информации, приемник информации и линию передачи информации воздействует среда, в которой данная система функционирует, внося свои коррективы как в количество информации, так и в качество.

Процесс управления как процесс выработки управляющих воздействий является информационным процессом (ИП).

Любой информационный процесс в системе управления структурно можно представить как некоторую совокупность процессов [10]:

- ♦ сбор, прием, восприятие информации (эти процессы отражают взаимодействие системы с внешней средой);
- ♦ передача информации между отдельными подсистемами системы;
- ♦ переработка, анализ, отбор информации, создание новой информации;
- ♦ использование информации;

- ♦ хранение, запоминание информации;
- ♦ передача информации из системы во внешнюю среду.

В общем ИП есть целенаправленная совокупность операций по преобразованию информации, реализуемых в определенной среде, начиная с момента ее поступления в систему (возникновения), и кончая выдачей пользователю.

Причем понятие «пользователь» надо понимать в широком смысле. Им могут быть: ЛПР (лицо, принимающее решение), получающее информацию в удобном для восприятия виде; технические устройства, преобразователи информации на магнитной ленте, диске, в оперативной памяти, канале связи и т.д.; программы, преобразующие полученную информацию.

Для удобства исследования ИП целесообразно классифицировать их. Классификация ИП проводится как при анализе, так и при синтезе систем управления.

Классификация информационных процессов

При классификации следует различать однородные и неоднородные совокупности ИП (рис.2.3).

Будем считать заданную совокупность ИП однородной, если характер использования ресурсов системы, обеспечивающей их реализацию, одинаков для всех ИП и порядок обслуживания в ней не связан с их принадлежностью к конкретным ИП. В противном случае совокупность ИП считается неоднородной.

В свою очередь, среди неоднородных совокупностей ИП можно выделить приоритетные и неприоритетные. Неоднородная совокупность ИП является неприоритетной, если порядок обслуживания заявок отдельных ИП не зависит от их принадлежности к конкретным ИП, в противном случае она считается приоритетной.



Рис. 2.3. Классификация информационных процессов.

Для неприоритетной совокупности ИП наиболее характерны следующие дисциплины обслуживания: в порядке поступления; в обратном порядке и на основе разделения времени.

Для приоритетной совокупности ИП дисциплина обслуживания зависит от «важности» ИП. Порядок обслуживания (представление ресурсов для реализации ИП) основывается на анализе приоритетов ИП, для чего каждому ИП приписывается число, именуемое приоритетом. Обычно считается, что чем меньше значение этого числа, тем «важнее» ИП, т.е. тем больше преимущество ему должно быть представлено.

По способу назначения приоритета различают системы с фиксированными и динамическими приоритетами. В первом случае числовое значение приоритета ИП сохраняется постоянным в процессе его обслуживания (в том числе и с учетом времени ожидания обслуживания), во втором — с течением времени меняется, являясь, некоторой функцией от времени обслуживания.

Приоритетную совокупность, не относящуюся ни к одному из указанных типов, будем называть составной. Для нее обыч-

но используются различные комбинации описанных способов назначения приоритета «конкурирующих» ИП.

При анализе каждого отдельного ИП прежде всего следует различать простые и сложные ИП.

Простой ИП можно представить в виде графа, из каждой вершины которого (кроме конечной) исходит одна дуга и в каждую вершину которого (кроме начальной) входит также одна дуга (рис. 2.4).

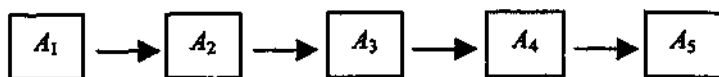


Рис. 2.4. Структура простого ИП.

Любой ИП, не являющийся простым, будем называть сложным. Сложные ИП, в свою очередь, подразделяются на ветвящиеся и ИП с размножением. Для определения указанных ИП введем следующие понятия. Будем называть точкой ветвления ИП финальную точку этапа, после завершения которого осуществляется переход на один из альтернативных этапов с вероятностями P_{ij} (рис. 2.5).

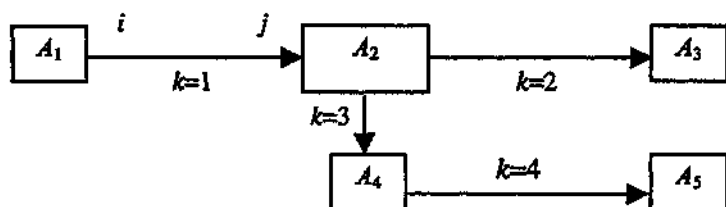


Рис. 2.5. К вопросу об определении точки ветвления ИП.

Причем $\sum P_{ij} = 1$, где i — вершина — источник информации; j — вершина — получатель информации; k — номер дуги, по которой эта информация передается.

В данном случае из вершины A_2 , соответствующей точке ветвления, выходят две дуги, которые определяют альтернативные пути продолжения ИП.

Назовем точкой размножения ИП финальную точку этапа, после завершения которого осуществляется переход на параллельное выполнение двух и более последующих этапов (рис. 2.6), в результате чего параллельные ветви вновь сходятся.

В этом случае из вершины A_2 , соответствующей точке размножения ИП, исходят две дуги, каждая из которых задает переход на выполнение параллельного подпроцесса (параллельной ветви).

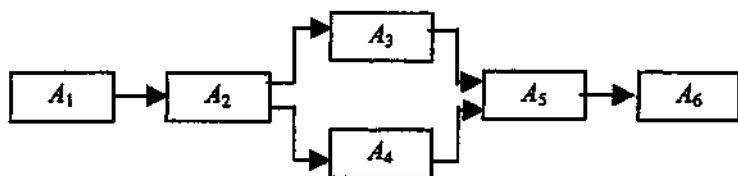


Рис. 2.6. К вопросу об определении точки размножения ИП.

В свете введенных понятий ИП с размножением определяется как ИП, имеющие хотя бы одну точку размножения. «Чисто» ветвящимся будем называть ИП, у которого есть хотя бы одна точка ветвления и нет точек размножения.

В свою очередь, ИП с размножением подразделяется на ИП с независимыми и зависимыми параллельными ветвями. Параллельная ветвь является независимой, если ни для одного из этапов задаваемого ею подпроцесса не требуется синхронизация с выполнением других этапов данного ИП. В противном случае такая ветвь считается зависимой. Синхронизация необходима, когда этап данного подпроцесса, завершающий подготовку данных, используемых другим подпроцессом, должен быть выполнен ранее начала этапа последнего подпроцесса, где эти данные обрабатываются. Очевидно, что подавляющее число ИП есть комбинация ветвящихся и размножающихся ИП.

Несмотря на все многообразие ИП, протекающих в системах управления, с точки зрения технологии обработки инфор-

мации они имеют много общего. Это позволяет представить обобщенную схему обработки информации в системах управления (рис. 2.7).

Источниками информации в системах управления могут быть должностные лица (ДЛ) органов управления, автоматические датчики (АД) и вычислительные комплексы (ВК). В общем случае информация до момента выдачи ее пользователю проходит следующие основные технологические этапы преобразования [10]:

- ◆ сбор данных (вручную или автоматически);
- ◆ формирование сообщения (запроса);
- ◆ передача данных по каналам связи с использованием средств автоматизации или традиционными способами;
- ◆ выдача данных ЛПР для принятия решения или их ввода в вычислительный комплекс (ВК);
- ◆ решение информационных или расчетных задач в ВК;
- ◆ выдача результатов решения задач ЛПР для принятия решения;
- ◆ доведение результатов принятия решения или результатов решения задач до адресатов.

Для различных категорий пользователей количество этапов, их длительность, а также типы генерируемых ими сообщений (запросов), как правило, различны. Они зависят от конкретного предназначения системы, технической реализации ее отдельных элементов, их приоритетов, характера сведений, передаваемых в информационных сообщениях, и т.д.

Так, для получения справки, пользователи, локально подключенные к достаточно мощному ВК, могут привлечь другие ВК (т.е. без выхода в систему передачи данных).

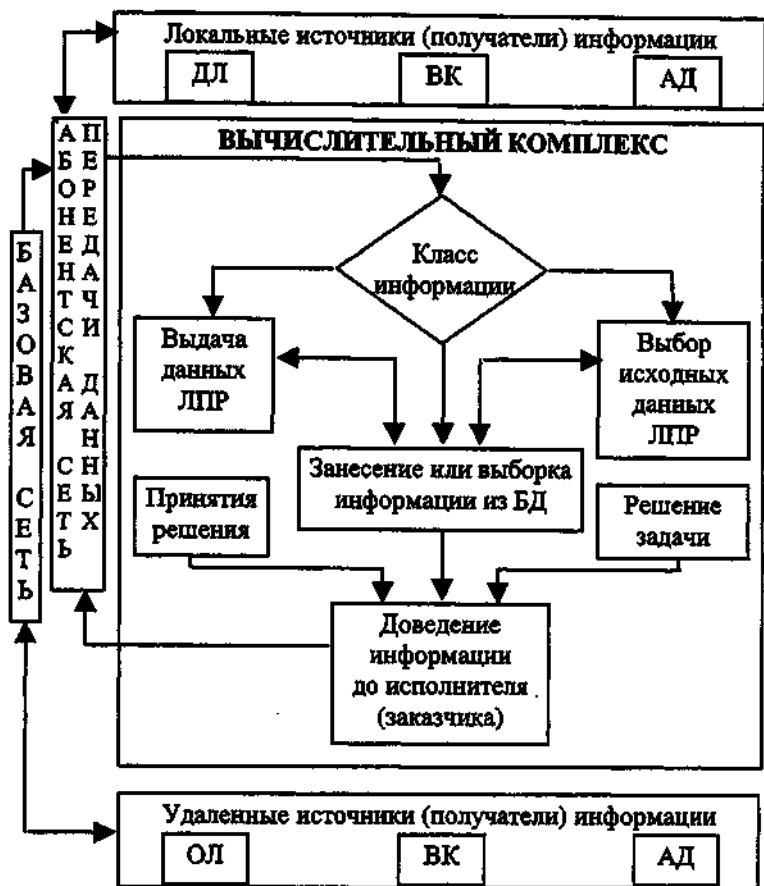


Рис. 2.7. Обобщенная схема обработки информации в системах управления.

Структура информационного процесса

Определив понятие информационного процесса как совокупность операций по преобразованию информации, необходимо отметить следующее.

Любая информационная единица (*л*), обладающая потребительской стоимостью (качеством), характеризуется содержа-

нием (S), формой (F), пространственным расположением (L) и временем (T), т.е. $I = \{S, F, L, T\}$.

Каждая из этих характеристик в процессе преобразования (в информационном процессе) может изменяться. При этом различают следующие виды преобразования информации [10]:

- ♦ содержательное (семантическая обработка, в результате которой получается новая информация);
- ♦ преобразование формы (например, кодирование, декодирование и т.п.)
- ♦ преобразование в пространстве и времени (например, передача данных и соответственно хранение).

Элементарным действием в информационном процессе является операция преобразования информации (рис.2.8).

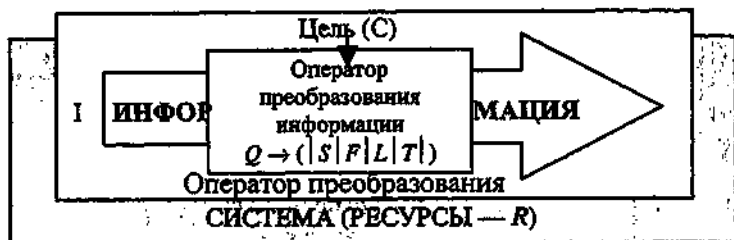


Рис. 2.8. Структура операции преобразования информации.

$I' = Q(I, C, R)$, где I' , I — кванты информации; Q — оператор преобразования; C — цель; R — ресурсы.

Основные атрибуты операции — информация (объект преобразования); оператор (субъект преобразования) и цель (требования к преобразованию).

Любая операция по преобразованию информации характеризуется типом (V), который определяется в зависимости от типа оператора $Q \rightarrow (|S|F|A1||L|T|)$, сложностью (U), зависящей от типа оператора и цели преобразования $U = \langle V, C \rangle$, времени (T) ее реализации $T = \langle U, I \rangle$ и ресурсоемкости (R).

Информационный процесс структурно можно представить множеством подпроцессов. В зависимости от того, какие виды преобразования информации доминируют (т.е. являются ос-

новными в системе достижения цели), можно выделить следующие подпроцессы [10]:

1. Процесс формирования (подготовки) информации. Он осуществляется с целью подготовки информации для преобразования. Доминирующим видом преобразования в этом случае будет преобразование формы (F).

2. Процесс передачи информации. Его цель — перенос информации от источника к потребителю. Очевидно, что основным видом преобразования здесь является преобразование информации в пространстве (L).

3. Процесс семантического (смысловой) обработки информации — центральный подпроцесс ИП в системе управления. В результате его осуществления появляется новая информация, на основе которой в конечном счете формируются управляющие воздействия. Именно по этому процессу можно полностью идентифицировать всю систему с управлением и именно от качества его реализации в основном зависит эффективность ее функционирования. Цель данного процесса — выработка адекватных управляющих воздействий оптимальным (рациональным) способом. Доминирующий вид преобразования в этом случае — преобразование содержания информации (S).

Процесс хранения информации. Цель данного процесса — обеспечить существование информации во времени. Основной вид преобразования здесь — преобразование информации во времени (T).

Очевидно, что все реальные процессы и системы, их реализующие, а следовательно, и структуры ИП уникальны. Специфика функционирования реальных систем (что и определяет их уникальность) проявляется в содержании самой информации, составе и последовательности применения конкретных операторов по ее преобразованию и целей, существе того или иного процесса, составе и взаимосвязи подпроцессов, а также в конкретных глобальных целях функционирования системы с управлением. Представим на рис. 2.9 фраг-

мент структуры ИП, который обычно присущ большим системам управления [10].

Управленческие (информационные) процессы можно реализовать на ЭВМ, если их удастся формализовать. Под формализацией в этом случае понимается точное описание изучаемого объекта. Формализация процесса управления включает выделение управленческих функций и задач, разработку для них постановок и проведения алгоритмизации. Процесс считают полностью формализованным, если алгоритмы к задачам представлены и математически переведены на машинные программы, и при решении задач уже не нужно учитывать их физическое содержание. Потребность в знании физического содержания появляется лишь при использовании полученных результатов.

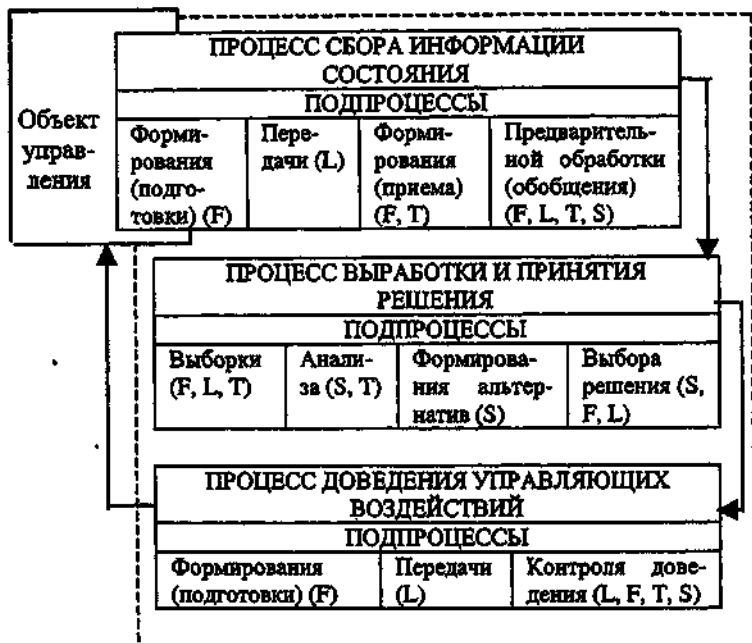


Рис. 2.9. Фрагмент структуры ИП.

Информационный анализ систем управления

Сущностью информационного анализа является определение объема и форм представления информации, методов и средств ее передачи, обработки, хранения, ввода и вывода для известной структуры и алгоритма функционирования системы управления.

Информационный анализ выполняется с целью исследования количественных и качественных характеристик информации, используемой в системе управления.

Объектами исследования являются информационные процессы, протекающие в системе управления.

Процедура информационного анализа включает:

- ♦ определение потребности в информации на каждой стадии управления;
- ♦ планирование потребностей в информации;
- ♦ определение количественных и качественных характеристик коммуникационных процессов;
- ♦ определение потребности в информации при оценке эффективности управленческих решений (воздействий).

К показателям (характеристикам) информации относятся:

- ♦ объем и скорость передачи информации;
- ♦ достоверность передаваемых сообщений;
- ♦ направление информационных потоков;
- ♦ характеристики методов обработки информации и совершаемые при этом ошибки;
- ♦ качественный состав информации;
- ♦ количество обрабатываемых или передаваемых документов;

- ♦ суммарное количество обрабатываемых или передаваемых документов и др.

На основе результатов информационного анализа вырабатываются предварительные рекомендации по разработке информационного обеспечения системы управления, включая способы передачи, обработки и представления информации, состав информации, необходимой для нормального функционирования системы, структуру информационного обмена и др.

Информационный синтез систем управления

Сущностью информационного синтеза является обоснование необходимого объема и форм представления информации, методов и средств ее передачи, обработки, хранения, ввода и вывода для разрабатываемой структуры и алгоритма функционирования системы управления.

Информационный синтез дополняет задачи функционального синтеза и осуществляется с целью определения требуемых качественных и количественных характеристик информации, используемой в процессе функционирования системы управления.

В ходе информационного синтеза производится обоснование необходимого объема и форм представления информации, методов и средств ее передачи, обработки, хранения, ввода и вывода.

Определение оптимальных или рациональных характеристик информации производится, как правило, с использованием показателей и критериев эффективности, учитывающих структурные и функциональные особенности системы. При этом одной из основных проблем информационного синтеза является количественная оценка степени влияния данных ха-

рактических на результаты функционирования системы управления.

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И СИНТЕЗ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Параметрический анализ и синтез обобщает результаты вышеперечисленных видов анализа и синтеза и выполняется с целью оценки эффективности системы управления на основе определения количественных значений ее показателей.

Параметрический анализ систем управления

Сущностью параметрического анализа является определение необходимой и достаточной совокупности показателей, характеризующих все исследуемые свойства системы и формирование зависимостей, характеризующих суммарный эффект от применения системы или ее элементов.

Целью параметрического анализа является оценка эффективности системы управления на основе определения количественных значений ее показателей.

Объектами исследования параметрического анализа являются частные и обобщенные показатели системы, образующие иерархическую структуру.

С помощью показателей верхнего уровня определяют внешние свойства анализируемой (разрабатываемой) системы и оценивают ее влияние на эффективность решения задач системой более высокого уровня.

Показатели нижнего уровня — частные показатели (параметры) системы, которые характеризуют ее структуру, про-

цессы функционирования, информационные потоки или другие свойства.

Взаимосвязи показателей эффективности, характеризующие суммарный эффект с частными показателями (параметрами) могут быть представлены в следующем виде [16]:

$$q_i = F_i(h_i), i = 1, 2, \dots, n,$$

где q_i — показатели эффективности, характеризующие суммарный эффект от применения системы или ее элементов, рассматриваемых как отдельные системы на i -м уровне исследования;

h_i — частные показатели (параметры) системы, характеризующие ее структуру, процессы функционирования, информационные потоки или другие свойства на i -м уровне исследования.

При проведении параметрического анализа конкретной системы управления необходимо решить две основные задачи [16].

Определить качественные и количественные характеристики (показатели) системы, степень детализации которых удовлетворяет исследователя.

Выявить имеющиеся недостатки анализируемой системы и принять решение о ее дальнейшем использовании.

Решение первой задачи будет характеризоваться множеством показателей $\{I\}$ системы управления:

$$I = \{\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n\},$$

где π_j — количественный (качественный) показатель свойства системы.

Множество $\{I\}$ будет характеризовать информацию о системе, получаемой в результате анализа, поэтому первая задача может быть сформулирована следующим образом [15]: определить значения показателей анализируемой системы $I^* = \{\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n\}$, при которых

$$I(\prod^*) = \max I(I); R(I) \subset R_D,$$

где $I(\Pi)$ — количество информации, полученной в результате анализа;

$R(\Pi)$ — общие затраты ресурсов на проведение анализа;

R_D — область допустимых значений материальных и временных ресурсов, выделенных для проведения анализа.

Π_G — множество допустимых результатов анализа, включающее различные подмножества Π вариантов состава и значений показателей анализируемой системы.

В общем случае анализ будет приводить к снижению неопределенности исследуемой системы, т.е.

$$I(\Pi^*) = H(\Pi_0) - H(\Pi^*),$$

где $H(\Pi_0)$ — энтропия системы до проведения анализа;

Π_0 — показатели системы, известные исследователю до проведения анализа;

$H(\Pi^*)$ — энтропия системы после проведения анализа.

После решения первой задачи формулируется вторая задача [16]: определить подмножества показателей (значений показателей) $\Pi_k \subset \Pi$ и соответствующих им свойств системы, которые не удовлетворяют предъявляемым требованиям, т.е.

$$\Pi_k \subset \Pi_{tr}, \Pi_k \subset \Pi, \Pi_k = \Pi_{n1} \cup \Pi_{n2},$$

$$\pi_{1i} \in \Pi_{n1} \rightarrow \pi_{1i} < \pi_{tr1}, \pi_{1j} \in \Pi_{n1} \rightarrow \pi_{1j} > \pi_{tr1},$$

$$\pi_{2k} \in \Pi_{n2} \rightarrow \pi_{2k} = 0,$$

где Π_{tr} — требуемое значение показателей анализируемой системы;

Π_{n1} — подмножество неудовлетворительных значений показателей измеряемых свойств системы;

Π_{n2} — подмножество неудовлетворительных показателей неизмеряемых свойств системы, интенсивность проявления которых нецелесообразно определять с помощью количественных оценок;

π_{1i} — количественный показатель i -го измеряемого свойства системы, интенсивность проявления которого необходимо увеличивать;

π_{1j} — количественный показатель j -го измеряемого свойства системы, интенсивность проявления которого необходимо уменьшать;

π_{2k} — показатель k -го неизмеряемого свойства системы, принимающих следующие значения: $\pi_{2k} = 0$ при отсутствии у системы k -го свойства или функции управления; $\pi_{2k} = 1$ в противном случае.

На основании результатов параметрического анализа делается заключение о целесообразности использования существующей системы и определяются основные направления ее совершенствования, обеспечивающие улучшение тех частных показателей, которые оказывают максимальное влияние на эффективность управления.

Параметрический синтез систем управления

Сущностью параметрического синтеза является обоснование необходимой и достаточной совокупности показателей, позволяющих оценивать желаемые свойства разрабатываемой системы и ее суммарный эффект.

Целью параметрического синтеза является комплексное определение согласованных и сбалансированных по уровням исследований системы, требуемых значений ее показателей, включая общие показатели эффективности управления, а также частные показатели структуры, процессов функционирования информации.

В процессе параметрического синтеза необходимо определить новые значения показателей создаваемой системы, удовлетворяющие следующим соотношениям [16]:

$$q_1 = F_1(h_1) \subset G_1;$$

$$h_1 = \Phi_{12}(q_2);$$

$$\begin{aligned}
 & \dots \\
 & q_i = F_i(h_i) \in G_i; \\
 & h_i = \Phi_{i, i+1}(q_{i+1}); i = 2, \dots, n-1 \\
 & \dots \\
 & q_n = F_n(h_n),
 \end{aligned}$$

где q_i — показатели эффективности создаваемой системы, характеризующие ее влияние на эффективность системы более высокого уровня;

h_i — определяемые частные показатели синтезируемой системы i -го уровня, $i = 1, 2, \dots, n$;

G_i — требуемые значения показателей эффективности q_i .

Формальная постановка задачи (без фиксации исходных данных, ограничений и допущений) параметрического синтеза системы управления будет заключаться в следующем [16]: определить и реализовать такие значения показателей синтезируемой системы $\Pi = (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n)$, при которых

$$q(\Pi) = \{Q(\Pi), C(\Pi), T(\Pi)\} \subset G, \Pi \subset \Pi_D$$

где q — векторный показатель эффективности системы;

Q — показатель (в общем случае векторный) эффекта от применения системы по назначению после ее создания и внедрения (доход, полученный предприятием; ущерб, нанесенный противнику и т.п.);

C — затраты на создание и внедрение системы;

T — продолжительность создания и внедрения системы;

G — область требуемых значений определяемых показателей, устанавливаемая в соответствии с принятым критерием эффективности;

Π_D — множество допустимых значений показателей (вариантов) синтезируемой системы.

Поставленная задача относится к классу многокритериальных задач. Для решения подобных задач необходимо [16]:

- ♦ определить общие принципы анализа и синтеза сложных систем управления с целью их последую-

щего использования для обоснования эффективной процедуры решения поставленной задачи;

- ♦ выбрать приемлемый метод решения многокритериальных задач, учитывающий особенности создаваемой системы управления и степень определенности исходных данных;
- ♦ сформировать модель предпочтений одних частных показателей перед другими в общем векторном показателе эффективности q ;
- ♦ установить зависимости между определяемыми показателями системы и частными показателями эффективности;
- ♦ обосновать эффективную процедуру (алгоритм) решения задачи с использованием общих принципов анализа и синтеза сложных систем и выбранного метода решения многокритериальных задач.

При обосновании метода и общей процедуры решения поставленной задачи необходимо учитывать следующие исходные состояния [16]:

- ♦ состояние первое — создание системы управления, имеющей принципиально новую структуру и методы управления, удовлетворяющие современным условиям;
- ♦ состояние второе — частичное совершенствование (реорганизация) существующей системы управления при сохранении основных принципов управления.

Первое состояние имеет место в следующих случаях:

- ♦ при внедрении новых общественных систем управления, обеспечивающих разрешение противоречия между старыми неэффективными принципами и методами управления и современными политическими, экономическими и социальными условиями их функционирования;
- ♦ в процессе полной модернизации технических средств эргатических (автоматизированных) систем

управления при внедрении новой элементной базы, сетевых структур и современного математического, программного, лингвистического и информационного обеспечения, существенно повышающих эффективность управления;

- ♦ при создании систем автоматического управления и регулирования, имеющих новые принципы построения и критерии достижения поставленных целей.

Второе состояние имеет место в следующих случаях:

- ♦ совершенствование отдельных органов и методов решения задач в общественных системах управления;
- ♦ внесение частных изменений в виды обеспечения эргатических систем;
- ♦ проведение доработок систем автоматического управления.

2.5. УРОВНИ ИССЛЕДОВАНИЯ И СТРУКТУРА ПОКАЗАТЕЛЕЙ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

УРОВНИ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

В настоящее время выполнено значительное количество работ, в которых рассматриваются различные подходы к наименованию и содержанию уровней исследования систем управления.

Так, Месарович И. предлагает проводить исследование, начиная с верхнего уровня и далее в соответствии с убыванием порядковых номеров, т.е. n -й, $(n - 1)$ -й, ..., и т. д. [5]. В справочнике «Эффективность технических систем» вводят концептуальные, операциональные, детальные уровни и др.[9].

Однако данные наименования не в полной мере учитывают специфику исследования целенаправленных (управляющих) систем, поэтому остановимся на классификации уровней, предложенных Хохлачевым Е., которая учитывает основные принципы анализа и синтеза сложных систем управления.

Выделим следующие уровни анализа и синтеза систем управления:

- 1) внешний;
- 2) исходный;
- 3) общесистемный;
- 4) ,
- 5) , ..., n) системные уровни.

Общее число уровней может быть различным в зависимости от принятой степени детализации объекта исследования.

Дадим краткую характеристику каждому уровню исследования [16].

На внешнем уровне анализируется сверхсистема, в состав которой входит исследуемая систем управления. Основными задачами исследования сверхсистемы являются:

- ♦ определение целей и задач сверхсистемы;
- ♦ выделение (в сверхсистеме) подсистем (функций, задач), в интересах которых применяется система управления;
- ♦ уточнение показателей и критериев данных подсистем;
- ♦ определение внешних свойств и соответствующих показателей системы управления, которые могут повлиять на эффективность сверхсистемы.

На исходном уровне исследуемая система управления выделяется как отдельный целенаправленный элемент (ЦНЭ) сверхсистемы, которая включает различные, в общем случае, противоположные по интересам подсистемы.

Основными задачами исследования на исходном уровне являются:

- ♦ выделение исследуемой системы в виде отдельного целенаправленного элемента (ЦНЭ);
- ♦ выявление входных целезадающих, обеспечивающих и помеховых (разрушающих) воздействий, поступающих от различных подсистем сверхсистемы на ЦНЭ;
- ♦ установление показателей и критериев эффективности ЦНЭ, которые характеризуют внешние свойства системы управления и ее влияние на сверхсистему.

ЦНЭ рассматривается без учета внутренней структуры в виде модели элемента «вход — состояние — выход».

Сверхсистема в любой произвольный момент времени t может формировать вектор входных воздействий $x(t) = \{c(t), r(t), v(t)\}$, где $c(t)$ — целезадающие; $r(t)$ — обеспечивающие; $v(t)$ — помеховые (разрушающие) частные воздействия, поступающие от различных подсистем.

Целезадающие воздействия $c(t)$ включают информацию, необходимую для уяснения ЦНЭ поставленной перед ним общей цели. При этом в отдельных случаях ЦНЭ может самостоятельно корректировать, уточнять и формировать цели управления. Целезадающие воздействия формируются теми подсистемами, в интересах которых функционирует ЦНЭ.

Обеспечивающие воздействия $r(t)$ также формируются подсистемами, заинтересованными в достижении поставленной цели, и включают дополнительные материальные, энергетические, людские, денежные и другие ресурсы, необходимые для успешного функционирования ЦНЭ. Обеспечивающие воздействия могут отсутствовать, если ЦНЭ имеет достаточное количество своих внутренних ресурсов.

Помеховые (разрушающие) $v(t)$ воздействия формируются в основном теми подсистемами сверхсистемы, которые препятствуют достижению цели поставленной перед ЦНЭ или могут формироваться хаотически нейтральными подсистемами.

Под влиянием перечисленных воздействий ЦНЭ совершает движение $Z(t)$ к намеченной цели и формирует вектор ответных реакций

$$y(t) = \{c^*(t), r^*(t), v^*(t)\}.$$

Целекорректирующие реакции $c^*(t)$ воспринимаются сверхсистемой для коррекции ранее намеченной цели и формируются ЦНЭ в зависимости от достигнутых промежуточных результатов.

Целеобеспечивающие реакции $r^*(t)$ формируются для улучшения свойств или повышения качества и эффективности подсистем, в интересах которых функционирует ЦНЭ.

Нейтрализующие реакции $v^*(t)$ обеспечивают подавление помеховых (разрушающих) воздействий и могут совпадать с целеобеспечивающими реакциями.

На исходном уровне формируются показатели и критерии эффективности ЦНЭ и исследуются его внешние свойства, обеспечивающие наилучшее достижение поставленной цели.

На общесистемном уровне производится детализация ЦНЭ на управляющую систему (УС) и объект управления (ОУ).

Основными задачами исследования на общественном уровне являются [16]:

- ♦ декомпозиция ЦНЭ на управляющую систему и объект управления;
- ♦ формирование управляющих воздействий;
- ♦ определение маршрутов движения к цели;
- ♦ определение показателей, раскрывающих структуру системы и эффективность управляющих воздействий.

УС и ОУ рассматриваются как отдельные элементы, описываемые моделями «вход — состояние — выход». При этом УС исследуется как элемент, формирующий управляющие воздействия $u(t)$ в момент t на основании заданного начального движения φ_0, i_0 , помеховых воздействий v , состояний z , на соответствующих интервалах и характеристик цели и имеет вид:

$$u(t) = (t, i_0, \varphi_0, z, v, z, c).$$

Объект управления (ОУ), как элемент, совершающий движение к намеченной цели

$$z(t) = \psi(t, i_0, \varphi_0, u, v)$$

вырабатывает ответные выходные реакции

$$y(t) = \phi(t, i_0, \varphi_0, z, v).$$

На основании полученных соотношений уточняются показатели и критерии выделенных элементов системы управления.

В качестве показателей эффективности могут использоваться показатели

$$q_k = q_k[z(t_k)],$$

зависящие только от конечного состояния объекта управления $z(t_k)$ и характеризующие результат управления в конечный момент времени t_k , и интегральные показатели

$$q_u = \int_{t_0}^{t_k} q_i[z(t)]dt,$$

зависящие от значений текущего показателя эффективности q_i и, соответственно, всех состояний объекта управления на интервале $[t_0, t_k]$, и характеризующие суммарный результат управления на данном интервале.

На системных уровнях осуществляется дальнейшая декомпозиция УС и ОУ путем выделения отдельных элементов и связей между ними. При этом для сложных иерархических систем управления возможно выделение частных пар «УС-ОУ» и соответствующих частных целей и задач управления с повторением для них исследований общесистемного уровня. Для системных уровней характерны углубленное исследование частных свойств системы управления и возрастающее число анализируемых показателей.

СТРУКТУРА ПОКАЗАТЕЛЕЙ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

В соответствии с постулатом декомпозиции и многоуровневой моделью исследования систем управления вся совокупность показателей (характеристик) системы управления будет иметь иерархическую структуру. Выделим следующие уровни показателей [16]: внешний, исходный; общесистемный и частные системные уровни.

Показатели внешнего уровня Π_0 — показатели отдельных подсистем сверхсистемы, взаимодействующие с исследуемой системой управления.

Показатели исходного уровня Π_1 — характеризуют внешние свойства системы управления и ее влияние на сверхсистему.

Показатели исходного уровня включают:

- ♦ показатели эффективности с помощью которых можно оценить степень приспособленности системы или ее отдельных элементов соответствующего уровня к выполнению поставленных задач;
- ♦ параметры выбора, содержащие характеристики отдельных свойств системы управления, оказывающих влияние на значение показателя эффективности.

Показатели исходного уровня описываются следующим соотношением:

$$\Pi_i = \{q_i, h_i\}, i = 0, 1, \dots, n,$$

где q_i — показатели эффективности $q_i \in G_{D_i}$, с помощью которых можно оценить степень приспособленности системы или ее отдельных элементов соответствующего уровня к выполнению поставленных задач;

G_{D_i} — области допустимых значений показателей эффективности, которые определяются исходя из возможности их реализации в современных условиях;

h_i — параметры выбора $h_i \in H_{D_i}$, содержащие частные характеристики отдельных свойств системы управления, оказывающие непосредственное влияние на значения q_i ;

H_{D_i} — области допустимых значений параметров выбора, которые определяются исходя из возможности их реализации в современных условиях.

Между показателями эффективности и параметрами выбора всех уровней могут быть установлены детерминированные, стохастические или нечеткие зависимости. Кроме того могут

быть установлены зависимости между показателями и параметрами одного уровня и межуровневые зависимости:

- ♦ одноуровневые, определяющие взаимосвязь между показателями эффективности q_i и параметрами выбора h_i каждого уровня:

$$q_i = F(h_i, v_i), i = 0, 1, \dots, n,$$

где v_i — условия выбора на i -м уровне исследования системы; в частном случае допускается $q_i = h_i$;

- ♦ межуровневые, определяющие взаимодействия между параметрами выбора предыдущего i -го уровня и показателями эффективности последующего уровня:

$$h_i = \Phi(q_{i+1}, v_i, v_{i+1}), i = 0, 1, \dots, n-1,$$

где v_{i+1} — условия выбора на $(i+1)$ -м уровне исследования системы; в частном случае допускается $h_i = q_{i+1}$.

Условия выбора могут включать различные неуправляемые воздействия свержсистемы, а также дополнительные данные, определяющие ограничение на используемые ресурсы, возможные пределы изменения показателей, начальное состояние или движение объекта управления.

Показатели общесистемного уровня Π_2 — показатели, которые определяют структуру системы управления на уровне УС и ОУ, а также процессы функционирования соответствующих элементов при выработке управляющих воздействий и реакций.

Показатели $\Pi_3, \Pi_4, \dots, \Pi_n$ частных системных уровней включают различные структурные, функциональные и информационные характеристики исследуемой системы до принятой степени детализации.

ОЦЕНКА ИНФОРМАТИВНОСТИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АНАЛИЗИРУЕМОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Основными проблемами параметрического анализа являются [16]:

- ♦ невозможность для большинства сложных систем управления дать адекватную количественную оценку информации I , получаемой о системе в ходе анализа, и определить ее зависимость $I(\Pi)$ от определяемых (измеряемых) показателей Π ;
- ♦ сложность определения необходимых ресурсов $R(\Pi)$, выделяемых для достоверного определения показателей Π .

Для решения первой проблемы применяются следующие допущения:

- ♦ максимальную информацию о системе будут давать значения тех показателей эффективности нижестоящего уровня, которые оказывают наибольшее влияние на параметры выбора вышестоящего уровня, и значения тех параметров выбора, которые оказывают наибольшее влияние на показатели эффективности своего уровня;
- ♦ установлено (определено) распределение по важности параметров выбора сверхсистемы $h_0 = \{h_{0j}\}$, $j = 1, 2, \dots, m_0$, на которые оказывают влияние показатели эффективности исходного уровня системы управления $q_1 = \{q_{1k}\}$, $k = 1, 2, \dots, N$;
- ♦ между показателями каждых двух соседних уровней определены межуровневые зависимости

$$h_{1..j} = \Phi_{1..j}(q_1, V_{1..b} V_D), j = 1, 2, \dots, m_{1..j}$$

и одноуровневые зависимости

$$q_{1k} = F_{1k}(h_1, V_1), k = 1, 2, \dots, N;$$

функции чувствительности определяются соотношениями

$$\Delta h_{1-i,j} = \sum_{k=1}^{n_i} A_{ik} \Delta q_{1k};$$

$$\Delta q_{1k} = \sum_{j=1}^{m_i} A_{ij} \Delta h_{ij},$$

где $\Delta h_{1-i,j}$; Δq_{1k} ; Δh_{1j} - приращение показателей A_{1k} , A_{1j}

— коэффициенты важности, учитывающие влияние показателей на параметры выбора показателей эффективности соответствующих уровней.

Как правило функции чувствительности определяются с использованием методов факторного анализа или экспертных оценок.

Приведенные допущения позволяют установить правило ранжирования показателей по степени их информативности [16]:

если $A_{1k} > A_{1,k+1}$, то показатель эффективности q_{1k} дает больше информации о системе, чем $q_{1,k+1}$; или соответственно, если $A_{1j} > A_{1,j+1}$, то параметр выбора h_{1j} дает больше информации о системе, чем $h_{1,j+1}$.

Для решения второй проблемы стоимостные ресурсы могут определяться экспертными оценками, временные — путем построения сетевых графиков проведения анализа на соответствующем уровне исследования системы управления.

РЕЗЮМЕ

1. *Системный подход* — это подход к исследованию объекта (проблемы, явления, процесса) как к системе, в которой выделены элементы, внутренние и внешние связи, наиболее существенным образом влияющие на исследуемые результаты его функционирования, а цели каждого из элементов определены исходя из общего предназначения объекта. Системный подход как общеметодический принцип используется в различных отраслях науки и деятельности человека. Гносеологической основой его является общая теория систем. Системный подход посвящен решению системных задач, в которых объект исследований представляется в виде систем. Системные задачи могут быть двух типов: системного анализа или системного синтеза. *Задача анализа* предполагает определение свойств системы по известной ее структуре, а *задача синтеза* — определение структуры системы по ее свойствам.

2. Под *анализом систем* управления понимается процесс исследования, основанный на декомпозиции системы управления с последующим определением ее статических и динамических характеристик составляющих элементов, рассматриваемых во взаимосвязи с другими элементами системы и окружающей среды.

Целью анализа системы управления являются:

- ♦ детальное изучение системы управления для более эффективного использования и принятия решения по ее дальнейшему совершенствованию или замесе;
- ♦ исследование альтернативных вариантов вновь создаваемой системы управления с целью выбора наилучшего варианта.

К задачам анализа систем управления относятся:

- ♦ определение объекта анализа;
- ♦ определение функциональных особенностей системы управления;
- ♦ определение количественных и качественных показателей системы управления;
- ♦ оценивание и оценка эффективности системы управления;
- ♦ обобщение и оформление результатов анализа.

3. Под *синтезом* понимается процесс создания (совершенствования; организации; проектирования) систем управления. Синтез систем управления осуществляется путем определения, последующего согласования статических и динамических характеристик системы, обеспечивающих в совокупности, максимальную степень соответствия системы поставленным задачам.

Целью синтеза системы управления являются:

- ♦ создание новой системы управления, на основе новых достижений науки и техники;
- ♦ совершенствование существующей системы управления на основе выявленных недостатков, появление новых задач и требований.

Синтез представляет собой многошаговый итеративный процесс.

К задачам синтеза систем управления относятся:

- ♦ формирование замысла и цели создания системы;
- ♦ формирование вариантов облика новой системы;
- ♦ приведение описания варианта облика системы во взаимное соответствие;
- ♦ оценка эффективности вариантов и принятие решения о выборе облика новой системы;
- ♦ разработка требований к системе управления;
- ♦ разработка программ реализации требований к системе управления;

- ♦ реализация разработанных требований к системе управления.

4. Главная практическая задача системного подхода в исследовании систем управления состоит в том, чтобы обнаружив и описав сложность, обосновать такие дополнительные физически реализуемые связи, которые бы, будучи наложенными на сложную систему управления, сделали ее управляемой в требуемых пределах, сохранив при этом такие области самостоятельности (следовательно, слабой предсказуемости), которые способствовали бы повышению эффективности системы. Включенные новые обратные связи должны усилить благоприятные и ослабить неблагоприятные тенденции поведения системы, сохранив и укрепив ее целенаправленность, но ориентируя ее на интересы надсистемы. Опыт исследования объектов различного состава, содержания и области применения (общественных, физических, технических, эргатических, биологических, мыслительных конструкций и т.д.) позволяет сформулировать три основных принципа системного подхода, которые можно положить в основу исследования, использования и создания сложных систем управления:

- ♦ принцип физичности;
- ♦ принцип моделируемости;
- ♦ принцип целенаправленности.

Принцип физичности гласит, что всякой системе (независимо от ее природы) присущи физические законы (закономерности), возможно уникальные, определяющие внутренние причинно-следственные связи, существование и функционирование.

Принцип физичности включает постулаты: целостности, декомпозиции, автономности, действий и неопределенности.

Постулат целостности — система, как единое целое, обладает особым, системным свойством (свойствами), которого нет у подсистем (элементов) при любом способе декомпозиции.

Постулат декомпозиции — анализ и синтез сложной системы управления осуществляется путем расчленения ее на подсистемы, располагаемые по уровням, причем подсистема на данном уровне является системой на нижележащем уровне и, в свою очередь, рассматривается как элемент вышестоящего уровня.

Постулат автономности — сложная система «оживет» в автономном функциональном пространстве. С точки зрения постулата автономности, при исследовании большинство декомпозиций, а может быть, все кроме одной, отпадут.

Постулат действий — изменение поведения сложной системы может быть связано с энергетикой, с веществом и с информацией, которые, накапливаясь, проявляют свое влияние скачкообразно, путем качественного перехода. Для изменения поведения системы требуется прирост воздействия, превосходящего некоторое пороговое значение.

Постулат неопределенности — существует область неопределенности, в пределах которой свойства сложной системы могут быть описаны только вероятностными характеристиками.

Принцип моделируемости гласит, что сложная система представляется конечным множеством моделей, каждая из которых отражает определенную грань ее сущности.

Принцип моделируемости включает постулаты:

- ♦ постулат многообразия моделей;
- ♦ постулат дополнительности;
- ♦ постулат согласованности уровней;
- ♦ постулат внешнего дополнения;
- ♦ постулат достаточности;
- ♦ постулат проверенного методического обеспечения.

Постулат многообразия моделей — выбор моделей зависит от цели анализа и синтеза и особенностей исследуемой системы.

Постулат дополнительности — сложная система управлений во взаимодействии со средой может проявлять различ-

ные свойства в различных ситуациях, в том числе альтернативные (т.е. несовместимые ни в одной их них).

Постулат согласованности уровней — требования к системе, формируемые на любом уровне, выступают как условия или ограничения на выбор частных моделей и предельных возможностей системы на нижележащих уровнях.

Постулат внешнего дополнения — проверка истинности результатов, получаемых на каждом уровне, производится с использованием исходных данных, моделей и методов выше лежащих уровней.

Постулат достаточности — включает проверку достаточности принимаемых решений по заданным критериям эффективности и разработке соответствующих моделей, с помощью которых принимаются конструктивные решения на каждом уровне выбора характеристик системы.

Постулат проверенного методического обеспечения — включает необходимость использования хорошо отработанных и экспериментально проверенных моделей и методик, обеспечивающих отдельные характеристики в заданные строки и с требуемой точностью.

Принцип целенаправленности гласит о том, что сложной системе управления присуща функциональная тенденция, направленная на достижение системой некоторого состояния, либо на усиление (сохранение) некоторого процесса.

Принцип целенаправленности включает постулат выбора.

Постулат выбора состоит в том, что сложные системы управления обладают областью выбора и способностью выбирать поведение, т.е. осуществлять реакцию на внешние воздействия в зависимости от внутренних критериев целенаправленности.

Принципы физичности, моделируемости и целенаправленности достаточно полно отражают методологию системного подхода. Принцип физичности предписывает причинно — следственные связи объекта любой природы к системам, по-

строенным из этих объектов. Принцип моделируемости обеспечивает возможность использования в системном подходе упрощенных моделей, отражающих только те грани сущности сложной системы, которые интересуют исследователя. Принцип целенаправленности распространяется на все стороны человеческой деятельности, на системы любой природы.

5. Системный подход включает анализ и синтез систем управления.

Выделим следующие виды анализа и синтеза систем управления:

- ♦ структурный анализ и синтез систем управления;
- ♦ функциональный анализ и синтез систем управления;
- ♦ информационный анализ и синтез систем управления;
- ♦ параметрический анализ и синтез систем управления.

Сущностью структурного анализа является определение статических характеристик систем по известной ее структуре.

Структурный анализ проводится с целью исследования статических характеристик системы путем выделения в ней подсистем и элементов различного уровня и связей между ними.

Объектами исследования структурного анализа являются различные варианты структур системы управления, которые формируются в процессе ее декомпозиции.

Сущностью структурного синтеза является разработка (создание, проектирование, совершенствование, реорганизация и организация системы), которая должна обладать желаемыми свойствами. Структурный синтез проводится с целью обоснования множества элементов структуры, отношений и связей, обеспечивающих в совокупности максимальную степень соответствия заданным требованиям. Объектами исследования структурного синтеза являются различные варианты

разрабатываемых (совершенствуемых) структур системы управления.

Сущностью функционального анализа является определение динамических характеристик систем на основании принятых алгоритмов ее функционирования.

Функциональный анализ проводится с целью определения динамических характеристик системы путем исследования процессов изменения ее состояний с течением времени на основе принятых алгоритмов (способов, методов, принципов, концепций) управления.

Объектами исследования функционального анализа являются реализуемые системой методы и алгоритмы управления, включая общий алгоритм функционирования, содержащий все основные этапы (фазы, функции) управления, и частные методы и алгоритмы, направленные на выполнение отдельных этапов управления (формирование цели управления, сбор и обработка необходимой информации, принятие решений, планирование, организация, контроль, выполнение решений и др.).

Сущностью функционального синтеза является обоснование динамических характеристик системы управления, которые должны обладать желаемыми свойствами.

Целью функционального синтеза является обоснование оптимальных или рациональных характеристик процессов функционирования системы управления, т.е. процессов изменения ее состояний с течением времени в соответствии с поставленной целью.

Сущностью информационного анализа является определение объекта и форм представления информации, методов и средств ее передачи, обработки, хранения, ввода и вывода для известной структуры и алгоритма функционирования системы управления.

Информационный анализ выполняется с целью исследования количественных и качественных характеристик информации, используемой в системе управления.

Объектами исследования являются информационные процессы, протекающие в системе управления.

В системах управления выделяются следующие информационные процессы:

- ♦ сбор, прием, восприятие информации (эти процессы отражают взаимодействие системы с внешней средой);
- ♦ передача информации между отдельными подсистемами системы;
- ♦ переработка, анализ, отбор информации, создание новой информации;
- ♦ использование информации;
- ♦ передачу информации из системы во внешнюю среду.

Сущностью информационного синтеза является обоснование необходимого объема и форм представления информации, методов и средств ее передачи, обработки, хранения, ввода и вывода для разрабатываемой структуры и алгоритма функционирования системы управления. Информационный синтез дополняет задачи функционального анализа, что осуществляется с целью определения требуемых качественных и количественных характеристик информации, используемой в процессе функционирования системы управления.

Сущностью параметрического анализа является определение необходимой и достаточной совокупности показателей, характеризующих все исследуемые свойства системы и формирование зависимостей, характеризующих суммарный эффект от применения системы или ее элементов.

Целью параметрического анализа является оценка эффективности системы управления на основе определения количественных значений ее показателей.

Объектами исследования параметрического анализа являются частные и обобщенные показатели системы, образующие иерархическую структуру.

Сущностью параметрического синтеза является обоснование необходимой и достаточной совокупности показателей, позволяющих оценивать желаемые свойства разрабатываемой системы и ее суммарный эффект.

Целью параметрического синтеза является комплексное определение согласованных и сбалансированных по уровням исследования системы требуемых значений ее показателей, включая общие показатели эффективности управления, а также частные показатели структуры, процессов функционирования информации.

6. Системный подход требует многоуровневого изучения системы управления. Выделяются следующие уровни анализа и синтеза систем управления: внешний; исходный; общесистемный; системный.

На внешнем уровне анализируется сверхсистема, в состав которой входит исследуемая система управления.

Задачами исследования сверхсистемы:

- ♦ определяются цели и задачи сверхсистемы;
- ♦ выделяются (в сверхсистеме) подсистемы (функции, задачи), в интересах которых применяется система управления;
- ♦ уточняются показатели и критерии данных подсистем;
- ♦ определяются внешние свойства и соответствующие показатели системы управления, которые могут повлиять на эффективность сверхсистем.

На исходном уровне исследуемая система управления выделяется как отдельный целенаправленный элемент (ЦНЭ) сверхсистемы, которая включает различные, в том числе и противоположные по интересам подсистемы.

Основными задачами исследования на исходном уровне являются:

- ♦ выделение исследуемой системы в виде отдельного целенаправленного элемента (ЦНЭ);

- ♦ выявление входных целезадающих, обеспечивающих и помеховых (разрушающих) воздействий, поступающих от различных подсистем сверхсистемы на ЦНЭ;
- ♦ установление показателей и критериев эффективности ЦНЭ, которые характеризуют внешние свойства системы управления и ее влияние на сверхсистему.

На общесистемном уровне проводится детализация ЦНЭ на управляющую систему (УС) и объект управления (ОУ).

Основными задачами исследования на общественном уровне являются:

- ♦ декомпозиция ЦНЭ на управляющую систему и объект управления;
- ♦ формирование управляющих воздействий;
- ♦ определение маршрутов движения к цели;
- ♦ определение показателей, раскрывающих структуру системы и эффективность управляющих воздействий.

На системных уровнях осуществляется дальнейшая декомпозиция УС и ОУ путем выделения отдельных элементов и связей между ними.

7. В соответствии с постулатом декомпозиции и многоуровневой модели исследования систем управления вся совокупность показателей (характеристик) системы имеет иерархическую структуру и включает:

- ♦ показатели внешнего уровня;
- ♦ показатели исходного уровня;
- ♦ показатели общесистемного уровня;
- ♦ показатели системных уровней.

Показатели внешнего уровня включают показатели отдельных подсистем сверхсистемы, которые взаимодействуют с исследуемой системой управления.

Показатели исходного уровня характеризуют внешние свойства системы управления и ее влияние на сверхсистему. Показатели исходного уровня включают:

- ♦ показатели эффективности с помощью которых можно оценить степень приспособленности системы или ее отдельных элементов соответствующего уровня к выполнению поставленных задач;
- ♦ параметры выбора, содержащие характеристики отдельных свойств системы управления, оказывающие влияние на значение показателя эффективности.

Показатели общесистемного уровня определяют структуру системы управления на уровне УС и ОУ, а также процессы функционирования соответствующих элементов при выработке управляющих воздействий и реакций.

Показатели системных уровней включают различные структурные, функциональные и информационные характеристики исследуемой системы до принятой степени детализации.

ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

1. Основные черты системного подхода.
2. Сущность системного подхода.
3. Особенности реализации системного подхода.
4. Цели анализа систем управления.
5. Задачи анализа систем управления.
6. Цели синтеза систем управления.
7. Задачи синтеза систем управления.
8. Принцип физичности и его постулаты.
9. Принцип моделируемости и его постулаты.
10. Принцип целенаправленности и его постулаты.
11. Сущность и содержание структурного анализа систем управления.
12. Сущность и содержание структурного синтеза систем управления.
13. Сущность и содержание функционального анализа систем управления.
14. Сущность и содержание функционального синтеза систем управления.
15. Сущность и содержание информационного анализа систем управления.
16. Сущность и содержание информационного синтеза систем управления.
17. Сущность и содержание параметрического анализа систем управления.
18. Сущность и содержание параметрического синтеза систем управления.

19. Уровни исследования систем управления и их содержание.
20. Структура показателей систем управления и их сущность.
21. Основные проблемы параметрического анализа и пути их решения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белов Ю.А., Цитрицкий О.Е. Об одном подходе к автоматизации проектирования сложных систем. // Доклад АН СССР — 1985 — Т. 285 — № 3.
2. Дружинин В.В., Конторов Д.С. Системотехника. — М.: Радио и связь, 1985.
3. Лазарев И.А. Композиционное проектирование сложных агрегатных систем. — М.: Радио и связь, 1986.
4. Ларин А.А. Теоретические основы управления. ч. 1: Процессы и системы управления. — М.: РВСН, 1994.
5. Месарович М., Такахара Я. Общая теория систем. — М.: Мир, 1978.
6. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. — М.: Наука, 1981.
7. Мухин В.И. Методология исследования систем управления. — Новогорск: АГЗ, 1997.
8. Майкл Армстронг. Основы менеджмента. — Ростов-на-Дону: Феникс, 1998.
9. Надежность и эффективность в технике: Справочник т. 3: Эффективность технических систем. Под редакцией В.Ф.Уткина. Ю.В.Крючкова. — М.: Машиностроение, 1988.
10. Основы общей теории систем. Часть I. Попов А.А., Телушкин И.М., Бушуев С.Н. и др. — С.-П.: ВАС, 1992.
11. Павлов В.М. Методические основы системных исследований военно-космических средств. — М.: РВСН, 1998.
12. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Введение в системный анализ. — М.: Высшая школа, 1989.

13. Павловский Ю.Н. Декомпозиция моделей управляемых систем. — М.: Наука, 1979.
14. Панасюк А.И. О декомпозиции для приближенного расчета оптимального управления. // Техническая кибернетика. — 1994.
15. Трухаев Р.И., Горшков И.С. Факторный анализ в организованных системах. — М.: радио и связь, 1985.
16. Хохлачев Е.Н. Теоретические основы создания и применения АСУ. — М.: МО СССР, 1987.
17. Цвиркун А.Д. Основы синтеза структуры сложных систем. М.: Наука, 1982.

ГЛАВА 3.

ОСОБЕННОСТИ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Цель главы — раскрыть специфику отдельных видов анализа и синтеза технических, эргатических и общественных систем управления.

ПОСЛЕ ИЗУЧЕНИЯ ГЛАВЫ ВЫ ДОЛЖНЫ БЫТЬ В СОСТОЯНИИ:

- перечислить особенности систем управления, которые им присущи независимо от их природы и назначения;
- раскрыть особенности анализа и синтеза технических систем управления;
- охарактеризовать содержание синтеза обоснования облика перспективной технической системы управления;
- раскрыть особенности анализа и синтеза эргатических систем управления;
- раскрыть методологию анализа и синтеза организационных систем управления;
- перечислить основные требования к организационному управлению.

3.1. ОСОБЕННОСТИ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Технические системы управления (ТСУ) — это системы, которые содержат в качестве элементов технические устройства и могут в течение некоторого интервала времени функционировать без участия человека (заводы-автоматы, автоматические линии и пр.).

Технические системы управления имеют следующие особенности [9]:

- ♦ четко определенную, как правило, единственную или группу целей управления (посадка самолета по заданной траектории (глиссаде) для систем слепой посадки, поддержание температуры в заданных для систем терморегулирования и т.д.);
- ♦ отсутствие человека в контуре управления с его социальными и психологическими особенностями;
- ♦ достаточно высокую определенность исходных данных и возможность формализации процессов функционирования с использованием детерминированных или стохастических математических моделей.

В ТСУ легко выделить объект управления и управляющую систему (так, в паровом котле можно выделить котел и регулятор давления пара и т.д.).

Особенности управления техническими системами состоят в том, что в них закон управления (а следовательно, и управ-

ляющая система через ее свойство) может быть спроектирован заранее, что позволяет обеспечить качество управления для любых условий функционирования ТСУ [9].

Если функционирование системы происходит в условиях неопределенности, то есть неизвестно точное влияние внешней среды, то качество управления будет обеспечено с той точностью, с которой известно влияние внешней среды (возмущение). Если же воздействие внешней среды (возмущение) неизвестно вообще, то качество управления может быть обеспечено за счет адаптивных систем управления (самонастраивающихся, обучаемых) [9].

СПЕЦИФИКА ОТДЕЛЬНЫХ ВИДОВ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Задачи анализа и синтеза ТСУ решаются в процессе реализации ее жизненного цикла, который представляет собой упорядоченную во времени совокупность состояний системы и работ, обеспечивающих изменение состояний от момента замысла системы до окончания ее существования [22].

Задачи синтеза решаются в процессе создания новых ТСУ (рис. 3.1).

Задачи анализа созданной ТСУ решаются главным образом на стадиях ее эксплуатации (ввод в эксплуатацию, техническое обслуживание, ремонт, технические ревизии, надзор), транспортирование, снятие с эксплуатации и списание.

Структурный анализ и синтез ТСУ направлен на исследование и формирование рациональных функциональных и принципиальных схем, реализующих заданный алгоритм функционирования, а также на изучение и поиск конструктивных решений при определении состава, размещения и стыковки конструктивно различных элементов [22].

Функциональный анализ и синтез ТСУ направлен на исследование и формирование динамических характеристик системы путем определения процессов изменения ее состояния с течением времени.

Функциональный анализ и синтез направлен на обоснование математических моделей, характеризующих процессы изменения состояний объекта управления под влиянием управляющих воздействий и влияния этих процессов на качество и показатели эффективности управления.

Информационный анализ и синтез ТСУ сводится к исследованию и разработке рациональных способов кодирования, передачи, обработки и представления информации, циркулирующей между элементами системы [6].

Параметрический анализ и синтез ТСУ осуществляется путем комплексного исследования и определения количественных структурных, функциональных и информационных характеристик системы.

Для ТСУ характерна высокая степень определенности исходных данных и наличие хорошо разработанного математического аппарата, что приводит к следующим особенностям:

- ♦ высокой точности оценки технических и экономических показателей;
- ♦ возможности использования скалярных показателей эффективности;
- ♦ относительно небольшим затратам ресурсов на экспериментальную проверку технических расчетов.

ОСНОВЫ СИНТЕЗА ОБЛИКА ПЕРСПЕКТИВНОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Цели и характер обоснования облика новой технической системы управления

Процесс создания новых технических систем управления (ТСУ) связан с разработкой требований к ним, которые отражали бы качество и эффективность реализации системами своих целевых функций при определенных условиях и способах применения (использования).

Для выработки этих требований проводится процедура, получившая название *технического обоснования перспективной системы*. Данная процедура предполагает определение состава и типа элементов будущей системы и их представление наиболее существенными характеристиками, показывающими место и роль элементов в системе. На основе этих характеристик составляется тактико-техническое задание (ТТЗ) промышленности на разработку и производство новой технической системы.

Тактико-техническое задание содержит:

- ♦ формулировку цели и задач, выполняемых технической системой управления;
- ♦ требования к схеме (порядку) применения;
- ♦ требования к обеспечивающим элементам (компонентам);
- ♦ условия эксплуатации;
- ♦ показатели унификации составных частей системы управления;
- ♦ требования к объему документации, предъявляемой заказчику;

- ♦ число изделий, предназначенных для испытаний (например, летно-конструкторских).

Процесс создания новых технических систем управления (ТСУ) и его участников показан на рис.3.1[16].

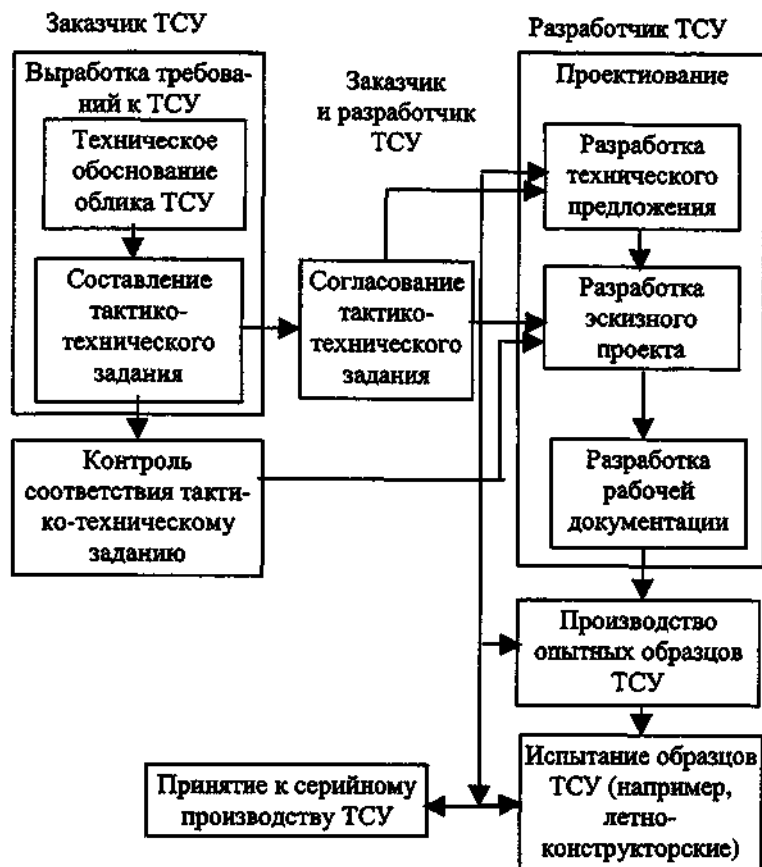


Рис. 3.1. Процесс создания новых ТСУ и его участники.

Требования к новым ТСУ определяются в процессе технического обоснования облика ТСУ, результаты которого должны позволить представить общие черты ТСУ еще до ее реаль-

ного выполнения. Поэтому задача технического обоснования облика является задачей *системного синтеза*.

На этапе технического предложения определяются тактико-технические характеристики (ТТХ) объекта проектирования, дается его краткое описание и схема функционирования, выбирается конструктивно-компоновочная схема или ее вариант, определяется объем работ, производится оценка производственной и экспериментальной базы, разрабатывается генеральный график создания системы и составляется перечень исполнителей-разработчиков.

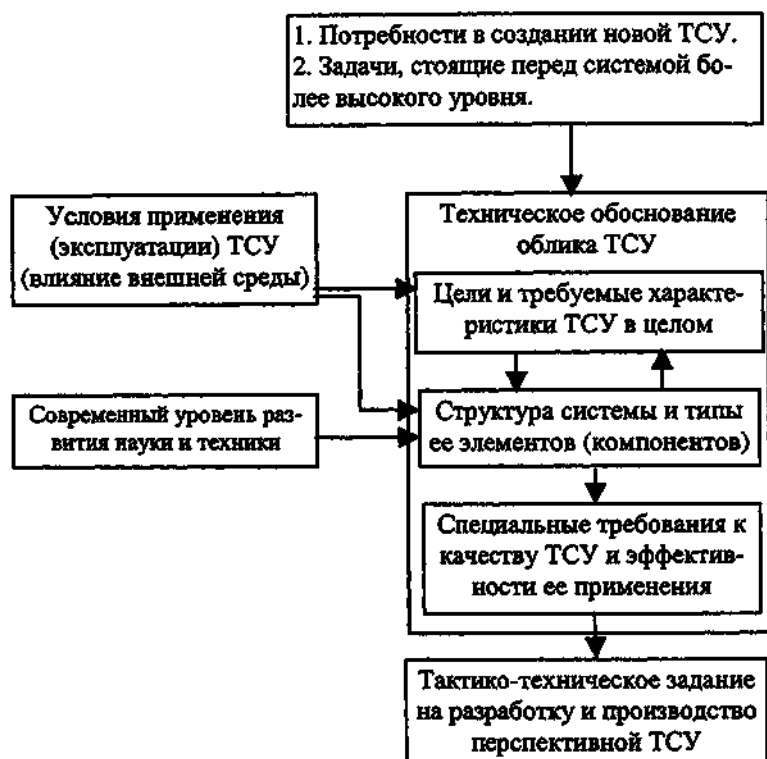


Рис. 3.2. Система обоснования и выработки тактико-технического задания на ТСУ.

Тактико-технические характеристики ТСУ — это упорядоченная по определенному замыслу совокупность количественных характеристик ТСУ, определяющих их свойства. В ТТХ могут отражаться такие свойства ТСУ, как производительность, а также массовые, габаритные и прочие характеристики. В общем случае свойства новых ТСУ могут описываться через показатели их качества или эффективности. Качество ТСУ определяется ее потенциальной пригодностью для выполнения задач целевого применения. Эффективность является свойством процесса применения ТСУ и характеризует способность их достигать цели при своем качестве, условиях и способах применения.

Для этапа эскизного проектирования характерными элементами являются теоретическое и экспериментальное обоснование главных характеристик, технических и технологических решений по созданию ТСУ в целом и ее основных частей.

На этапе разработки рабочей документации важной задачей является подготовка полного комплекта конструкторской документации и комплексной программы экспериментальной отработки создаваемой ТСУ.

На каждом этапе проектирования решаются задачи системного синтеза, представляющих ТСУ с различной степенью детализации [4].

В рассматриваемой последовательности этапов проектирования этап обоснования облика перспективной ТСУ представляется в виде верхнего уровня проектных работ, сущность которого раскрыл Г.Блаау «В проекте любой системы можно выделить три уровня: архитектура, исполнение и реализация.

Архитектура системы — это функциональное проявление системы с точки зрения пользователя, под исполнением понимается логическое описание внутренней структуры, дающее возможность исполнения этих функций, реализация — физическое воплощение исполнения» [16].

Техническое обоснование облика ТСУ включает описание с помощью специальных требований функционального проявления ТСУ с точки зрения пользователя.

Вышеуказанное позволяет сделать следующий важный вывод [16]:

Техническое обоснование облика перспективных ТСУ относится к классу задач системного синтеза и представляет собой процесс разработки архитектуры сложной ТСУ, исходя из принципов многокритериальности, декомпозиции и итеративности.

Общая процедура обоснования облика перспективной ТСУ

Техническое обоснование облика перспективной ТСУ направлено на разрешение противоречия между желаемым и возможным, причем желаемое определяется возникшими потребностями в создании новой ТСУ (задачами системы более высокого уровня), а возможное — уровнем развития науки и техники и внешними условиями применения (эксплуатации), на рис.3.2 в системном представлении показан процесс проведения технического обоснования и выработки тактико-технического задания на разработку и производство перспективных ТСУ [16].

Методологической основой технического обоснования облика перспективной ТСУ является архитектурное проектирование.

Сущность архитектурного проектирования определена Г.Земанским и состоит в следующем:

«Архитектурное проектирование — это проектирование сверху вниз, определяющее каждую деталь как часть целого» [8].

Общую процедуру обоснования облика перспективной ТСУ можно представить в виде четырех уровней [16].

Целью первого уровня исследования является установление достаточности множества показателей качества и эффективности проектируемой ТСУ. Первый уровень включает:

- ♦ формулировку задач технического обоснования;
- ♦ определение начальных (отправных) значений характеристик сформулированной задачи качественно-го вида;
- ♦ определение множества возможных альтернатив решения задачи и выбор наиболее конкурентоспособной;
- ♦ выбор показателей качества и эффективности для рассматриваемой системы.

Выбор показателей качества и эффективности производится путем сравнения их с интересующими свойствами проектируемой системы. При выявлении несоответствия следует вернуться к этапу формулировки задачи, более тщательно разобратся в ней и дать другую формулировку.

Целью второго уровня исследования является выявление соответствия между типом сформулированной задачи, особенностями математической модели исследуемой системы и методами ее решения. Второй уровень включает:

- ♦ разработку математической модели ТСУ (модели исходных данных) и проведение на ней экспериментов;
- ♦ выбор математических методов обработки математических экспериментов, формирование с их помощью технического облика ТСУ (порождающей модели) и проведение на ней исследований.

Соответствие между типом сформулированной задачи, особенностями математической модели и методами ее решения часто нарушается из-за невозможности или неумения подобрать математические методы обработки результатов математического эксперимента и формирования облика системы. В

таком случае необходимо скорректировать задачу до уровня своих возможностей или знаний, пусть даже за счет потери качества решения, но это будет методически грамотно и математически корректно, а в итоге — правильно.

Целью третьего уровня является достижение соответствия между решениями частных подзадач. Это соответствие предполагает выполнение требований, сформулированных по результатам решения задачи вышестоящего иерархического уровня. Третий уровень включает:

- ◆ декомпозицию задачи технического обоснования (выдачу исходных данных на нижние иерархические уровни и проведение на них исследований);
- ◆ согласование решений всех иерархических уровней с использованием принципа итеративности;
- ◆ исследование технического облика ТСУ в организационном и экономическом аспектах.

Целью четвертого уровня является исследование полного множества альтернативных вариантов и принятие решений по облику перспективной ТСУ. Четвертый уровень включает:

- ◆ рассмотрение каждой из возможных альтернатив системы и получение области возможных решений;
- ◆ разработку математической модели принятия решений (структурированной модели) и определение наилучшего облика ТСУ.

Если ни одно из полученных решений множества альтернативных вариантов не удовлетворяет требованиям, то возникает необходимость в изменении формулировки задачи. При этом возможны два выхода: переформулировать задачу при тех же самых требованиях, используя информацию, полученную при предыдущих исследованиях, или выйти на уровень вышестоящей системы с обоснованной просьбой изменения требований к выполняемой задаче.

3.2. ОСОБЕННОСТИ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

ОСОБЕННОСТИ ЭРГАТИЧЕСКИХ (ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ) СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Эргатические системы управления (ЭСУ) — это системы, которые включают в качестве элементов как технические системы, так и людей, взаимодействующих с этими системами [9].

Для эффективного функционирования подобных систем необходимо выбирать рациональные способы взаимодействия людей с техникой на основании выводов эргономики.

Эргатические системы управления делятся на простые, такие как автомобиль-водитель, самолет-летчик, ЭВМ-исследователь, управляемый объект-оператор и т.п. и большие сложные, которыми являются, например, автоматизированные системы управления (АСУ). Различают два основных типа АСУ: системы организационно-экономического или административного управления и системы управления техническими процессами. Для первых объектов управления являются предприятия, отрасли народного хозяйства, министерства, ведомства, т.е. человеческие коллективы, которые используют различные машины, процессы, приборы, устройства. В АСУ технологическими процессами основной формой передачи информации являются различные сигналы (электрические, световые, механические и др.), в системах же организационно-

экономического управления основная форма передачи информации — документ. В настоящее время наметилась тенденция слияния двух видов систем в единые интегрированные системы управления, тем самым грани между ними, до известной степени, стираются [6].

Особенностью эргатических систем является то, что в контур управления, т.е. в управляющую систему, включен сам человек-оператор или коллектив людей-операторов.

Особенности управления ЭСУ состоят в том, что психофизиологические свойства человека-оператора должны быть включены в параметры (свойства) управляющей системы.

Закон управления для таких систем также может быть спроектирован заранее с гарантией качества управления, как и в технических системах. Если функционирование ЭСУ происходит в условиях неопределенности, то качество управления обеспечивается качеством работы человека-оператора [9].

Более содержательное обобщение особенностей ЭСУ представлено в таблице 3.1 [21].

Инженерно-психологические проблемы, требующие решения в процессе создания и эксплуатации эргатических систем управления

По мере усложнения ЭСУ все ощутимее становятся потери от несоответствия характеристик технических средств возможностям человека. При этом основные трудности связаны не только с совершенствованием технических и программных средств, но и с недостаточным развитием методов учета человеческого фактора при создании и эксплуатации сложных ЭСУ.

В связи с изложенным можно выделить следующие инженерно-психологические проблемы, требующие решения в процессе создания и эксплуатации сложных ЭСУ [14].

Особенности эргатических систем управления

Наименование группы особенностей	Наименование особенности и ее сущности
1	2
Функциональные	Наличие общей задачи и единой цели функционирования для всей системы. Сложность поведения, связанная со случайным характером внешних воздействий и большим количеством обратных связей внутри системы. Устойчивость по отношению к внешним и внутренним помехам и наличие самоорганизации и адаптации к различным воздействиям. Надежность системы в целом, построенной из неабсолютно надежных компонент. Способность к развитию, выражающаяся в способности изменять функции и структуру.
Структурные	Большое количество взаимодействующих частей или элементов, составляющих систему — целостное образование. Возможность выделения групп взаимодействующих элементов-подсистем, имеющих свое специальное назначение и цель функционирования. Наличие иерархической структуры связей подсистем и иерархии критериев качества функционирования всей системы. Высокая степень неоднородности состава элементов. Большая территориальная рассредоточенность подсистем (элементов). Динамичность структуры.
Изготовления	Значительные затраты на разработку и изготовление. Достаточно многообразный набор возможных допустимых вариантов построения и функционирования системы. Необходимость привлечения для проектирования, создания системы многих научных дисциплин. Несоответствие проектных решений, определенных в документации, реализованных проектным решением из-за расхождения моделей разработчиков на этапах проектирования. Необходимость ввода в строй одновременно всех элементов.

Наименование группы особенностей	Наименование особенности и ее сущности
1	2
Эксплуатационные	Большой объем циркулирующей в системе информации, эффективная обработка, которая вручную практически невозможна. Осуществление прогноза последствий нештатных (аварийных) ситуаций. Невозможность достоверно прогнозировать воздействие на систему непрерывно изменяющейся окружающей среды вследствие неполноты информации о возможных изменениях в среде за период жизненного цикла системы. Необходимость развитой инфраструктуры, обеспечивающей ремонт и восстановление компонентов ЭСУ. Многokrатное частичное изменение структуры и состава системы в процессе ее функционирования, связанной с непрогнозируемыми изменениями внешней среды, уточнением параметров самой системы и целей ее функционирования.
Эргономические	Основной функцией человека в ЭСУ является управление. Способность человека оперировать нечеткими представлениями, воспринимать сложные объекты, процессы или явления как единое целое. Умение творчески, гибко действовать в сложных непредвиденных ситуациях в условиях недостаточной или не полностью достоверной информации. Способность переходить от одних технологий управления к другим в зависимости от конкретных управленческих ситуаций. Непредсказуемость поведения, настроения, работоспособности. Субъективный характер принимаемых решений, особенно в условиях острого дефицита времени и отсутствия достаточно полной информации, возможность случайных и преднамеренных ошибок при обработке информации или формировании информационных сообщений. Низкая вычислительная мощность человека, неспособность воспринимать большое число вариантов исходов, прогнозировать результаты принятых решений.

Проблема первая: компенсация ошибочных (в первую очередь непреднамеренных, но также и преднамеренных) действий человека, влекущих за собой «негативные» последствия для процесса функционирования ЭСУ.

В ЭСУ должны быть учтены: забывчивость оператора, его подверженность ошибкам, непостоянство внимания и т.п.

Если решение, принятое человеком, может привести системе в аварийный режим (контроль осуществляет сама система), то это решение не должно восприниматься, о чем система должна сигнализировать оператору.

Подобные действия в состоянии выполнять лишь сложная система с хорошо развитыми средствами интеллектуальной поддержки операторов.

Вторая проблема: формализация психологических аспектов мыслительной деятельности человека в процессе выработки решений по реализации какой-либо задачи, например, его управлению, и учет этого в системах искусственного интеллектуала (ИИ), формирующих соответствующие решения.

Проблема формализации основных схем поведения и психологических характеристик человека-оператора связана с попытками создания математических моделей деятельности. Это обусловлено прежде всего необходимостью создания единого языка описания функционирования системы в целом, причем принято считать, что разработка математических моделей деятельности является одним из перспективных путей решения этой проблемы.

С другой стороны, в процессе проектирования деятельности подчас целесообразно автоматизировать те или иные функции человека-оператора, т.е. поручить выполнение их техническим средствам, носящим в себе черты модели, соответствующей деятельности человека.

Движение любого объекта обусловлено его собственными свойствами и действиями на него управляющих сил. В целом объект и система управления им образуют динамическую сис-

тому, движение которой может быть описано дифференциальными уравнениями. Класс таких дифференциальных уравнений определяется динамикой конкретной системы. Обычно динамическая система описывается сложной системой нелинейных дифференциальных уравнений высокого порядка со случайными параметрами, аналитического выражения для которых до сих пор не существует.

Для всех систем, за исключением простейших, истинное явление можно описать с помощью уравнений лишь приближенно. Это обусловлено тем, что мы не знаем всех факторов, влияющих на систему, или получаем слишком громоздкие уравнения, которые современными средствами решать весьма сложно. Обычно рассматривается небольшое число аспектов поведения ЭСУ.

Основной принцип построения моделей заключается в том, что результаты, получаемые с помощью моделей, должны соответствовать экспериментальным данным, и, кроме того, модель должна давать возможность получать новую информацию о системе или объекте.

Третья проблема: определение «границ возможного» в деятельности человека и возможностях техники для оптимального распределения функций между ними.

Пределы функционирования сложных систем определяются условиями и воздействиями, приводящими к срыву деятельности.

В этом смысле срыв операторской деятельности является одной из глобальных проблем, стоящих перед проектировщиками сложных ЭСУ. Цель проектирования прежде всего состоит в том, чтобы избежать, исключить возможность аварий (прекращения деятельности) современных систем, которые неотвратимы при срыве деятельности человека-оператора.

Степень согласованности характеристик технических средств с психофизическими характеристиками человека-оператора определяет эффективность деятельности. Срыв дея-

тельности характеризуется нулевой и даже отрицательной эффективностью. Он может наступить, например, при повышении темпа поступления информации.

Выделяют следующие аспекты срыва операторской деятельности, исследование которых необходимо при проектировании [14]:

- ◆ определение критических значений потока информации в зависимости от способов деятельности;
- ◆ оценка влияния автоматизации процессов управления на устойчивость операторской деятельности;
- ◆ выявление «слабых» звеньев в структуре деятельности в целях проектирования наилучших способов деятельности;
- ◆ раскрытие стадий (фаз) срывов деятельности с выявлением необходимых перестроек, переходов от одного к другому способу деятельности при обнаружении возможности срыва деятельности;
- ◆ определение допустимых границ изменений функционального состояния оператора;
- ◆ определение границ между областями устойчивости деятельности и срывов деятельности, т.е. определение тех требований, которые проектировщики систем могут предъявить к человеку-оператору в соответствии с функциональными возможностями операторов конкретных систем.

Четвертая проблема: формализация основных схем поведения (их еще называют алгоритмами или последовательностями деятельности) человека в зависимости от сложившейся ситуации и предложение оператору (лицу, принимающему решение) лучшей (по какому-то критерию) из них.

К этому классу задач относятся:

- ◆ классификация типов поведения;
- ◆ моделирование поступков;
- ◆ определение траектории поведения;

- ♦ формирование поведения и др.

Пятая проблема: определение психологических характеристик человека и их диапазонов для обеспечения «комфортного» общения человека и техники, использование мощи современных технологий и техники для уменьшения потребности адаптации людей к системе.

Современные средства взаимодействия «человека-техника» представляют собой сложный комплекс, включающий различные компоненты: планирование, информирование и управление общением; формализация облика информации, интерпретация сообщений; представления, обработки данных и принятия решения; обеспечения надежности и др.

Основной тенденцией перспективного развития и совершенствования средств взаимодействия является создание адаптивных интеллектуальных систем, учитывающих целесообразное распределение нагрузки между искусственным интеллектом ЭВМ и интеллектом.

СПЕЦИФИКА ОТДЕЛЬНЫХ ВИДОВ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Задачи анализа ЭСУ решаются, как правило, на стадиях ее эксплуатации, транспортирование, снятие с эксплуатации и списание. Анализ используется также для исследования различных вариантов вновь создаваемых ЭСУ с целью выбора лучшего варианта.

Задачи синтеза ЭСУ решаются на различных этапах их проектирования и создания.

К задачам синтеза ЭСУ относится процесс принятия решения о целесообразности того или иного нововведения и обоснованного выбора направлений предпроектных исследований.

Структурный анализ и синтез ТСУ направлен на решение следующих задач [6]: описание состава организации (ЭСУ) и построение ее структурной схемы; формирование рационального числа уровней управления; определение состава и мест размещения звеньев управления; определение функций отдельных подразделений, раскрытие их структурной схемы; создание рациональной сетевой структуры, обеспечивающей требуемые характеристики устойчивости и оперативности управления; исследование отдельных технических устройств, входящих в состав ЭСУ; учет психологических характеристик человека-оператора при создании структур ЭСУ; построение обобщенной структурной информационной модели ЭСУ; описание материальных, вещественных и информационных связей.

Функциональный анализ и синтез ЭСУ направлен на решение следующих основных задач [6]: анализ функций управления в структурных подразделениях, выбор состава автоматизируемых функций и определение их взаимодействий; определение способов сбора, хранения и отображения информации, необходимой для функционирования системы управления; определение порядка обработки информации с целью принятия управленческих решений и доведения до исполнителей; создание системы контроля за доведением решений и их исполнением, а также оценка результатов выполненных решений; учет психологических факторов оператора при управлении сложными ЭСУ.

Особенности информационного анализа и синтеза ЭСУ заключаются в исследовании и поиске рациональных способов сопряжения оперативного персонала с техническими средствами и решаемыми задачами управления.

При этом исследуются способы представления, ввода и вывода информации, определяется необходимый и достаточный состав формализованных сообщений (указаний, приказов, подтверждений, донесений), обеспечивающих эффективное управление [22].

Наряду с этим решаются общие задачи анализа и синтеза информационного обеспечения, включающего способы классификации и кодирования информации, языковые средства описания данных, унифицированную систему документации, программные средства обработки информационных массивов, базы и банки данных [22].

Параметрический анализ и синтез ЭСУ связан с исследованием и количественной оценкой разнообразных свойств и различных условий функционирования оперативного персонала и используемых технических средств управления. Поэтому процедура выбора показателей, достаточно полно отражающих свойства подобных систем, является сложной и в настоящее время нет четко установленного перечня подобных показателей. На практике для исследования свойств данных систем и их элементов используется несколько сотен различных показателей: количественные, качественные, экономические, технические, общие, комплексные, частные, основные, вспомогательные, специфические, исходные, производственные и т.п. [14].

Из большого количества различных показателей качества работы людей в ЭСУ наиболее часто используют быстрдействие, напряженность, экономичность, надежность [26].

Быстрдействие оператора характеризуют длительностью рабочего цикла

$$T_y = \tau_{np} + \sum_{i=1}^n \tau_3^{(i)},$$

где T_y — время производства работ:

$$\tau_{np} = \tau_{ож} + \tau_p;$$

$\tau_{ож}$, τ_p — время ожидания всех операций работы без пауз между ними соответственно;

$\tau_3^{(i)}$ — время между моментами окончания i -й операции и началом $(i+1)$ -й.

Часто время τ_p определяют по формуле

$$\tau_p = a + I/R_0,$$

при $a \cong 0,2\text{с}$; $1/R_0 = 0,15 + 0,35\text{с/бит}$, т.е. в предположении, что в среднем начало работ запаздывает относительно момента выдачи задания на $0,2\text{с}$ при средней производительности оператора, равной $1/0,15 - 1/0,35$ бит/с.

Быстродействие конкретного оператора может быть определено с использованием тренажера или путем хронометрирования на реальном рабочем месте.

Напряженность функционирования оператора определяется степенью функционального напряжения его организма, нервного или физического по формуле

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i / y_{i_{\max}})^2},$$

где $y_i, y_{i_{\max}}$ — физиологические количественные показатели напряженности работы в реальных и экстремальных условиях.

Экономичность оператора определяется как отношение количественного результата его работы к затратам на подготовку и поддержание квалификации оператора.

Надежность оператора характеризует его свойство выполнять заданные функции в течение определенного времени при заданных условиях работы. Показатели надежности человеко-машинных систем должны учитывать свойства и человека, и машины. Однако если методы оценки надежности машин достаточно хорошо разработаны, то расчет надежности людей-операторов представляет известные трудности и составляет в настоящее время одну из актуальных проблем в теории ЭСУ.

Функциональным понятием теории надежности является понятие отказа — случайного события, состоящего в том, что элемент (оператор) полностью или частично утратил свою ра-

ботоспособность, в результате чего заданные ему функции не выполняются.

Устойчивые отказы операторов называют биологическими, а временные — психологическими. Причиной первых являются болезни, чрезмерное утомление, засыпание на рабочем месте и т.п.; причиной временных отказов являются случайные ошибки нормального рабочего оператора.

Одним из показателей надежности операторов используют вероятность безотказной работы, определяемую в виде произведения:

$$P_{on}(t) = K_{on} P_B(t) + P_n(t),$$

где P_B, P_n — вероятности биологической и психологической надежности оператора соответственно;

K_{on} — коэффициент готовности оператора:

$$K_{on} = 1 - T_o/T,$$

T_o — время отсутствия оператора на рабочем месте;

T — общее время работы.

С учетом P_{on} вероятность безотказной оперативной работы человеко-машинной системы определяют мультипликативным показателем:

$$P(t) = P_{max}(t) \cdot P_{on}(t) \cdot P_{CB}(t),$$

где $P_{max}(t)$ — вероятность безотказной работы машины;

$P_{CB}(t)$ — вероятность своевременного выполнения работы.

Выделенные показатели качества функционирования операторов позволяют определить следующие основные пути повышения эффективности их работы:

- ♦ обеспечение необходимой степени профессиональной подготовки операторов;

- ◆ проектирование аппаратуры в соответствии с требованиями инженерной психологии;
- ◆ обеспечение контроля за правильностью действий операторов;
- ◆ правильный выбор режимов труда и отдыха операторов;
- ◆ исключение информационных перегрузок операторов;
- ◆ обеспечение хорошего психологического климата в коллективе операторов и т.п.

Экспериментально установлено, что определенная часть операторов, обладающих соответствующей квалификацией, часто обнаруживают свою несостоятельность при возникновении аварийных (критических) ситуаций.

Статистика указывает также на значительный процент аварий, получивших развитие из-за неправильных действий операторов (человеческого фактора), (например, в строительстве больше 70%, в авиалинии больше 80%). Таким образом, очень часто ошибочные действия операторов приводят к лавинообразным процессам развития аварийных ситуаций, связанных с порчей и потерей дорогостоящей техники, а также с гибелью людей.

ТИПОВЫЕ ПРОТИВОРЕЧИЯ РАЗРЕШАЕМЫЕ В ПРОЦЕССЕ СОЗДАНИЯ НОВЫХ ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

При разработке сложных эргатических систем управления наиболее ответственным этапом является процесс принятия решения о целесообразности того или иного нововведения и обоснованного выбора направлений и методов предпроектных исследований. Основной целью деятельности на данном этапе является снижение неопределенности и степени риска, связанных с проведением в жизнь дорогостоящих нововведений.

Под **нововведением** понимается деятельность, направленная на изменение облика ЭСУ на всех стадиях ее жизненного цикла и приводящих при этом к разнообразным последствиям в различных видах окружения ЭСУ [10].

Принятие решения о внедрении нововведения связано со знанием противоречий, которые необходимо разрешить в процессе создания новых систем. Анализ основных тенденций в создании перспективных ЭСУ позволяет сформулировать ряд противоречий, от выбора решений которых существенно зависит как облик системы, так и ход работ по ее созданию. В табл. 3.2 приведены типовые противоречия, разрешаемые в процессе создания новых ЭСУ.

Таблица 3.2

Типовые противоречия, разрешаемые в процессе создания новых ЭСУ

№ п/п	Тип противоречия	Смысл противоречия
1	2	2
1	Потребность — возможность	С одной стороны, существует потребность в создании некоторой системы, а с другой — отсутствует возможность ее создания, что может быть вызвано различными причинами. Например, отсутствием материальной базы
2	Необходимость предвидеть будущее — неопределенность будущего	При создании большой ЭСУ необходимо иметь его облик, однако человеку не дано видеть то, чего еще нет в природе (в частности, невозможно предвидеть все последствия от производства и применения создаваемой системы)
3	Срок создания — темп морального старения	Новизна и сложность создаваемой системы требуют увеличения срока создания, но с другой стороны, высокий темп НТП ведет к ее быстрому моральному старению
4	Темпы роста сложности систем — темпы развития методов их проектирования	Темпы роста сложности технических систем (ТС) преобладают над развитием методов их проектирования. В среднем по всем отраслям техники число подсистем ТС удваивается каждые 15 лет. При этом производительность труда в проектировании с начала века выросла всего на 20% (в производстве — на 1000%)

№ п/п	Тип противоречия	Смысл противоречия
1	2	2
5	Сложность — надежность	С повышением степени сложности создаваемых ТС падает их надежность
6	Уникальность ЭСУ — необходимость индустриального подхода.	Большинство уникальных ЭСУ являются единственными в своем роде, но требование высокой надежности вынуждает применять индустриальный подход к их созданию, основанный на массовости, стандартизации, унификации комплектующих изделий и технологических операций

Содержание нововведений зависит от глубины реорганизации системы или создания более перспективных систем (табл. 3.3).

Таблица 3.3

**Содержание нововведений в зависимости
от глубины реорганизации ЭСУ [10]**

№ п/п	Уровень нововведения	Содержание нововведения
1	2	3
1	Параметрическая реорганизация системы	Изменение свойств, параметров системы или ее элементов
2	Функциональная реорганизация системы	Изменение функций, содержание решаемых задач, состава целей, оперативных направлений для отдельных элементов существующей системы
3	Структурная реорганизация системы	Изменения организационного или пространственного построения элементов существующих систем (варьирование структуры, направления, характера и количества связей; пересмотра мест дислокации и базирования и т. д.)
4	Полная реорганизация системы	Создание более перспективных систем, комплексов и отдельных образцов техники, предполагающих формирование новых или преобразование существующих организационных подразделений, осуществляющих обслуживание и применение систем подобного типа

Общую схему разрешения противоречия в процессе создания новых ЭСУ можно представить в виде последовательно-

сти формирования ответов на вопросы, стоящие перед исследователем (табл. 3.4).

Таблица 3.4

Основные вопросы, решаемые в цикле исследования [10]

1. Выявление необходимости нововведения		Нужно ли оно в перспективе?	
		Да	Нет
Нужно ли оно сейчас?	да	Устойчивая потребность	Эфемерная потребность
	нет	Перспективная потребность	Мнимая потребность
2. Выявление возможности нововведения		Возможно ли оно в перспективе?	
		Да	Нет
Возможно ли оно сейчас?	да	Устойчивая возможность	Эфемерная возможность
	нет	Перспективная возможность	Мнимая возможность
3. Оценка последствий нововведений		Каковы последствия в перспективе?	
		Позитивные	Негативные
Каковы последствия в ближайшем будущем?	поз.	Устойчиво-позитивные последствия	Перспективно-негативные последствия
	нег.	Перспективно-позитивные последствия	Устойчиво-негативные последствия

Предлагая некое нововведение (например, замысел новой ЭСУ) исследователь задается тремя вопросами.

Первый вопрос - нужно ли оно (нововведение)?

Если в результате анализа потребности на текущий момент и прогнозирования ее изменений в перспективе выясняется, что потребность устойчива или перспективна, то делается вывод о необходимости нововведения. Если потребность оказывается эфемерной или мнимой, то фиксируется отрицательный ответ.

При положительном ответе на первый вопрос исследователь переходит ко второму вопросу.

Второй вопрос — возможна ли реализация этого нововведения?

Если в результате анализа возможности на текущий момент и прогнозирования ее изменений в перспективе выясняется, что возможность устойчива или перспективна, то на вопрос дается положительный ответ. В противном — отрицательный вопрос. При положительном ответе на второй вопрос исследователь переходит к третьему вопросу.

Третий вопрос — каковы возможные последствия от этого нововведения?

Если в результате анализа последствий на ближайшее будущее и прогнозирование их изменений на отдаленную перспективу выяснится, что последствия устойчиво негативны или становятся таковыми в будущем, то делаются выводы об отрицательном характере нововведения.

При положительных ответах на поставленные вопросы исследователь может перейти к уточнению характеристик нововведения и к ответам на такие вопросы.

Какие конечные цели могут быть достигнуты посредством создаваемой ЭСУ?

Какую роль будет играть создаваемая ЭСУ в данной сфере деятельности?

Какими свойствами и строением может обладать ЭСУ при данных предположениях?

Какие принципы и стратегии могут быть положены в основу процесса создания и применения ЭСУ?

Какова степень технического и экономического риска, связанного с созданием ЭСУ?

Ответы на поставленные выше вопросы позволяют исследователю перейти к формированию проблематики и комплексной программы НИР по выбранным направлениям.

3.3. ОСОБЕННОСТИ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМ

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Если в качестве объекта управления (управляемой системы) рассматривать коллективы людей, то такая система может считаться организацией. Иначе говоря, любая организация — это группа людей, деятельность которых сознательно координируется для достижения общей цели или целей. Группа людей считается организацией [9]:

- ◆ если состоит по крайней мере из двух человек, которые считают себя частью этой группы;
- ◆ если имеет одну цель (желаемое конечное состояние или результат), которую принимают как общую все члены группы;
- ◆ если имеет членов группы, которые намеренно работают вместе, чтобы достичь значимой для всех цели.

Очевидно, что организации могут иметь различную сложность. Эта сложность целиком и полностью определяется сложностью поставленных перед организацией целей.

Организационная система управления включает: орган управления (управляющая подсистема), которая осуществляет процесс управления организацией и объект управления (управляемая подсистема), которая осуществляет процесс реализации задач (рис. 3.3).

Процесс управления организацией представляет собой одноразовый, многоразовый или непрерывный процесс выработки управления $u(t)$ и передачи его подчиненным объектам управления для исполнения и достижения цели (целей) управления.

Само управление $u(t)$ представляет собой сигналы, устные или письменные приказы, приказаны, распоряжения и другие формы управляющих действий.

Процесс управления организациями является особым процессом, относящимся к наиболее сложным формам деятельности человека. Управление организацией как особый вид деятельности превращает неорганизованную группу людей (толпу) в эффективную целенаправленную и производительную группу.

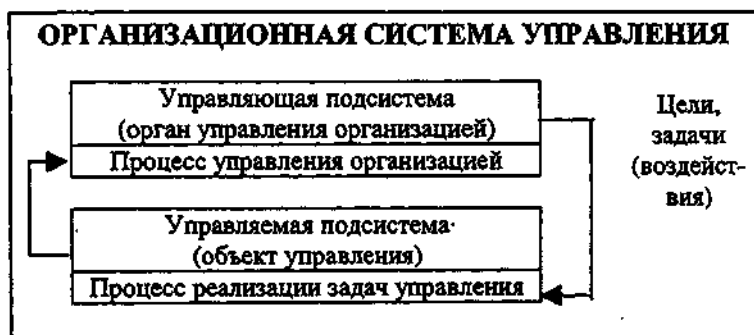


Рис. 3.3. Организационная система управления.

Сущностью управления организационной системой является постоянное воздействие на управляемую и управляющую подсистемы, направленное на эффективное достижение цели деятельности путем выработки этого воздействия и обеспечения его реализации.

Организационные системы управления (например, системы управления предприятиями, фирмами, войсками, отраслями

промышленности, государствами) являются наиболее сложными для исследования системами и имеют следующие особенности [22]:

- ◆ возможность самостоятельного формирования целей и способность к самоорганизации;
- ◆ необходимость учета в процессе управления многочисленных политических, социальных и экономических факторов;
- ◆ высокую неопределенность исходных данных, невозможность прогнозирования всех факторов, влияющих на процессы управления и низкую эффективность применения математических моделей для принятия управленческих решений;
- ◆ основную роль человека при принятии решений и организации их выполнения, что определяет объективный характер процессов управления и связанные с этим ошибки при формировании целей и расходовании ресурсов на их достижение;
- ◆ большое число и разнообразие связей и отношений между органами управления и отдельными руководителями, отсутствие четких границ между управляемой системой и объектами управления, имеющими сложную иерархическую структуру;
- ◆ ориентация на определенные социальные потребности.

МЕТОДОЛОГИЯ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Целью методологии анализа и синтеза организационной системы управления является создание процесса управления

организацией и организационной структуры, осуществляющих эти процессы.

Методология системного подхода к конструированию организационных систем управления позволяет во главу угла поставить конкретную цель деятельности и совокупность системных задач.

Методология анализа и синтеза включает следующие этапы [11]:

1. Уясняются задачи, поставленные руководителем, и определяется цель функционирования системы.

2. Определяется подсистема задач, которые необходимо выполнить для того, чтобы обеспечить наиболее успешное достижение цели.

3. Определяются подсистемы мероприятий, обеспечивающих выполнение каждой из задач.

4. Определяется технология выполнения мероприятий, обеспечивающих выполнение каждой из задач.

5. Определяются факторы внешней и внутренней среды, влияющие на функционирование системы, выполнение мероприятий и задач.

6. Определяются требуемые виды ресурсов.

7. Определяются количество и качество наличных ресурсов.

8. Определяется порядок выполнения мероприятий с учетом технологических и ресурсных ограничений.

Разрабатывается и оптимизируется модель деятельности по достижению цели, если в результате оптимизации $T_0 \leq T_{\text{дир}}$ то переходит к шагу 10, если $T > T_{\text{дир}}$ — к шагу 9.

9. Определяется минимальное количество ресурсов, необходимых для выполнения работ в срок или характер изменения режима использования ресурсов.

10. Доклад руководителю результатов моделирования и утверждение одного из вариантов действий.

11. Оформление решения (разработка плана) и утверждение его руководителем.

12. Подготовка исполнителей, получение недостающих средств, реализация решения (плана).

Методология анализа включает этапы 1-7, а на этапах 8-10 производится синтез процесса достижения цели и целевых организаций.

Рассмотрим подход к определению методик работы на некоторых этапах методологии.

Входом первого этапа являются задачи, поставленные вышестоящим руководством, выходом — определение цели деятельности, а также задачи по подготовке предложений для принятия решения. Методика работы на этом этапе направлена на наиболее точное определение цели деятельности. Цель деятельности может быть выражена количественно или качественно.

Входом этапа 2 является цель, определенная на предыдущем этапе. Выходом же этого этапа должна являться система задач, которые необходимо выполнить для того, чтобы обеспечить эффективное достижение цели. Сущностью деятельности на этом этапе является расчленение цели на отдельные взаимосвязанные задачи, представляющие собой относительно самостоятельные направления или этапы деятельности по достижению цели.

Входом этапа 3 является система задач, выработанная на предыдущем этапе. Выходом этапа является подсистема мероприятий, обеспечивающих выполнение каждой из задач.

Входом для этапа 4 являются подсистемы мероприятий, необходимых для выполнения каждой из задач, а выходом — технологии выполнения этих мероприятий.

Технология, последовательность мероприятий являются в свою очередь *выходом этапа 5*, выходом которого будет набор факторов внешней и внутренней сред системы деятельности,

от которых будет зависеть выполнение каждого из мероприятий и всего создаваемого процесса и организации, осуществляющей этот процесс в целом.

На этапе 6 в зависимости от характера и технологии работ, и факторов внешней и внутренней среды (выходом 3, 4, 5) требуется определить виды и качество требуемых ресурсов, т.е. необходимых специалистов и других видов ресурсов и их производительность. Очевидно, что в содержание процесса работы на данном этапе следует включать:

- ♦ определение на основе анализа характера и технологии работ требуемых специалистов и видов других ресурсов;
- ♦ определение с учетом директивных сроков достижения цели желаемой производительности ресурсов.

На этапе 7 определяется наличное количество ресурсов. Содержанием процесса деятельности на этом этапе будет являться:

- ♦ определение общего количества специалистов и других видов ресурсов;
- ♦ определение количества ресурсов, занятых в деятельности по достижению других целей;
- ♦ определение сравнительной важности целей, их предпочтительности и сроков их достижения;
- ♦ определение количества и качества ресурсов, которые могут быть использованы при достижении рассматриваемой цели на различных этапах деятельности (наличное количество ресурсов может колебаться в процессе достижения цели).

На этапе 7 кончается системный анализ. В результате анализа предстоящей деятельности нами определены:

- ♦ цель деятельности;
- ♦ задачи деятельности;

- ◆ мероприятия, которые необходимо выполнить, чтобы обеспечить выполнение каждой из задач;
- ◆ определены факторы внешней и внутренней среды, влияющих на выполнение каждого мероприятия, задач и достижения цели;
- ◆ требуемые виды и качество ресурсов.

В результате анализа нам стало известно, что надо сделать, в какой последовательности сделать, чтобы достичь цели деятельности, и что влияет на успех предстоящей деятельности и какие силы и средства необходимы для этого.

Этап 8 является самым ответственным: в результате его реализации должна быть разработана модель будущего процесса деятельности — это его выход. Входом данного этапа является все то, что определено на предыдущих этапах, т.е. это и цель, и задачи деятельности, и состав, и технологии выполнения мероприятий, и факторы внешней и внутренней среды, и характер их изменения в будущем, и потребные виды ресурсов, и их наличие.

Модель деятельности по достижению цели, вообще говоря, может быть самой различной. Ее характер будет зависеть от важности процесса, от точности определения входных данных, от наличия времени на ее разработку. Она, ввиду сложности процессов общественной деятельности и невозможности выразить «человеческие» факторы строго математически, редко будет являться оптимизационной (оптимизация возможна, но лишь отдельных ее блоков, отдельных задач).

Содержанием этого этапа будет:

- ◆ оперативное описание процесса деятельности;
- ◆ выбор критерия;
- ◆ выбор способа моделирования.

Далее, если ЭВМ не применяется: осуществляется разработка модели, оптимизация или улучшение модели. Если ЭВМ применяется: разработка алгоритма модели; разработка

программы и ее отладка; реализация модели на ЭВМ и получение оптимального варианта, если модель оптимизационная, или набора вариантов с их количественными оценками, если оптимизация модели невозможна.

На этапе 9 определяется минимальное количество видов ресурсов, необходимых для завершения процесса в срок. Входом является разработанная на предыдущем этапе модель, в результате оптимизации (улучшения) которой не было обеспечено с имеющимися ресурсами достижение цели деятельности в срок. Содержанием этого этапа будет последовательный просмотр результатов моделирования при увеличении ресурсов до получения желаемого результата.

Как видим, если на этапе 8 решались задачи оптимизации по времени (по быстродействию) при ограничениях на ресурсы, то на этапе 9 должна рассматриваться задача оптимизации ресурсов при ограничении на время. При этом может быть использована уже разработанная на этапе 8 модель или может быть разработана новая.

На этом же этапе осуществляется необходимое изменение режима использования ресурсов для обеспечения достижения цели в срок. Тогда задачи моделирования будут заключаться в определении минимальной продолжительности рабочего дня при ограничениях на время достижения цели деятельности и на ресурсы.

Входами этапа 10 являются полученные в результате моделирования:

- ♦ оптимальный вариант действий (набор вариантов, действий) в соответствии со сроками достижения цели и намеченными ресурсами;
- ♦ оптимальные предложения по изменению состава ресурсов или режима их работы в случае, когда наличными ресурсами при нормальном режиме их работы достичь цели с заданной эффективностью в указанные сроки не представляется возможным.

Выход из этого этапа — утвержденный руководителем вариант действий по достижению цели.

Содержанием *этапа 11* является оформление решения (разработка плана) и утверждение руководителем.

На *этапе 12* на основании плана (вход) должны быть разработаны конкретные программы индивидуальной (коллективной) подготовки исполнителей, осуществлена эта подготовка, получение недостающих ресурсов, а также реализован разработанный план.

Рассмотренная методология пригодна как при создании организационных систем управления, так и при корректировке, уточнении структуры уже созданных процессов и целевых организаций.

Следует отметить, что выходы каждого из этапов, каждого из шагов деятельности на этапах должны быть согласованы друг с другом и, конечно, с целью деятельности. Что значит согласовать выходы? Это значит, прежде всего, согласовать методы работы на этапах и шагах, которые обеспечивают качество выходов и определяют продолжительность работы на этапе (шаге). Эти методы должны быть согласованы по точности, мощности, по качеству.

СПЕЦИФИКА ОТДЕЛЬНЫХ ВИДОВ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

В основу *структурного анализа и синтеза* организационных систем управления должен быть положен системно-исторический подход.

Системно-исторический подход предполагает учет целей и задач, решаемых системой на данном историческом этапе ее развития, причем во времени, собственно ей принадлежа-

щем. С целью обеспечения эффективного управления структура системы должна адаптироваться к изменяющейся обстановке путем периодического решения следующих задач [6]:

- ♦ оценки и определения рационального числа уровней управления;
- ♦ корректировки состава органов управления, отношений и связей между ними;
- ♦ определения предельного числа исполнителей, подчиненных органам управления и отдельным руководителям;
- ♦ установления рациональной численности всего управленческого персонала системы при заданном количестве непосредственных исполнителей;
- ♦ оценки и определение мест размещения органов управления для обеспечения требуемой устойчивости и оперативности управления.

Наряду с решением указанных задач должны решаться задачи структурного анализа и синтеза технических и эргатических систем управления, которые могут быть как отдельные элементы в организационные системы управления.

Функциональный анализ и синтез организационных систем управления логически связан с перечисленными структурными задачами и включает решение следующих задач [22]:

- ♦ определение целей управления и построение дерева целей, соответствующего иерархической структуре системы управления;
- ♦ определение перечня и содержания основных задач управления, установление их взаимосвязи по входной и выходной информации;
- ♦ анализ и рациональное распределение функций управления между органами и отдельными руководителями;

- ♦ анализ и определение обязанностей, прав, ответственности и соподчиненности органов и отдельных должностных лиц при решении задач управления;
- ♦ исследование и разработку эффективных методов решения задач управления;
- ♦ обобщение и применение принципов управления, разработанных в ходе исторического развития и совершенствования исследуемых систем.

Следует отметить, что в наиболее общей форме функциональный синтез новой системы включает [14]:

- ♦ определение всех необходимых функций, которые должны быть выполнены;
- ♦ нахождение хотя бы одного, безусловно, осуществимого способа выполнения каждой функции;
- ♦ нахождение такой схемы или модели, в рамках которой можно совместно выполнить отдельные функции для достижения общих целей.

Анализ сосредоточивает внимание на структуре и показывает, как работают части целого. Синтез акцентирует внимание на функциях и открывает почему и как действуют части целого.

Информационный анализ и синтез организационных систем управления направлен на исследование информационных массивов и потоков с учетом всех видов взаимодействия элементов систем: человек — человек, человек — машина, машина — машина. Информационный анализ включает исследование количественных и качественных характеристик информации, используемой в системе управления. Информационный синтез осуществляется с целью определения требуемых качественных и количественных характеристик в проектируемой системе управления.

Информационный анализ и синтез в системе «человек — человек» включает:

- ♦ определение перечня и содержание документов, порядок их оформления, учета и доставки;

- ♦ методы сбора и обработки неформализованных сообщений;
- ♦ организацию информационного взаимодействия должностных лиц и органов управления в процессе принятия решений и их выполнения.

Параметрический анализ и синтез организационных систем управления

Под показателями эффективности оргуправления понимаем минимальное по включению множество характеристик системы, позволяющих описать цель и все ее задачи. Каждый показатель эффективности отвечает требованиям соответствия, критичности, устойчивости и информативности. Остальные характеристики оргсистемы — либо их аргументы, либо вспомогательные показатели [24].

Свойство соответствия у показателя (характеристики) имеет место, если знак изменения показателя соответствует знаку изменения степени достижения цели системы или качества выполнения одной из функций оргсистемы, другими словами, если данная характеристика является «существенной» для описания качества выполнения функций оргсистемы или ее целей (задач).

Критичность имеет место, если «существенным» изменением аргументов данного показателя соответствует и «существенное» изменение этого показателя.

Устойчивость показателя имеет место, если «малым» изменениям его аргументов соответствуют и «малые» изменения самого показателя.

Информативность считается прямо пропорциональной числу «существенных» аргументов показателя (хотя этим не исчерпывается).

Существенными считаются аргументы, которые при своем изменении влекут за собой изменение показателя. Первые три требования — необходимые свойства, информативность — желательное свойство.

По видам показатели могут быть [24]:

- ◆ количественно измеримыми и качественными категориями (уровень квалификации обслуживающего персонала, морально-этическая ответственность персонала за качество и т.д.);
- ◆ абсолютные (определяющие безусловную, взятую вне сравнений с чем-то ценность выделяемых свойств системы) и сравнительные (определяющие ценность по отношению к аналогичным объектам, к эталону, к некоторому периоду и т.д. и т.п.);
- ◆ размерные (имеющие единицу измерения) и безразмерные они же относительные — те которые не имеют единиц измерения (пример, доля малоимущих в общей численности населения района);
- ◆ интегральные (оценивающие общесистемные целостные свойства, качества) и частные (оценивающие свойства подсистем, элементов отдельных сторон системы);
- ◆ мажорируемые, которые надо увеличивать для роста степени достижения целей системы или повышения качества выполнения ее функций (например, надежность) и минорируемые, у которых идеальным является наименьшее значение (например, стоимость);
- ◆ прямые — это показатели, которые предназначены для описания целей системы, и косвенные, которые созданы искусственно, но согласованны с каким-нибудь прямым показателем.

Одним из возможных интегральных абсолютных критериев оценки управленческих решений по социально-экополи-

тическим проблемам может быть уровень жизни населения на территории, подведомственной руководству данной оргсистемы. Уровень жизни можно измерять оценкой объема благ (материальных и духовных) и услуг, которые граждане, проживающие на подведомственной территории, могут получать, вкладывая имеющиеся у них доходы. Перечень таких благ и услуг — дело общественного договора.

ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ ОРГАНИЗАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ

К основным чертам организационного управления можно отнести [24]:

- ◆ неаддитивность отношений;
- ◆ неопределенность данных;
- ◆ многокритериальность;
- ◆ стохастичность;
- ◆ порог сложности;
- ◆ редкая повторяемость проблемных ситуаций;
- ◆ фактор времени.

Рассмотрим сущность каждой из черт организационного управления.

Неаддитивность отношений определяется тем, что свойства организационной системы управления не есть простая сумма свойств, входящих в нее элементов (подсистем). Следовательно, применение линейных функций в качестве интегральных показателей оценки действий и решений в организационном управлении не отвечает сущности понятия свойств организационной системы.

Применение «неаддитивных функций» создает большие трудности, усложняя математический аппарат и увеличивая количество исходных данных.

Неопределенность данных — фактор, присущий моменту принятия руководителем (должностным лицом) управленческого решения (ставящим под ним свою подпись и с этого момента за него отвечающим) в условиях, когда он не знает точных значений ряда характеристик, важных для решения, и/или не знает о том, что ряд характеристик влияет на последствия реализации решения, но они не учитывались при подготовке решения, и/или не знает, к какому из множеств событий отнести наблюдаемое явление.

Многокритериальность — это состояние, при котором оценка деятельности организационной системы управления осуществляется по нескольким показателям.

Деятельность организационной системы управления протекает в окружающей среде и потребляет ресурсы, необходимые и другим системам. Естественный дефицит ряда ресурсов порождает противоречие с окружающей средой. Показатели, связанные с окружающей средой, можно условно назвать показателями взаимодействия с окружающей средой.

Организационная система управления создается для выполнения каких-то функций, следовательно оценка качества выполнения этих функций порождает другую группу показателей качества управленческих функций, которые можно условно назвать производственными или функциональными показателями.

Проблему создает не само число разных показателей, а так называемая противоречивость отдельных показателей. Противоречивые показатели появляются в том случае, когда для достижения целей надо добиваться увеличения одновременно двух противоречивых функций, вследствие чего возникает противоречивая ситуация: увеличение одной функции сопровождается падением другой и, следовательно, непонятно, что делать, на каком решении остановиться. Выход компромисс: такое сочетание значений показателей одновременно приемлемых для лица, принимающего решение.

Стохастичность — результаты реализации управленческих решений, являются случайными событиями.

Основными причинами стохастического функционирования организационных систем управления являются:

- ♦ отсутствие однозначных аналитических зависимостей между возможными результатами реализации управленческих решений, с одной стороны, и состоянием системы в момент воздействия на нее возмущения в окружающей среде, величины возмущения в окружающей среде, величины возмущения, параметров управленческого решения, характеристик целей. Отсутствие таких зависимостей говорит о том, что организационные системы управления неформализуемы или слабо формализуемы при наличии словесного описания характеристик зависимостей на принятом языке деловой прозы;
- ♦ случайный характер «поведения» окружающей среды и, как следствие, случайный характер возмущения (как величины, так и времени появления);
- ♦ непреднамеренные и непредсказуемые искажения и запаздывания данных о состоянии оргсистемы управления и окружающей среды в целях сбора, обработки данных людьми и представления информации в верхние инстанции;
- ♦ ограниченную управляемость оргсистем: не из всякого состояния и не при всяком возмущающем воздействии можно достичь произвольной цели за конечное время; с другой стороны, попытка достижения желаемых целей из данного состояния системы и возмущающего воздействия окружающей среды может привести к непредвиденным результатам.

Порог сложности состоит в том, что в единицу времени человек в состоянии решить задачу ограниченной сложности и усвоить ограниченный объем информации. У каждого инди-

видуума имеется свой как бы порог сложности решаемых задач, выше которого за ограниченное время он подняться не может. На практике средний индивидуум в состоянии одновременно обработать 6-8 взаимосвязанных факторов.

Редкая повторяемость проблемных ситуаций подвергает сомнению правомочность применения классической теории вероятностей. Применение субъективных вероятностей, т.е. субъективного представления о достоверности редких событий — одна из задач теории поддержки управленческих решений, которая в настоящее время слабо разработана.

Неантагонистический конфликт имеет место между сотрудниками разного уровня управления, включая и первое лицо, а также между сотрудниками, находящимися на одном уровне управления.

Сталкиваясь с неопределенностью обстановки и осознавая стохастичность процесса функционирования, каждый сотрудник вынужден создавать резерв ресурсов, которыми он может лично распоряжаться или влиять на их использование в интересах своего участка дела, причем объем этого резерва он, как правило, завышает по сравнению со средними потребностями и скрывает от вышестоящего начальника истинные, т.е. минимальные, истребные объемы. В противном случае вышестоящий начальник превратит их в норматив. Так возникает незримый неантагонистический подчиненный, который стремится завысить норматив расходования ресурсов, начальник — сократить.

Фактор времени связан с быстрым старением добываемой информации, что выдвигает в ряд наиважнейших требований сокращения по возможности процедуры обоснования и принятия управленческих решений. Часто важно принять, может быть, не самое лучшее по другим критериям решение, зато вовремя.

ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОРГАНИЗАЦИОННОМУ УПРАВЛЕНИЮ

Организационными системами управления мы называли системы, обеспечивающие функционирование коллектива людей для достижения определенных целей.

Таким образом, уже в самом определении организационной системы управления предполагается целенаправленный характер ее функционирования. Цель может быть достигнута только в том случае, когда организационные процессы будут эффективными, т.е. обеспечивать получение наилучших результатов на единицу затрат соответствующих ресурсов; когда организационные процессы будут надежными, т.е. гарантировано само осуществление процесса как такового; когда организационные процессы осуществляются без задержек, излишних временных разрывов и не выходят за пределы временных границ, т.е. оперативны; когда организационные системы обладают гибкостью, т.е. способностью к оперативным изменениям в ходе своего осуществления; когда организационные процессы характеризуются непрерывностью и ритмичностью, т.е. соответствием между деятельностью той или иной стадии (этапом, периодом, фазой) и происходящими в ходе ее изменениями. Названные требования могут быть реализованы только в том случае, когда организационная система управления обладает таким качеством, как устойчивость системы, т.е. свойством сохранять некоторое свое качество в процессе управления при наличии возмущений [24].

Рассмотрим более подробно название требования применительно к организационному управлению [24].

Устойчивость — свойство процесса управления сохранять и восстанавливать свое качество в условиях внешних и внутренних возмущений.

Применительно к организационным системам управления устойчивость — способность решать все задачи, требуемые обстановкой при целенаправленных внешних воздействиях. Она есть результат технической и функциональной устойчивости [24].

Техническая устойчивость — способность противостоять воздействиям технического характера с помощью технических средств.

Функциональная устойчивость — способность противостоять воздействиям социально-политического, экономического характера и другим нетехническим воздействиям с помощью средств интеллектуального характера: организации труда, методов создания и введения информации, решения интеллектуальных задач и др.

Таким образом, при оценке устойчивости необходимо установить показатели свойств процесса управления, значения которых необходимо сохранить и определить степени влияния на эти показатели различных возмущений (воздействия окружающей среды, ошибок управленческого персонала и т. д.).

Устойчивость процесса может быть абсолютной, т.е. оцениваться по всем его свойствам, и относительной, когда оценка производится с помощью некоторого функционала, характеризующего одно из свойств исследуемого процесса. Для оценки устойчивости необходимо указать такие ограничения, налагаемые на возмущения, при которых функционал будет сохранять свое конечное значение в некотором, вообще говоря, вероятностном смысле. Устойчивость организационных систем управления количественно измеряется как вероятность решений в заданные сроки необходимых управленческих задач.

Известно много подходов оценки устойчивости системы. Наиболее распространенными являются оценки устойчивости по Ляпунову и Лагранжу.

Устойчивость по Ляпунову — управление считается устойчивым, если при любом возмущающем воздействии со стороны окружающей среды система способна за конечное время или в пределе приблизиться как угодно близко к той траектории движения в пространстве состояний, которую она имела до начала возмущения. Оценка устойчивости социально-экономических систем по Ляпунову практически невозможна из-за трудности описания ограничений на возможные возмущения и учета всех возможных возмущений.

Устойчивость по Лагранжу — система, а вместе с ней и управление устойчивы, если при конечных возмущениях в окружающей среде ни один из параметров по модулю не стремится к бесконечности, оставаясь ограниченной величиной. Такое понятие позволяет косвенно оценивать и устойчивость в первоначальной ее формулировке, и качество вырабатываемых решений: если система неустойчива по Лагранжу, значит какие-то параметры в пределе устремляются к бесконечности, а это противоречит здравому смыслу и неприемлемо, так как говорит о потере управления. Действительно, если, например, число безработных стремится к бесконечности, то о каком качестве управления можно говорить?

Оно явно не отвечает своему назначению. Аналогично будет абсурдным, если в бесконечность (в исследованиях) устремится заработная плата представителей какого-то имущественного слоя. Разумеется, устойчивость по Лагранжу еще не говорит о качестве управления. Подобная категория достаточно груба для этого. В настоящее время проблема анализа и синтеза устойчивых процессов управления сложными организационными системами в условиях различных неопределенных внешних и внутренних возмущений является нерешенной.

Оперативность — свойство процесса управления обеспечивать завершение цикла управления в требуемые сроки.

Оперативность процессов обеспечивается:

- ♦ ясностью целевых ориентиров и реальностью задач;

- ♦ полным и своевременным информированием субъекта управления о состоянии системы, среды и ходе самого процесса;
- ♦ достаточной гибкостью процесса, позволяющей своевременно адаптироваться к изменяющейся ситуации;
- ♦ регламентированием процесса и, в частности, разработкой процедур, обеспечивающих согласованность между фазами процесса;
- ♦ осуществление параллельного выполнения отдельных частей процесса;
- ♦ четким контролем за процессом со стороны субъекта управления;
- ♦ наличием ресурсов, достаточных для обеспечения необходимой скорости и соответствующего временного режима реализации процесса.

Устойчивое управление всегда оперативно по своему определению. Обратное — не всегда: объясняется возможностью необеспечения нужного качества решения, несвоевременностью доведения решений до исполнителей, искажением информации только по вине средств и способов управления, построения и технического оснащения системы управления. Например, при фиксированной суммарной оценке продолжительности сбора данных, первичной обработки, пересылке данных, подготовки и принятия решений настолько большой, что исполнители не успевают реализовать их до появления новых возмущений в окружающей среде, требующих принятия новых решений, или время на подготовку и принятие решений настолько мало, что оно не дает возможности принять качественные решения и т.д.

Гибкость — способность изменять формы и методы управления в зависимости от обстановки. Организационный процесс должен обладать гибкостью, то есть способностью к оперативным изменениям в ходе своего осуществления.

Гибкость процесса обеспечивается:

- ◆ повышением уровня управляемости процессом, так как слабая управляемость затрудняет осуществление оперативных и целесообразных изменений;
- ◆ гибкостью структуры системы, осуществляющей данный процесс;
- ◆ информативностью процесса, обеспечивающей полноту и своевременность поступления информации;
- ◆ восприимчивостью процесса к воздействиям со стороны субъекта управления;
- ◆ оперативностью процесса, обеспечивающей своевременность изменений;
- ◆ формированием многовариантных структур реализации процесса;
- ◆ интервальностью значений длительности процесса и его отдельных стадий.

Гибкость управления имеет место, если система управления способна менять по обстановке правила (алгоритмы) своих действий. Например, переходить от централизованного к децентрализованному управлению, частично децентрализованному и наоборот от децентрализованного к централизованному.

Гибкость управления — одно из необходимых, но недостаточных условий эффективности управления. Система управления может менять и формы, и методы, но не достигать желаемых результатов из-за некачественных (малоудачных) решений, запаздывания решений и т.п. — из-за всего, что не обеспечивает устойчивости управления.

Непрерывность — свойство (способность) процесса управления не допускать перерыва между последовательно выполняемыми этапами (фазами) или другими действиями процесса, приводящими к снижению качества управления.

Непрерывность процесса нарушается, если между двумя последовательно выполняемыми этапами возникает незапла-

нированная пауза, приводящая к снижению качества выполнения последующих этапов (например, из-за потери ценности информации), несвоевременному достижению поставленной цели и срыву всего процесса управления.

Требования к непрерывности могут быть определены с помощью системы неравенств [24]:

$$\Delta \tau_{ij} < 0, i, j \in II,$$

$\Delta \tau_{ij}$ — время перерыва между i -м и j -м соединениями последовательно выполняемыми этапами управления;

$$\Delta \tau_{ij} = t_j - t_i;$$

где t_j — момент начала выполнения j -го этапа;

t_i — момент окончания выполнения i -го этапа;

II — множество пар индексов соседних последовательно выполняемых этапов.

Отрицательное значение $\Delta \tau_{ij}$ соответствует пересечению этапов во времени.

Естественно, для реальных процессов управления допускаются отдельные незначительные «холостые» перерывы, т.е. возможно, что $\Delta \tau_{ij} > 0$. Однако предельные максимальные значения этих перерывов необходимо определять с учетом соотношений продолжительности этапов и инерциальности объекта управления.

Величины $\Delta \tau_{ij}$ являются случайными, поэтому, как правило, используются их вероятные характеристики: математическое ожидание перерывов между i -м и j -м этапами. $M[\Delta \tau_{ij}]$, $ij \in II$ и вероятность отсутствия перерывов между i -м и j -м этапами, приводящими к нарушению процесса управления, $P(\Delta \tau_{ij} < \Delta \tau_{\text{доп}})$, $ij \in II$, где $\Delta \tau_{\text{доп}}$ — допустимое время перерыва между i -м и j -м этапами, превышение которого приводит к нарушению процесса управления.

Непрерывность — свойство, не претендующее на оценку качества решений или управления. Однако, непрерывность является необходимым условием эффективности управления,

в то время, как устойчивость — это одно из достаточных условий эффективности.

Требование эффективности организационного управления отвечает на вопрос соответствия реальных (фактических или ожидаемых) результатов процесса управления требуемым или, иными словами, степени достижения цели управления. Только достаточно эффективный процесс управления является целесообразным. Требование эффективности организационных систем управления является необходимым условием эффективности. Вопрос об эффективности — это вопрос о «цене» затрат, которые должны быть осуществлены для получения определенного результата.

РЕЗЮМЕ

Системам с управлением (системам управления) свойственен ряд общих признаков независимо от их природы и назначения. К таким общим признакам можно отнести:

- ◆ наличие обмена информацией между элементами системы. Без обмена информацией такие системы не могут функционировать и сохранять свою целостность;
- ◆ открытость систем, т.е. воздействия среды на них и их на внешнюю среду. При этом воздействия могут иметь самую различную природу и последствия;
- ◆ наличие цели управления и общего подхода к формированию управляющих воздействий, обеспечивающих наилучшее достижение поставленной цели в соответствии с заданными или сформированными в процессе управления критериями эффективности;
- ◆ наличие некоторого множества допустимых линий поведения системы, из которых выбирается наиболее предпочтительная. Если возможности выбора линий поведения нет, то управление фактически отсутствует;
- ◆ наличие характерных определенных структур, отражающих контуры управления;
- ◆ наличие иерархической организации, т.е. они устроены иерархическим образом. Иерархически организованы социальные структуры и социальные сообщества, экономические, технические, эргатические, информационные, биологические системы на различных уровнях их организации.

Системам с управлением присуща общая схема анализа и синтеза:

- ♦ общая схема анализа любой системы управления, основана на ее декомпозиции и исследовании свойств и взаимодействий отдельных элементов;
- ♦ общая схема синтеза любой системы управления основана на формировании системы с заданными свойствами путем объединения трех составляющих: материальных объектов, информации и энергии.

Специфика анализа и синтеза обусловлена особенностями каждого вида систем управления.

Технические системы управления имеют следующие особенности:

- ♦ четко определенную, как правило, единственную цель или группу целей управления;
- ♦ отсутствие человека в контуре управления с его социальными и психологическими особенностями;
- ♦ достаточно высокую определенность исходных данных и возможность формализации процессов функционирования с использованием детерминированных или стохастических математических моделей.

Эргатические системы управления имеют следующие особенности:

- ♦ наличие множества частных целей управления формируемых вышестоящими органами управления в зависимости от состояний объектов управления и условий обстановки;
- ♦ наличие человека в контуре управления, необходимость учета его психологических особенностей;
- ♦ неопределенность исходных данных и невозможность адекватного описания процессов функционирования с использованием детерминированных математических моделей;

- ♦ большое число и разнообразие разнесенных подсистем.

Организационные системы управления имеют следующие особенности:

- ♦ возможность самостоятельного формирования целей и способность к самоорганизации;
- ♦ необходимость учета в процессе управления многочисленных политических, социальных и экономических факторов;
- ♦ высокую неопределенность исходных данных, невозможность прогнозирования всех факторов, влияющих на процессы управления, и низкую эффективность применения математических моделей для принятия управленческих решений;
- ♦ основную роль человека при принятии решений и организации их выполнения, что определяет субъективный характер процессов управления и связанные с этим ошибки при формировании целей и расходовании ресурсов на их достижение;
- ♦ большое число и разнообразие связей и отношений между органами управления и отдельными руководителями, отсутствие четких границ между управляющей системой и объектами управления, имеющими сложную иерархическую структуру.

ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

1. Перечислите общие особенности, присущие системам управления.
2. Особенности технических систем управления.
3. Особенности структурного анализа и синтеза ТСУ.
4. Особенности функционального анализа и синтеза ТСУ.
5. Особенности информационного анализа и синтеза ТСУ.
6. Особенности параметрического анализа и синтеза ТСУ.
7. В чем сущность технического обоснования облика перспективной системы?
8. Раскройте содержание тактико-технического задания на разработке технической системы управления.
9. Этапы создания новых технических систем управления и его участники.
10. Сущность архитектурного проектирования.
11. Общая процедура обоснования, облика перспективной технической системы управления.
12. Особенности эргатических систем управления.
13. Инженерно-психологические проблемы, требующие решения в процессе создания и эксплуатации эргатических систем управления.
14. Особенности структурного анализа и синтеза эргатических систем управления.
15. Особенности функционального анализа и синтеза эргатических систем управления.
16. Особенности информационного анализа и синтеза эргатических систем управления.
17. Особенности параметрического анализа и синтеза эргатических систем управления.

18. Типовые противоречия, разрешаемые в процессе создания новых эргатических систем управления.
19. Содержание нововведений в зависимости от глубины реорганизации эргатической системы управления.
20. Основные вопросы, решаемые при внедрении нововведения.
21. Этапы анализа и синтеза организационных систем управления.
22. Сущность и содержание анализа организационных систем управления.
23. Сущность и содержание синтеза организационных систем управления.
24. Особенности структурного анализа и синтеза организационных систем управления.
25. Особенности функционального анализа и синтеза организационных систем управления.
26. Особенности информационного анализа и синтеза организационных систем управления.
27. Особенности параметрического анализа и синтеза организационных систем управления.
28. Основные требования к организационному управлению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анокин И.А. Кибернетика и научно-технических прогресс (история и перспективы) — М.: Наука, 1981.
2. Арлазаров В.Л. Элементы теории инструментальных систем. // Системные исследования: Методол. проблемы: Ежегодник, 1986. М.: Наука, 1987.
3. Афанасьев В.Г., Семанихин В.С., Кузнецов П.Е., Чесноков В.С. Диалектический метод К. Маркса — теоретическая основа разработки и применения систем «СПУТНИК-СКАЛАР» // Вопросы кибернетики. — М.: ВИНТИ, 1986.
4. Балашов В.П. Эволюционный синтез систем. — М.: Радио и связь, 1985.
5. Данилевский Ю.Г. и др. Информационная технология в промышленности. Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1988.
6. Денисов А.А., Колесников Д.Н. Теория больших систем управления: Учебное пособие для вузов: — Л.: Энергоиздат, Ленингр. отделение, 1982.
7. Душков Б.А., Смирнов Б.А., Терехов В.А. Инженерно-психологические основы конструкторской деятельности (при проектировании систем «человек-машина»): Учеб. пособ. — М.: Высш. шк., 1990.
8. Клир Дж. Систематология. Автоматизация решения системных задач. /Пер. с англ. — М.: Радио и связь, 1990.
9. Ларин А. А. Теоретические основы управления. Ч. 1. Процессы и системы управления: Учебное пособие. — М.: РВСН, 1995.
10. Малышев Н.Г. Мицук Н.В. Основы оптимального управления процессами автоматизированного проектирования. — М.: Энергоатомиздат, 1990.

11. Мухин В.И. Методология исследования систем управления: Курс лекций. — Новогорск: АГЗ МЧС РФ, 1997.

12. Микроэлектронная технология и ее влияние на общество / Сборник статей под редакцией Мервина А. Джека: пер. с англ. — М.: Знание, 1987.

13. Научные основы организации управления и построения АСУ: Учеб. для сред. спец. учеб. заведений /В. Л. Бройдо, В.В. Диденко, В.С. Крылов и др. Под ред. В. Л. Бройдо, В. С. Крылова. — 2-е издание, переработанное и доп. — М.: Высшая школа, 1990.

14. Попов А. А., Телушкин И. М., Бушуев С. Н. и др. Основы общей теории систем. Часть 1., ВАС, 1992.

15. Ожегов С. И. Словарь русского языка. — М.: Русский язык, 1984.

16. Павлов В. М. Методические основы системных исследований военно-космических средств: Учебное пособие. — М.: РВСН, 1998.

17. Павлов В.В. Начала теории эргатических систем. — Киев: Наукова думка, 1975. 239 с.

18. Пятибратов А.П. Вычислительные системы с дистанционным доступом. — М.: Энергия, 1979.

19. Рахманкулов В. З. Системный подход к созданию гибких автоматизированных производств //Проблемы создания гибких автоматизированных производств — М.: Наука. 1989.

20. Конструирование автоматических космических аппаратов /Под ред. Д. И. Козлова — М.: Машиностроение, 1996.

21. Теоретические и информационные аспекты промышленного моделирования. — М.: ИНИОН РАН, 1994.

22. Хохлачев Е. Н. Теоретические основы управления. Ч. 2 Анализ и синтез систем управления. Учебное пособие. — М.: РВСН, 1996.

23. Чирченко О. Н. Информационные аспекты компьютеризации. — М.: Наука, 1989.

24. Федулов Ю.Г. Основы автоматизированного организационного управления. Учебное пособие. — М.: Изд. РАГС, 1997.

ГЛАВА 4. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И СИНТЕЗ ПРОБЛЕМЫ

Цель главы — сформулировать представление о проблеме как системе и показать порядок ее решения

ПОСЛЕ ИЗУЧЕНИЯ ГЛАВЫ ВЫ ДОЛЖНЫ БЫТЬ В СОСТОЯНИИ:

- раскрыть сущность проблемы как системы и этапы процесса решения проблемы;
- определить цель и порядок формулирования проблемы;
- охарактеризовать процесс формирования целей;
- описать этапы структуризации проблемы;
- раскрыть сущность выявления и выбора альтернатив решения проблемы;
- описать порядок принятия решения в зависимости от наличия информации, а также порядок выбора оптимальных решений;
- изложить концептуальный подход к проявлению системной идеи.

4.1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОБЛЕМЫ КАК СИСТЕМЫ

ПОНЯТИЕ ПРОБЛЕМЫ И ПРОБЛЕМНОЙ СИТУАЦИИ

Проблема (от греч. *problema* — задача) в широком смысле — сложный теоретический или практический вопрос, требующий изучения, разрешения. В науке — противоречивая ситуация, выступающая в виде противоположных позиций в объяснении каких-либо явлений, объектов, процессов и требующая адекватной теории для ее разрешения.

Вся история познания представляет, по существу, историю преодоления познавательных затруднений, которые социальная практика непрерывно ставила перед человечеством. Вся история человечества и индивида связана с преодолением затруднений средствами интеллекта.

**По существу проблема — есть ситуация несоответствия
желаемого и существующего.**

Известный советский психолог Рубинштейн писал: «Мыслить человек начинает тогда, когда у него появляется потребность что-то понять. Мышление всегда начинается с проблемы или вопроса, с удивления или недоумения, с противоречия. Этой проблемной ситуацией определяется вовлечение личности в мыслительный процесс; он всегда направлен на разрешение какой-то задачи».

Итак, проблемные ситуации возникают в процессе познавательной деятельности субъекта, направленной на

некий объект, когда субъект встречается какое-то затруднение, преграду.

Преграда может быть самой различной природы: это и недостаток или несоответствие знаний, средств и способов их применения, и необходимость произвести какие-то неизвестные действия для достижения цели или сделать выбор между несколькими объектами и т.п. Во всех этих случаях возникает ситуация, которую принято называть проблемной. Проблемная ситуация — это «разрыв» в деятельности, «рассогласование между целями и возможностями субъекта, т.е. создаются условия, порождающие проблему.

Проблемная ситуация — условия, порождающие проблему.

Условия постановки проблемы — объективно возникающие противоречия в тех или иных действиях и незнание способов их выполнения; между потребностями в новых знаниях и их недостаточностью.

Типичные проблемные ситуации:

- 1) результаты деятельности не соответствуют желанным целям;
- 2) ранее выработанные, теоретически обоснованные и практически проверенные методы решения не дают должного эффекта или не могут быть использованы;
- 3) в ходе практической деятельности обнаруживаются факты, данные практического опыта, которые не укладываются в рамки существующих теоретических представлений;
- 4) одна из частных теорий вступает в логическое противоречие с более общей теорией или другими областями жизни в пределах данной отрасли знаний.

КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОБЛЕМ

В настоящее время единой («устойчивой») классификации проблем не существует. Нередко к проблемам относят лишь очень крупные научные и хозяйственные проблемы. В работе [6] под проблемами понимается все те вопросы деятельности предприятий, институтов и отрасли, обоснованное решение которых требует проработки, выявления и сравнения нескольких возможных вариантов. Исходя из принятого выше определения выделяется две категории проблем: *стабилизации* и *развития*.

Проблемами стабилизации называют такие, решение которых направлено на предотвращение, устранение или компенсацию возмущений, нарушающих текущую деятельность системы. К решению проблем стабилизации относится также совокупность мер, которые без изменения основных характеристик системы корректируют процессы текущей деятельности: при этом учитываются изменяющиеся условия протекания установившегося производственного процесса (в том числе возникающие дополнительные возможности использования ресурсов) и колебания потребности в продукции, в том числе ее различных сортовых разновидностей.

На уровне предприятия, подотрасли и отрасли решение этих проблем обозначают термином *управление производством*, понимая под этим совокупность мер по управлению основным и вспомогательным производствами, материально-техническим снабжением и сбытом, а также по их текущему планированию.

Проблемами развития и совершенствования систем называют такие, решение которых направлено на повышение эффективности функционирования за счет изменения характеристик объекта управления или системы управления объектом.

Решение этих проблем можно рассматривать как совокупность мер по переводу системы из исходного состояния в новое, отличающееся от прежнего лучшими техническими характеристиками, лучшей организацией. Это обеспечивает более высокую эффективность системы. На решение проблем развития и совершенствования систем направлено перспективное планирование, управление научно-исследовательскими и опытными работами, проектирование, капитальное строительство, обеспечение технического и организационного прогресса, в том числе внедрение новой техники, планирование и реализация организационно-технических мероприятий, весь комплекс работ по совершенствованию планирования и управления.

В работе [4] также выделяют две категории проблем: *проблемы улучшения деятельности и проблемы нахождения принципиально нового решения.*

Сталкиваясь с необходимостью улучшения какого-либо вида деятельности, мы прежде всего пытаемся определить саму проблему, ищем то звено, элемент или подсистему, которые не отвечают предъявляемым к ним требованиям, вызывают ненормальности в работе.

При подходе к решению, как к созданию чего-то принципиально нового, процесс решения становится значительно сложнее. Здесь уже не ограничиваются описанием ситуации. Решающее значение приобретает учет действия объективных законов социального и экономического развития, определение тенденции этого развития в рассматриваемой области. Определив направление развития, выделяют сами проблемы, подлежащие рассмотрению. Как видим, несмотря на различные названия, категории проблем, рассматриваемые в работе [4] и [6] по своей сути совпадают. Совсем другой подход классификации проблем предлагается в работе [8].

В качестве классификационных признаков используются *степень формализации, характер проявления и степень связности проблем.*

По степени формализации проблемы обычно подразделяются следующим образом:

- ♦ неструктурированные (описание на качественном уровне и решение эвристическими методами на основе опыта и интуиции);
- ♦ слабоструктурированные (качественное и количественное описание, частично формализована предметная область), для решения которых и предназначен системный подход;
- ♦ структурированные (обычно решаются методами исследования операций).

По характеру проявления проблемы обычно подразделяются на повторяющиеся, аналогичные, новые и уникальные.

По степени связности принято выделять комплексные и автономные проблемы.

Следующий вид классификации проблем связывают с уровнем решения. Выделяют четыре уровня проблем и решений [10].

Первый уровень — рутинные проблемы, рутинные решения. На этом уровне руководитель ведет себя в соответствии с имеющейся программой, почти как компьютер, распознающий ситуации и поступающий заранее предсказуемым образом. Функция руководителя в том, чтобы «почувствовать» и идентифицировать ситуации, а затем взять на себя ответственность за начало определенных действий. На этом уровне не требуется творческого подхода, поскольку все процедуры заранее предписаны.

Второй уровень — селективные проблемы, инициативные решения. На этом уровне требуется доля инициативы и свободы.

Руководитель оценивает достоинства целого круга возможных решений и старается выбрать из некоторого числа хорошо отработанных альтернативных наборов действий те, которые лучше всего подходят к данной проблеме.

Результативность зависит от способности руководителя выбрать направление действий с максимальной вероятностью, что оно окажется приемлемым и эффективным.

Третий уровень — адаптационные проблемы, новое решение известной проблемы.

На этом уровне руководитель должен выработать творческое решение, которое в определенном смысле может быть абсолютно новым. Имеется набор проверенных возможностей и некоторые новые идеи. Успех руководителя зависит от его личной инициативы и способности сделать прорыв в неизвестное. Руководитель ищет новое решение известной проблемы.

Четвертый уровень — инновационные проблемы, новое решение неизвестной проблемы. Проблемы сложные, требующие совершенно нового подхода. Наиболее современные и трудные проблемы могут потребовать для их решения создания новой отрасли науки или технологии.

Оптнер Л. делит проблемы на качественные, количественные, смешанные (количественно-качественные) и слабоструктурированные (наличие качественного и количественного описания и частично формализована предметная область) [13].

Количественные проблемы — проблемы, которые выражаются в числах или в таких символах, которые, в конце концов, могут быть выражены в числовых оценках. Особенности количественных проблем: точность, надежность решения, строгость и управляемость.

Точность — возможность с помощью методов статистики и вычислительных машин воспроизвести структуру проблемы и установить ее численные значения и их диапазон.

Надежность решения — установление доверительных интервалов или вероятности осуществления решения.

Строгость — зеркальное отражение надежности (установление критических значений величин элементов проблемы).

Управляемость — способность быстро реагировать на изменения показателей (параметров) системы и манипулировать ими.

Качественные проблемы — проблемы, которые описываются качественными характеристиками, свойствами (связаны с детальным перечислением будущих или плохо определенных ресурсов и их свойств или характеристик).

Качественные проблемы относятся к разряду неструктурированных или очень слабоструктурированных. Кроме того, качественные проблемы не могут быть легко выражены в их логических компонентах. В решении этих проблем главную роль играют суждение, интуиция, опыт, а иногда просто осторожность или безрассудность.

Проблемы, обладающие и качественными, и количественными сторонами, будут называться смешанными или *количественно-качественными проблемами*.

В условиях делового мира, который представляет собой множество организационных и эргатических систем, действует большое количество сложных, менее хорошо организованных входных воздействий. Они составляют смешанный, неясный и неизмеримый фон внешней среды (мораль, дух коллектива, кооперирование и т.д.).

В деловом мире существует большое число входов. Они имеют преходящие состояния и отношения. Обстановке, в которой воспринимаются входы или выходы, не придана структура, позволяющая реагировать на всякий и каждый элемент данных. На каждом уровне организации существует относительно немного конкретных лиц, воспринимающих смешанные или обобщенные входы, а еще меньше способных интерпретировать причины возникновения хаотических выходов организации. Смешанные проблемы могут иметь как количественные, так и качественные аспекты.

Некоторые из наиболее трудных проблем как раз те, которые связывают организацию (целостность) с окружающей средой. Основная операция при решении такой проблемы — выделение (идентификация) системы. Эта операция, в основ-

ном, является качественной и заключается в определении связей элементов (т.е. структуры) и их свойств. Количественные оценки могут быть произведены только после определения свойств. Ошибки при выделении системы могут быть двух типов: объединение необъединимого и разделение неразделимого.

При планировании исследований и разработок, при определении политики относительно продукции или рынка, при диверсификации и приобретении значение математических методов невелико. Эти проблемы вообще относятся к компетенции самого верхнего уровня руководства.

В дополнение к проблемам, стоящим перед высшим руководством, существует множество качественных проблем в каждом отделе любой компании (ведомства), которые разрешаются с помощью суждений. Суждение определяется как выполняемая человеком операция, включающая сравнение и различие. Суждение является средством, с помощью которого формулируется знание, оценки и отношения.

Слабоструктурированная проблема — это такая проблема, состав элементов которой и их связи известны только частично. Возможны различные ситуации, порождающие слабоструктурированные проблемы. Например, если некоторые новые возможности уже сложились, но еще не осознаны, неизбежно возникает ряд слабоструктурированных проблем.

Одна из задач, возникающая при решении таких проблем, состоит в том, чтобы выделить полезные, ценные элементы эвристического процесса. Другая задача состоит в отыскании подходящих способов определения наличия высокого риска, заключенных в возможном способе действий. Конечно, изобретения или творческие предложения, которые могут повлиять на результат эвристического решения проблемы, не должны быть оставлены в стороне.

Обобщая различные способы классификации проблем, можно их привести к следующим трем видам:

- ♦ **оперативные проблемы** — это проблемы, решение которых направлено на предотвращение, устранение или компенсацию возмущений, нарушающих текущую деятельность системы. Это структурированные проблемы. Решение этих проблем связано с количественной их оценкой, наличием хорошо отработанных альтернативных наборов действий в той или другой ситуации;
- ♦ **проблемы совершенствования и развития систем** — это проблемы, решение которых направлено на повышение эффективности функционирования за счет изменения характеристик объекта управления или системы управления объектом, а также внедрения новых идей. Это слабо структурированные проблемы, решение которых является объектом исследования системного анализа и синтеза;
- ♦ **инновационные проблемы** — это проблемы, решение которых связано с выработкой новых идей и внедрением нововведений. Это очень слабо структурированные (или неструктурированные) проблемы. Решение этих проблем связано с порождением новых идей и применением эвристических методов на основе опыта и интуиции.

Объектом нашего дальнейшего изучения будут проблемы совершенствования и развития систем, а также инновационные проблемы.

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ КАК СИСТЕМЫ

Попытаемся раскрыть суть проблемы как системы и обратимся к обобщенной блок-схеме управляемой системы и структурной схеме системы (проблемы) (рис. 4.1 и 4.2).

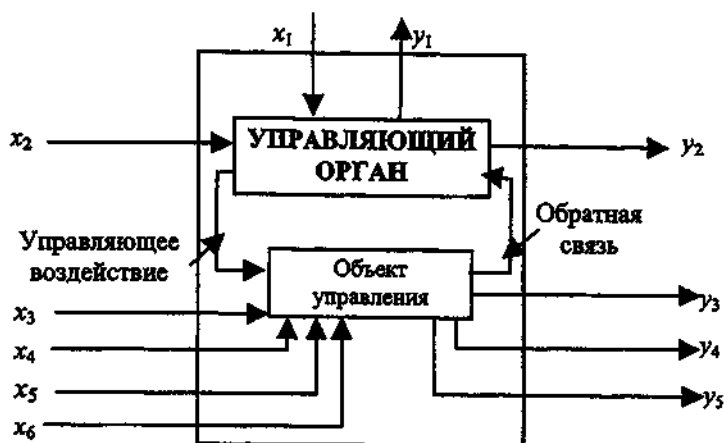


Рис. 4.1. Обобщенная блок-схема управляемой системы

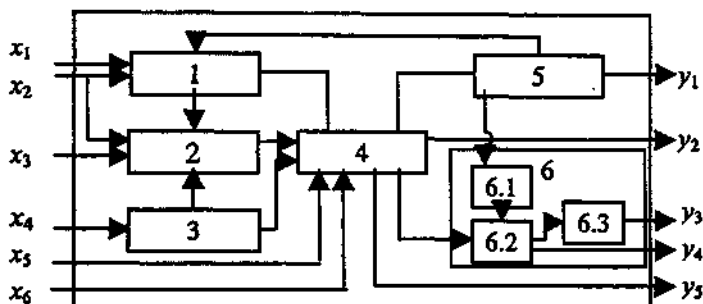


Рис. 4.2. Структурная схема системы (проблемы):

1-6 — подсистемы (подпроблемы) старших рангов;

6.1-6.3 — подсистемы (подпроблемы) младших рангов

Сопоставляя схемы, проведенные на рис. 4.1 и 4.2, легко убедиться, что внешние воздействия или, так называемые, входы управляемых систем можно разделить по крайней мере на три вида:

- ♦ информационные, в том числе управляющие воздействия (x_1) верхнего уровня и горизонтальные информационные связи (x_2), используемые для выработки внутренних управляющих воздействий на объект;

- ♦ исходные ресурсы (x_3, x_4, x_5), используемые в процессе функционирования объекта управления;
- ♦ неуправляемые факторы, нарушающие нормальный процесс функционирования системы, именуемые возмущениями (x_6).

Соответственно можно дифференцировать и выходы системы, выделяя в них:

- ♦ выходную информацию, в том числе обратную связь (y_1) с управляющим органом верхнего уровня, и горизонтальные информационные связи (y_2);
- ♦ целевые конечные результаты функционирования объекта управления (y_3, y_4);
- ♦ негативные последствия функционирования объекта (y_5).

Представим себе, что с помощью рис. 4.1 нам надлежит представить проблему, тогда входы $\{x_i\}$ следует рассматривать как исходные условия и ресурсы для решения проблемы, а выходы $\{y_j\}$ — как результаты решения, обеспечивающие определенную степень достижения поставленных целей. То, что на рис. 4.2 мы именовали подсистемами, следует теперь рассматривать как подпроблемы, которые в процессе решения проблемы взаимосвязаны общностью выделенных ресурсов и принципом единства целей. В данных условиях этот принцип означает, что решение каждой из подпроблем должно быть подчинено наилучшему решению проблемы в целом.

Тот факт, что решение проблем направлено на стабилизацию функционирования или на совершенствование систем, имеющих иерархическую структуру, обуславливает иерархическую структуру, обуславливает иерархичность и самих проблем. Проявляется она не только в том, что каждая проблема представляет собой совокупность подпроблем, но и в том, что почти каждая проблема может рассматриваться, как часть (подпроблема) более крупной проблемы.

Системный подход к решению проблем означает, что процессы разработки обоснованного решения и его реализации следует рассматривать по аналогии с процессами функционирования систем; из них к основным относятся: исследование объекта, его структуры и целей, выявление путей достижения целей (подпроблем), выявление вариантов решений подпроблем, выбор решений подпроблем и проблемы в целом.

Как было ранее отмечено, проблема определяется как ситуация, в которой есть два состояния: одно называется существующим, а другое — желаемым (предполагаемым).

С точки зрения системного подхода, проблемой называется ситуация, характеризующаяся различием между необходимым (желаемым) выходом и существующим выходом.

Существующее состояние представляется существующей системой, т.е. существующий выход обеспечивается существующей системой. Желаемое состояние представляется желаемой (гипотетической) или предлагаемой системой, т.е. желаемый выход обеспечивается желаемой системой.

Проблема — есть разница между существующей и желаемой системой.

Проблема может заключаться в предотвращении уменьшения выхода или же в увеличении выхода.

Условие проблемы представляет существующую систему («известное»). Требование представляет желаемую систему. Решение проблемы есть то, что заполняет промежуток между существующей и желаемой системами. Система, заполняющая промежуток, является объектом конструирования и называется решением проблемы [13].

ЭТАПЫ ПРОЦЕССА РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ

Характеристика этапов процесса решения проблем

Выбор этапов относится к неформализуемой части методологии системных исследований, к ее «логике», на которую существенное влияние оказывает характер проблем, идеология, а иногда и «почерк» исследователя. Именно поэтому нет однозначного подхода к выбору основных этапов подготовки решения проблемы.

Оптнер отмечает три этапа, которые могут возникнуть при решении проблемы [12].

Сформулируйте проблему:

- а) фиксируйте цель и принуждающие связи;
- б) установите условие;
- в) установите границы и подлежащие оценке альтернативы;
- г) установите согласованные критерии;
- д) там, где необходимо, обусловьте предположение;
- е) определите природу риска.

Принимайтесь за проблему:

- а) определите процессы;
- б) соберите данные, описывающие проблему;
- в) сконструируйте метод работы с проблемой и данными проблемы;
- г) работайте с проблемой и данными проблемы;
- д) получите частичное и опытное полное решение;
- е) проверьте прежние решения.

Решайте проблему:

- а) интерпретируйте результаты проверки;

- б) проведите итерацию, начиная с п.1а или с того пункта, с которого необходимо;
- в) начните идентификацию величин, которые должны возрасти;
- г) начните аттестацию качества предлагаемого решения в терминах лучшего решения;
- д) выберите решение и план его реализации;
- е) если можно, внедрите решение как опытное;
- ж) оцените результаты внедрения;
- з) откорректируйте решение;
- и) внедрите откорректированное решение.

Квсайд и Хитч выделяют 5 элементов в процессе исследования систем:

- ◆ цель (или цели);
- ◆ альтернативы (способы достижения целей и их элементы);
- ◆ затраты ресурсов;
- ◆ математические и логические модели (системы связей между целями, альтернативными средствами их достижения, окружающей средой и требованиями по ресурсам);
- ◆ критерий выбора предпочтительных альтернатив.

Янг, применительно к решению проблемы управления организациями, указывает 10 основных этапов, из которых 5 относятся собственно к подготовке и выбору решения, а остальные 5 — к его принятию и реализации.

1. Определение целей организации.
2. Выявление проблем, решение которых необходимо в процессе достижения целей.
3. Исследование проблем и постановка диагноза.
4. Поиск решения проблемы (выявление альтернатив).
5. Оценка всех альтернатив и выбор наилучшей.
6. Согласование намеченного варианта решения.
7. Утверждение решения.

8. Подготовка к вводу решения в действие.

9. Управление реализацией решения.

10. Проверка эффективности решения и необходимая корректировка.

Из отечественных авторов необходимо отметить работу [6], в которой решение сложной проблемы представлено в виде 6 этапов:

Формирование целей исследования.

Концептуальный анализ существующей системы.

При этом исследуются:

- ♦ предпосылки создания системы;
- ♦ ее роль и место в суперсистеме;
- ♦ класс системы;
- ♦ структура системы, вход, выход, процесс (процессор), обратная связь, ограничения;
- ♦ алгоритм и сам процесс функционирования системы;
- ♦ стадии жизненного цикла.

Описание проблемы.

Выявление проблемы:

- ♦ анализ целей суперсистемы;
- ♦ определение необходимого (требуемого) положения дел (формирование области ситуаций, в которую следует перевести систему);
- ♦ оценка фактического положения дел (выявление существенных свойств системы, определение характеристик и их значений);
- ♦ установление несоответствия между необходимым (требуемым) и фактическим положением дел и его оценка;
- ♦ установление несоответствия между необходимым (требуемым) и фактическим положением дел и его оценка;
- ♦ установление факта существования проблемы.

Описание существа проблемы:

- ♦ выяснение истории возникновения и развития проблемы (выявление симптомов и их идентификация, анализ причин и общих тенденций развития);
- ♦ формулировка проблемы.

Анализ проблемы:

- ♦ ее структуризация (декомпозиция проблемы на под-проблемы, установление связей между ними; выявление связей проблемы с другими и построение фрагмента дерева проблем суперсистемы);
- ♦ классификация;
- ♦ оценка последствий развития проблемы и формирования выводов о степени ее актуальности, важности и сложности.

Определение путей решения проблемы (концептуальное проектирование новой системы):

- ♦ анализ путей решения проблем суперсистемы;
- ♦ анализ мирового опыта по решению подобных (похожих) проблем;
- ♦ формирование вариантов новой системы;
- ♦ оценка реализуемости каждого варианта системы, т.е. возможности создания реальной системы и обеспечения ее эффективного функционирования;
- ♦ сравнение и выбор наиболее удачных из них в соответствии с заданным (установленным, выбранным) правилом предпочтения (критерия).

Выделение этапов решения проблемы.

На выходе каждого этапа решения проблемы должны быть четко сформулированы (разработаны) и обоснованы следующие положения:

- 1-го этапа — цель исследования;
- 2-го этапа — концептуальная модель существующей системы;
- 3-го этапа — факт наличия проблемы и ее формулировка;

4-го этапа — дерево подпроблем и выводы об актуальности, важности и сложности проблемы в целом;

5-го этапа — концептуальная модель новой системы — средства решения проблемы;

6-го этапа — развернутый план (замысел) создания новой системы.

Хотя системный анализ и представляет собой методологию решения разнообразных (в первую очередь слабоструктурированных) проблем на основе системного подхода, все же данная методология опирается во многом на эвристические и другие плохо формализуемые методы. Поэтому необходимо помнить, что в настоящее время результаты применения системного анализа в значительной мере зависят от искусства исследователей и пока не могут характеризоваться высокой точностью и надежностью.

Этапы системного анализа проблем совершенствования и развития систем

«Технология» системного анализа проблем зависит от ее характера и масштаба. Нами основное внимание будет уделено проблемам систематически решаемым работниками предприятий, институтов, объединений, компаний и министерств.

Для этой категории проблем целесообразно выделить следующие основные этапы системного анализа и синтеза:

- ♦ исходная постановка (формирование) проблемы;
- ♦ формирование целей и условий решения проблемы;
- ♦ структуризация проблемы и систематизация путей достижения целей;
- ♦ выявление и выбор альтернатив решения проблемы;
- ♦ принятие решений и их реализация.

Рассмотрим кратко содержание каждого этапа.

Исходная постановка (формирование) проблемы. Исходная постановка проблемы должна служить своего рода заданием на подготовку решения или выполнения предварительного этапа проработки, результаты которого будут рассмотрены лицом принимающим решение (ЛПР), и определяют дальнейшее направление действий.

Постановка (формулирование) проблемы называется исходным или предварительным этапом потому, что в ходе анализа и синтеза и, на его основании, многие исходные положения могут быть пересмотрены.

Формирование целей и условий решения проблемы. Сформулировать цели решения проблемы важно в первую очередь для правильного выявления путей их достижения и для сравнения вариантов решения по степени достижения целей.

Использовать цели в качестве меры эффективности вариантов решения проблемы можно, лишь, если они сформулированы настолько четко и конкретно, что их можно формализовать, т.е. перейти от словесной формулировки к математической, выражающей главную цель в виде некоторой функции параметров системы. Такую зависимость принято именовать функцией цели или *целевой функцией*; она используется в качестве критерия качества решения. Таким образом, формирование целей — это этап выбора критерия качества решения (критерий оптимальности). Выбор целевой функции связан с *системой ограничений*.

Формирование целевой функции и системы ограничений взаимосвязано, а потому должно выполняться согласованно и совместно в составе единого этапа системного анализа.

Структуризация проблемы и систематизация путей достижения целей — это этап структуризации проблем, т.е. выявление «подпроблем» разных рангов, их взаимных связей в соответствии с рассмотренной выше сущностью системного подхода. Последовательную детализацию подпроблем, как общих направлений действия, продолжают до тех пор, пока

дальнейшая их конкретизация будет означать уже переход к определенному мероприятию, действию, реализующему решение соответствующих подпроблем младшего ранга. Этап заканчивается выявлением возможных вариантов решения отдельных подпроблем и их взаимных связей.

Выявление и выбор альтернатив решения проблем — этап вариантов решения, заканчивается разработкой проекта решения проблемы.

Принятие решений и их реализация включает разработку проекта реализации решения, его согласование, утверждение и анализ хода реализации решения проблемы, уточнение решения и проекта его реализации.

Взаимосвязь этапов на рис. 4.3 в виде блок-схемы [6]. В дальнейшем основное внимание будет уделено второму и третьему этапам, т.е. формализации целей, условий решения проблемы и выявлению путей достижения целей.

Этапы системного анализа инновационных проблем

Особенностью системного анализа и синтеза инновационных проблем является выработка идей. Идея — это прыжок в неизвестность и невозможно точно предсказать, когда она возникнет.

Второй особенностью системного анализа инновационных проблем является отсев применяемых идей. Существует искушение отделить «зерна от плевел» в процессе жесткого и быстрого поиска решений, но так можно отбросить тонкие идеи, имеющие смысл.

С учетом указанных особенностей определим порядок решения инновационных проблем, который включает:

- ♦ изучение проблемы;
- ♦ выработка идей;
- ♦ отсев применяемых идей;

- ♦ планирование нововведения;
- ♦ конкретизация целей и условий решения проблемы;
- ♦ выявление путей достижения целей (подпроблем), их систематизация и оценка значимости в общем решении проблемы;
- ♦ выявление вариантов решения подпроблем, их выбор, выбор проекта решения проблемы в целом;
- ♦ принятие решений, их реализация.

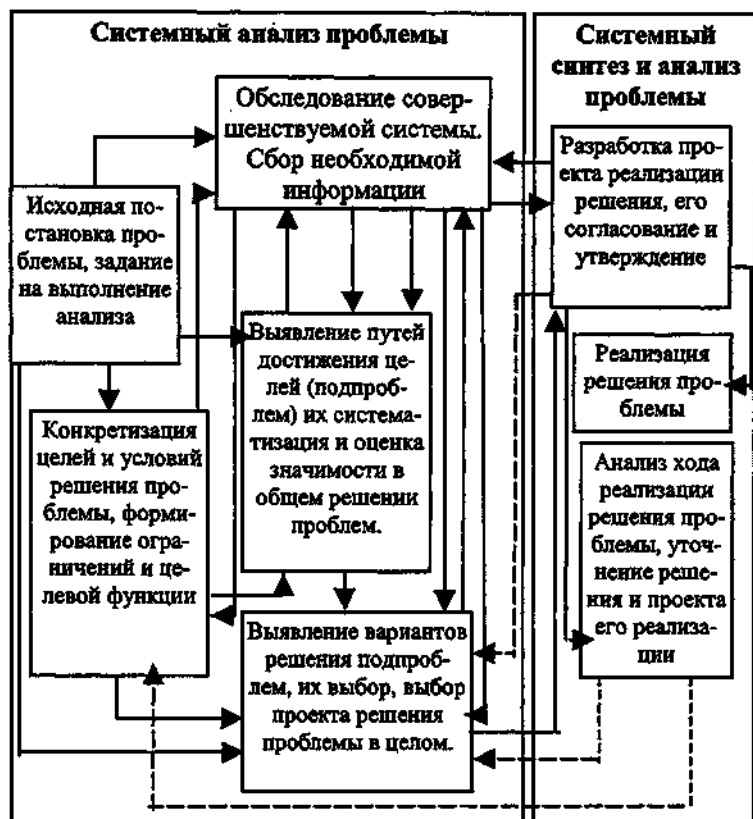


Рис. 4.3. Блок-схема взаимосвязей основных этапов системного анализа и синтеза проблемы совершенствования системы: прямые связи; обратные связи.

Изучение проблемы связано с установлением факта существования проблемы, актуальности, важности и сложности проблемы.

Установление актуальности, важности и сложности проблемы важно для любой проблемы. Но особенно они важны для инновационных проблем, так как они связаны с принятием решения о внедрении нововведения.

Выработка идей — это один из сложных этапов, так как он связан с прыжком в неизвестность. Возникает необходимость разобраться с сущностью идеи, формой ее проявления, циклами проявления системной идеи, требованиями представления идеи как системы.

Отсев применимых идей связан с критериями выбора идеи. Критерии выбора идеи должны отвечать на вопросы:

Насколько вероятна ее плодотворность?

Сможете ли вы заставить ее работать?

Является ли она лучшей среди других возможностей?

Остальные этапы по содержанию аналогичны рассмотренным ранее.

4.2. ИСХОДНАЯ ПОСТАНОВКА (ФОРМИРОВАНИЕ) ПРОБЛЕМЫ

Цель формулирования проблемы состоит в том, чтобы установить сущность проблемы в известных терминах.

Успешное формулирование проблемы может быть равносильно «половине» решения проблемы. Однако, «наполовину решенная» в результате формулирования проблема, не есть действительно решенная проблема, но ее формулирование означает, что основные элементы проблемы надлежащим образом определены и связаны.

При формулировании (постановке) проблемы должны быть выполнены следующие работы [13]:

- ♦ во-первых, необходимо описать, каким образом проблема была обнаружена;
- ♦ во-вторых, установить, почему она рассматривается как проблема;
- ♦ в-третьих, отличить ее от «симптома» некоторых смежных проблем;
- ♦ в-четвертых, дать операционные определения нежелательных последствий проблемы.

Исследование исторических аспектов проблемы имеет существенные основания. Изучение предыстории возникновения проблемы позволяет определить обстановку, которая породила проблему, условия, этапы и средства решения проблемы. Историческая формулировка проблемы подразумевает знание проблемы и только история может быть приемлемым общим знаменателем и может помочь при определении оснований для постановки проблемы.

Известно, что одни и те же явления могут интерпретироваться как проблемы не всеми лицами. Установить наличие проблемы — это значит найти то разумное, что определяет содержание явления как проблемы. Полностью уяснить проблему обычно трудно, так как она является подпроблемой более сложной или смежной проблемы.

Возникает задача выделения проблемы по свойственным только ей «симптомам». Диагноз проблемы является многошаговой процедурой с принятием промежуточных решений. Последовательность этапов диагноза показана на рис. 4.4.

Обратная последовательность этапов информационной работы

Прямая последовательность этапов информационной работы

Основные этапы

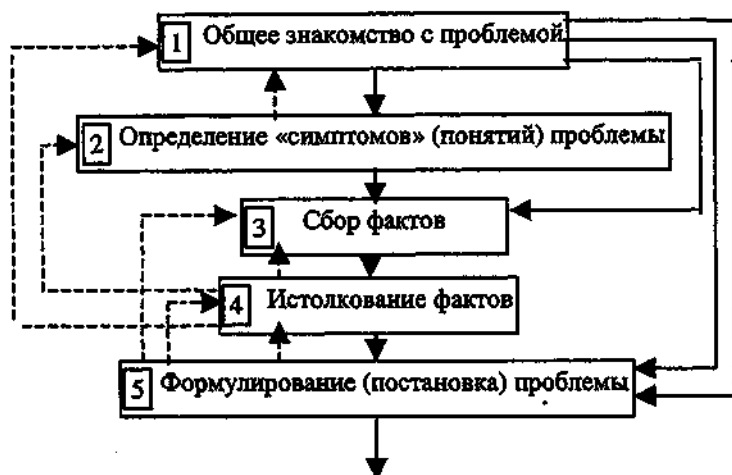


Рис. 4.4. Последовательность этапов диагноза проблемы.

Первый этап диагноза включает общее знакомство с проблемой. Ознакомление с проблемой в целом, а также со смежными вопросами, изучение которых может оказаться полезным; составление общего плана работы с указанием срока вы-

полнения, исполнителей и основных источников, которые предположительно могут быть использованы.

Второй этап диагноза — установление симптомов проблемы. Понятие «симптом» применяется здесь почти в медицинском смысле и означает некоторый косвенный признак или характеристику, указывающую на наличие проблемы.

Третий этап диагноза — сбор факторов, подтверждающих «симптомы», т.е. выявление причин возникновения проблемы.

Четвертый этап диагноза — истолкование факторов, т.е. анализ всей необходимой внутренней и внешней информации, относящейся к «симптомам». Увеличение количества информации не обязательно повышает качество формулирования проблемы. Многие руководители (ЛПР) страдают от избытка не относящейся к делу информации. Поэтому, в процессе сбора фактов, важно видеть различия между релевантной (полезной) информацией и информацией неуместной, а также уметь отделять одну от другой. Релевантная информация (relevant — относящийся к делу) — это информация, имеющая отношение только к данной конкретной проблеме. Она является основой для формулирования проблемы. Поэтому естественно добиваться ее максимальной достоверности и соответствия рассматриваемой проблеме.

На схеме (рис. 4.4) последовательности этапов диагноза проблемы и ее формулирования показана прямая и обратная последовательность этапов информационной работы.

Процесс формулирования проблемы проходит путем последовательного перехода от этапа 1 к этапу 2, затем к этапу 3 и т.д.

Вместе с тем в процессе формирования проблемы иногда перескакивают через некоторые этапы, как это показано на

схеме. Например, на этапе общего знакомства с проблемой к этапу формулирования проблемы.

Наличие обратных последовательных этапов информационной работы позволяет направить процесс формулирования проблемы по правильному руслу и постоянно его улучшать по мере выявления и накопления факторов.

При вскрытии существа проблемы большую помощь может оказать работа в следующих направлениях [14].

Собрать и проанализировать часть данных проблемы, которые представляют недостатки системы.

Описать и проанализировать подсистему, которая прямо порождает данные проблемы, в частности, оценить вход на полноту, частоту, согласованность, надежность и точность.

Найти обратную связь, которая дает возможность судить об отклонении, величине ошибки или недостатке системы.

Постараться связать объекты и свойства подсистемы в соответствии с их очевидной, логической или причинной связью.

Постараться представить полную систему, в которой данная проблема является только частью.

Постараться связать между собой полную систему, относящиеся к делу подсистемы и проблему, как она определена.

Выполнение этих шагов создает возможность для формулирования проблемы. Формулирование проблемы включает:

- ♦ составление исходной формулировки проблемы;
- ♦ осмысление этой формулировки по отношению к различным частям проблемы;
- ♦ осмысление факторов, которые касаются проблемы;
- ♦ общее уточнение исходной формулировки проблемы.

Постановка (формулирование) проблемы называется исходной или предварительной потому, что в ходе анализа и на

его основании многие исходные положения могут быть пересмотрены или уточнены.

Исходная постановка служит заданием на подготовку решения или выполнения предварительного этапа проработки, результаты которого будут рассмотрены лицом, принимающим решения которые определят дальнейшее направление действий.

4.3. ФОРМИРОВАНИЕ ЦЕЛЕЙ И УСЛОВИЙ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЦЕЛЕЙ

При формировании целей системы необходимо выполнять следующие условия [6]:

- ♦ совокупность всех частных целей системы (ее подцелей) должна быть выражена единой главной целью и формализована в виде целевой функции, чтобы служить критерием для сравнения вариантов решения проблемы;
- ♦ главная цель системы состоит в обеспечении наиболее эффективного ее функционирования. Под этим понимается наилучший компромисс между степенями достижения разных подцелей, определяемый на основании взаимного соизмерения полезности конечных результатов и их сопоставления с затратами ресурсов всех видов на получение всех результатов;
- ♦ цель решения отдельной проблемы является частным выражением цели системы, учитывающим лишь те подцели, на степень достижения которых может повлиять решение данной проблемы;
- ♦ цель решения проблемы формулируется с учетом конкретных условий, в которых выбирается и реализуется решение. Эти условия задаются системой ограничений.

Цель и условия решения проблемы должны быть определены и формализованы уже на первом этапе ее проработки. Этот этап предусматривает следующие основные процедуры:

- ◆ выявление и систематизация подцелей системы, выбор показателей (аргументов целевой функции), количественно характеризующих достижение подцелей;
- ◆ уточнение условий решения проблемы и формирование ограничений, уточнение состава варьируемых аргументов целевой функции с учетом принятых ограничений;
- ◆ формирование целевой функции, т.е. конкретизация ее зависимости от аргументов на основе соизмерения подцелей.

ВЫЯВЛЕНИЕ И СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ПОДЦЕЛЕЙ

Для многоцелевого функционирования системы характерно не только то, что система имеет несколько подцелей, но и то, что эти подцели взаимосвязаны и образуют единую систему целей. Нетрудно убедиться, что система целей имеет иерархическую структуру. Последовательное разбиение подцелей, переход от более укрупненного их представления к более дифференцированному, называют декомпозицией. В результате декомпозиции получается «древовидная» иерархическая структура целей, которую именуют часто «деревом целей». В отличие от привычного представления эта структура напоминает дерево, перевернутое кроной вниз, а корнем (которым служит главная цель) обращенное вверх. Исходя из этой же аналогии, метод формирования структуры последовательной декомпозицией называют методом ветвления.

Построение «дерева целей»

При построении «дерева целей» целесообразно обсудить три методических вопроса выявления и систематизации целей [6].

Следует ли ограничить состав подцелей, входящих в «дерево», только собственно целями (подцелями) системы или целесообразно строить комбинированную структуру «дерева», содержащую пути достижения целей («цели — средства»)?

В чем состоит сущность принципа последовательной декомпозиции целей? Правомерно ли включать в состав подцелей достижение сложных показателей?

Какие меры следует принять и какие методические приемы могут быть использованы для обеспечения полноты выявления подцелей и соответствия их рангов?

Совокупность решения этих трех вопросов можно рассматривать как основу методики выявления и систематизации подцелей с помощью построения дерева целей.

Состав подцелей

Разбору подлежат две основные ситуации.

Первая из них возникает, когда анализируется крупная проблема, в разработке реализации которой участвует несколько ведомств или несколько организаций. В этой ситуации каждая организация прорабатывает свою группу подпроблем. Возникает необходимость начинать анализ с выделения основных подпроблем, при этом остальные будут уже средствами реализации этих основных подпроблем. Именно в такой ситуации конкретизация целей понимается как построение иерархии «целей-средств», а сам этап не подчинен вопросам уточнения целевой функции.

Другая ситуация возникает, когда масштабы проблемы меньше, а ее системный анализ ведет, как правило, одна организация, одна группа специалистов.

В этих условиях не только оправдано, но и целесообразно строить самостоятельные «деревья» собственно целей (подцелей) и пути достижения целей; в пользу этого можно указать по крайней мере два соображения.

Во-первых, в состав целевой функции должны войти лишь собственно цели (подцели), непосредственно определяющие эффективность функционирования системы, участвующие в количественной оценке этой эффективности. Исходя из этого, собственно цели должны быть выявлены и выделены самостоятельно.

Во-вторых, систематизировать собственно цели и пути их достижения методически удобные на отдельных графиках. В самом деле, большинство подпроблем направлено на достижение нескольких подцелей.

На основании изложенных соображений сделаем вывод.

Если системный анализ проблемы осуществляется одним коллективом, в состав дерева целей системы следует включать лишь собственно цели, непосредственно определяющие показатели эффективности ее функционирования, и не включать пути (средства) достижения этих целей, выявление и систематизация которых должны рассматриваться как информационно связанная, но самостоятельная процедура.

Построение дерева собственно целей (подцелей) выполняется главным образом для того, чтобы полнее выявить и систематизировать все те факторы, которые должны быть учтены при построении целевой функции и ограничений.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНАЯ ДЕКОМПОЗИЦИЯ ЦЕЛЕЙ

В процессе дифференциации целей при выявлении элементарных факторов, определяющих эффективность функционирования системы, сложных показателей следует избегать.

Так, например, вместо подцели «увеличение производительности труда» следует самостоятельно включить в состав «дерева» определяющие ее показатели: «увеличение выпуска продукции» и «экономии затрат живого труда». Вместо «снижения материалоемкости продукции» достаточно предусмотреть «экономии материальных ресурсов», если подцель «увеличение выпуска продукции» уже включена в состав дерева целей.

Строгое соблюдение последовательной декомпозиции целей методом ветвления позволяет избежать появления сложных показателей в составе дерева. При этом важно подчеркнуть, что под термином «сложные» понимаются показатели, функционально зависящие от нескольких простых, но, отнюдь, не агрегированные показатели, представляющие лишь совокупность более детализированных. Всякая подцель старшего ранга (например, затраты ресурсов) представляет собой агрегированную совокупность ее подцелей младшего ранга.

Полнота «дерева целей» и соответствие рангов подцелей

Полнота «дерева целей» обеспечивается путем:

- ♦ разбиение исходной цели или очередной промежуточной подцели n -го ранга на наиболее укрупненные, однородные составляющие подцели $(n + 1)$ -го

ранга. Обычно удается выделить от 2 до 5 таких подцелей;

- ♦ если нет уверенности, что они полностью исчерпывают разделяемую (декомпозируемую) подцель старшего n -го ранга, то кроме выделенных, следует ввести еще одну (резервную) подцель $(n + 1)$ -го ранга, содержащую «прочие», т.е. неучтенные подцели. В ходе дальнейшей проработки проблемы такие прочие составляющие будут либо конкретизированы, либо исключено из состава дерева целей.

Под нарушением рангов подразумеваются такие ошибки, при совершении которых в одном ряду (под одним рангом) оказываются фактически неравноценные подцели, т.е. несоответствующие одна другой по степени агрегирования элементарных подцелей, по масштабу значимости в общей системе целей [6].

Проверка соответствия рангов подцелей состоит в следующем: из выделенных подцелей $(n + 1)$ -го ранга надо попытаться найти две или несколько таких, которые можно объединить по некоторому общему принципу, но в то же время к этому объединению нельзя отнести остальные подцели. Если такая попытка увенчается успехом, это будет означать, что однородность подцелей будет нарушена и требуется корректировка рангов подцелей [6].

Хороших результатов по полноте выявления подцелей и соответствию их рангов удастся достигнуть, привлекая к составлению дерева целей нескольких специалистов (экспертов), каждый из которых строит дерево самостоятельно, а затем участвует в совместном обобщении и уточнении результатов.

Обобщая процесс формирования целей можно сделать следующие выводы:

- ♦ совокупность целей проблемы имеет иерархическую структуру, построение и анализ которой следует

осуществлять методом последовательного разделения (декомпозиции) более общих целей на их составляющие, обеспечивая полноту выявления подцелей и их взаимное соответствие по уровню в иерархии (по рангам);

- ◆ результаты декомпозиции удобно фиксировать в виде так называемого «дерева целей», которое оформляется либо в виде графа иерархической структуры, либо в виде таблицы, обозначение строки которой определяет место подцели в иерархии;
- ◆ для проблем, проработка которых осуществляется силами одной организации, декомпозиция целей выполняется главным образом, чтобы обеспечить полное выявление аргументов целевой функции. В таких случаях в состав «дерева целей» следует включать только собственно цели. Выявление и систематизацию путей достижения целей (подпроблем) целесообразно выделить в качестве самостоятельной процедуры, выполняемой после построения «дерева целей» и при условии его использования;
- ◆ в составе «дерева целей» следует избегать сложных показателей, представляющих собой отношение или другую функцию более простых показателей.

«Дерево целей» промышленного предприятия [6]

Системный анализ всегда конкретен. Потому единого типового «дерева целей» не может быть ни для промышленного предприятия, ни для иного объекта. На построение «дерева целей» влияют в основном два фактора: специфика объекта и особенности той проблемы, для решения которой проводится анализ целей.

Поэтому даже для одного предприятия может быть построено несколько вариантов «дерева». Используя ранее изложенную методологию, построим «дерево целей» для химического предприятия с широким ассортиментом продукции (рис. 4.5).



Рис. 4.5. Дерево целей промышленного предприятия

Зададимся целью: «Максимальное повышение эффективности деятельности предприятия».

Целевую функцию «Максимального повышения эффективности деятельности предприятия» можно представить в виде двух основных групп подцелей:

Подцель 1. Достижение конечных результатов (y_j).

Подцель 2. Экономия ресурсов всех видов (x_i).

Очевидно, каждую из этих групп можно рассматривать, как одну из двух основных подцелей (т.е. подцелей 1-го ранга).

В свою очередь, среди конечных результатов мы выделяем результаты основной деятельности системы (по производству продукции, услуг, информации) и результаты решения социальных задач. Каждую из этих групп подцелей можно рассматривать как подцель 2-го ранга:

Подцель 1.1. Удовлетворение потребности в продукции и услугах.

Подцель 1.2. Достижение социальных целей.

Со своей стороны другая подцель 1-го ранга (экономия ресурсов всех видов) может быть также разбита на две или несколько подцелей 2-го ранга. Например, на экономию текущих (регулярных) затрат, измеряемых, как правило, в руб./год и экономию единовременных затрат, измеряемых в рублях, т.е.

Подцель 2.1. Экономия текущих затрат, снижение потерь.

Подцель 2.2. Экономия единовременных затрат.

Развивать «дерево целей» предприятия будем, последовательно расчлняя четыре подцели 2-го ранга, представленные на рис. 4.5.

Подцель 1.1. Удовлетворение потребности в продукции и услугах предприятия может быть дезагрегирована на три основных подцели: удовлетворения потребности в количестве продукции, в ее качестве и развитии ассортимента и в

улучшении временных (динамических) характеристик производства.

Подцель 1.1.1. Удовлетворение потребности в количестве продукции следует дифференцировать далее, выделяя отдельные группы и марки продукции.

Подцель 1.1.2. Удовлетворение потребности в качестве продукции целесообразно сразу же разделить на две подцели: обеспечение качества в пределах, установленных нормативно-техническими документами и повышение качества в соответствии с экономически обоснованной потребностью.

Цели повышения качества продукции следует дифференцировать далее с учетом возможностей и потребностей, выделив, в частности, продукцию с широким диапазоном требований к качеству (в этом случае желательно расширить сортовые различия), продукцию, которую в результате повышения качества можно аттестовать по высшей категории и т.д.

Подцель 1.1.3. Улучшение временных (динамических) характеристик производства представляет собой подцель, выражающую характерный для системного анализа принцип, в соответствии с которым функционирование систем рассматривается не только в статике, но и в динамике, т.е. с учетом фактора времени. В свою очередь, эту подцель можно дифференцировать на две подцели младшего ранга: *Подцель 1.1.3.1.* Обеспечение ритмичности поставок продукции.

Подцель 1.1.3.2. Ускорение реакции производства на изменение спроса.

Дальнейшее дезагрегирование указанных подцелей зависит от постановки анализируемой проблемы и конкретных условий ее решения.

Подцель 1.2. Достижение социальных целей. Здесь правомерно сразу же выделить две крупных группы целей: эко-

логические и локальные, относящиеся к социальному развитию коллектива данного предприятия.

Подцель 1.2.1. Экологические цели, достижение которых связано с природоохранными мероприятиями, а следовательно, имеют региональное значение. Эта группа целей особенно актуальна для химических предприятий. Ее дальнейшая декомпозиция связана с особенностями технологии, и на в первом приближении может дать две группы подцелей, направленных соответственно на охрану воздушного и водного бассейнов.

Подцель 1.2.2. Социальное развитие коллектива. Эту подцель необходимо рассматривать, как реализацию мер, направленных на достижение социальных благ коллектива работников предприятия и членов их семей. Построение ветви 2 «Экономия всех видов ресурсов» производится аналогично ветви 1, а детализация подцелей зависит от постановки анализируемой проблемы и конкретных ограничений ее решения.

УСТАНОВЛЕНИЕ УСЛОВИЙ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ

Когда руководитель (ЛПР) формулирует проблему, он должен отдавать себе отчет в том, как именно можно эту проблему решить. ЛПР должен представлять конкретные условия, в которых будет решаться проблема.

Конкретные условия ограничивающие цели, образуют ограничения, при которых начинается изучение проблемы. Ограничение есть сумма правил, требований, установлений и выдвинутых лично или извне руководящих принципов, определяющих границу проблемы. Каждая проблема должна иметь определимые ограничения. Ограничения в проблеме играют роль принуждающих связей.

Принуждающие связи есть условия, которые ограничивают и описывают, как цель должна быть достигнута. Принуждающие связи ограничивают проблему или вводят проблему в границы.

В качестве требований, которые влияют на формирование проблемы, должны быть учтены действующие нормы и нормативы, во всяком случае те, выполнение которых является обязательным, в том числе по охране труда и окружающей среды, требований вытекающих из директивных документов вышестоящих организаций и т.д.

Ограничения возможностей определяются в первую очередь ресурсами различного вида, выделенными в определенных установленных пределах.

Когда устанавливаются условия проблемы, то ставятся пределы исследования проблемы, и, следовательно, *границы ограничения*. В математическом смысле условия могут быть определены как достаточные, избыточные или противоречивые; других форм они принимать не могут [13].

Условие является *избыточным*, если оно содержит ненужные элементы. Ненужными элементами могут быть те, которые имеют тенденцию вызывать потери или перерасходы.

Условие может также содержать противоречие.

Противоречивый элемент — это такой, который тесно связан с другими, причем, если один истинный, другой должен быть ложным.

Достаточное условие выполняется, если принуждающие связи совместимы с предлагаемой целью, причем цель определена адекватно требованиям к системе. Достаточность предполагает точность и имеет все необходимое, чтобы выполнить требование без каких-либо нехваток или каких-либо чрезмерностей.

4.4. СТРУКТУРИЗАЦИЯ ПРОБЛЕМЫ И СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ПУТЕЙ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ЭТАПЫ СТРУКТУРИЗАЦИИ ПРОБЛЕМ

Основные понятия структуризации проблемы

К основным понятиям структуризации проблемы относятся [13]: пути достижения цели; варианты решения, и структуризация проблемы.

Пути достижения цели рассматривают как синоним понятия «подпроблема». По существу выявление подпроблем сводится к выявлению путей достижения целей системы, как путей преодоления тех трудностей и недостатков, которые препятствуют достижению этих целей.

На основе системного подхода любая сложная система рассматривается как иерархическая структура, а следовательно, может быть подразделена на несколько крупных подпроблем (1-го ранга), каждая из которых, в свою очередь, подлежит декомпозиции на подпроблемы 2-го ранга и т.д.

Декомпозиция проблемы продолжается до тех пор, пока подпроблемы формируют некоторое направление действий, задачу, но еще не конкретизированы до уровня организационных мероприятий, вариантов решения поставленной задачи.

Выявление вариантов решения подпроблем — это этап от выявления путей достижения целей (подпроблем) до выбора вариантов решений (подпроблем и проблемы в целом). Вари-

анты решения следует искать для подпроблем самого младшего ранга, т.е. тех, которые определяют направление действий настолько локализовано и детально, что дальнейшее их уточнение неизбежно ведет уже к выявлению конкретных мер.

Структуризация проблемы включает декомпозицию проблемы на подпроблемы разных рангов, выявление связей между ними, определение границы и внешних связей проблемы в целом. Под структурой проблемы будем понимать состав ее подпроблем и совокупность взаимосвязей между ними. На этом основании под *структуризацией проблемы* будем понимать выявление путей достижения целей в ходе ее решения (т.е. подпроблем) и изучение их взаимного влияния [6]. В других источниках под структуризацией проблемы понимается не только уточнение связей подпроблем, но и полная формализация всех зависимостей, необходимых для решения проблемы. В соответствии с такой трактовкой, исходя их перспектив использования математических методов, различают структурированные, слабо структурированные и неструктурированные проблемы [13].

Этапы структуризации проблемы

Структуризация проблемы является наиболее ответственной в системном анализе проблем. Этап структуризации проблемы ставит своей задачей представить проблему как совокупность подпроблем разных рангов, уточнение связей между ними, внешних связей проблемы, ее границ. Выполнение этапа структуризации проблемы практически неформализована и слабо поддается типизации, но может быть рационализировано за счет использования методологии системного анализа. Изоморфизм принципов системного подхода позволяет (в разумных пределах) пользоваться методом аналогий. На этом основании правомерна и некоторая аналогия в выявлении путей достижения целей (подпроблем) технических, биологических и социально-экономических систем.

Вместе с тем анализ социально-экономических систем имеет свою специфику, связанную с учетом социальных и психологических факторов.

В ходе выявления путей достижения целей социально-экономической системы *первой процедурой (подэтапом)* должно быть уточнение структуры системы, как объекта анализа, в том числе состава подсистем, «технологии» процессов их функционирования, связей между подсистемами. Эта же процедура предусматривает также уточнение границ системы, подлежащей анализу, и ее внешних связей. Решение этих вопросов неразрывно связано с уточнением границ рассматриваемой проблемы.

Вторая процедура состоит в критическом анализе функционирования системы. Главной задачей этого подэтапа является выявление причин, нарушающих эффективное функционирование системы или препятствующих повышению эффективности ее функционирования. При анализе причин нельзя ограничиваться лишь теми внешними причинами, которые «лежат на поверхности». Необходимо исследовать их причинно-следственные связи и внутренние противоречия системы, выбирать пути решения подпроблем, направление на преодоление выявленных противоречий.

Третья процедура заключается в дифференциации и систематизации путей достижения целей. Здесь используется тот же подход последовательной декомпозиции, который был принят при систематизации подцелей, что позволит построить «дерево путей достижения целей». На этом подэтапе оценивают значимость выявленных подпроблем и их вклад в достижение главной цели. В состав этой процедуры входит анализ взаимосвязей выделенных подпроблем, их взаимообусловленности и вытекающей из этого очередности их решения.

Итак, этап структуризации проблемы можно представить в виде трех основных процедур [6]:

- ♦ уточнение структуры системы;

- ◆ критический анализ функционирования системы (выявление основных недостатков и трудностей, препятствующих достижению поставленных целей, исследование их причинно-следственных связей);
- ◆ дифференциация и систематизация путей достижения целей (подпроблем), оценка их значимости для решения проблемы в целом, выявление связей между ними и уточнение внешних связей проблемы в целом.

Перечисленные выше основные процедуры этапа рекомендуется выполнять параллельно-последовательно.

В самом деле, в ходе анализа объекта неизбежно будет выявлено ряд недостатков системы, некоторые дефекты ее структуры, т.е. начнет накапливаться материал, который непосредственно относится уже ко второй процедуре получивший выше наименованного критического анализа функционирования объекта.

Наконец, для подпроблем, выявленных в ходе критического анализа, удобно сразу же найти соответствующее их рангу место в «дереве путей достижения целей», во всяком случае, в его первой эскизной схеме.

УТОЧНЕНИЕ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ

Для реализации системного подхода к решению проблем, направленных на совершенствование системы, необходимо уточнить структуру как объект управления, так и систему управления этим объектом.

Уточнение структуры объекта управления

Приступая к процедуре уточнения структуры той системы, на улучшение функционирования которой направлена решаемая

мая проблема, важно помнить, что почти для каждой сложной системы понятие структуры является в значительной мере условным, причем условным оказывается и состав подсистем.

Условность понятия «структура» относится не только к искусственным, но и к естественным системам.

Сгруппировать элементы, которые связаны многочисленными и многообразными связями, в отдельные, относительно автономные комплексы (подсистемы разных рангов) очень трудно, потому, что одни виды связей слабее между одними группами элементов, в то время как другие остаются достаточно тесными и нарушают сравнительную автономность выделенных групп.

Избежать указанные трудности можно следуя следующим правилам[6]:

- ♦ построенная в ходе исследования структура системы, как правило, должна отражать совокупность подсистем и связи элементов, которые существенны для решения данной конкретной проблемы;
- ♦ на этом основании построение структуры системы должно быть подчинено решению конкретной проблемы и определяется важнейшими для этой проблемы связями, которые называют системообразующими.

Для построения структуры следует:

- ♦ выделить элементы системы;
- ♦ уточнить аспект анализа, важный для решения поставленной проблемы;
- ♦ установить важнейшие для этого аспекта системообразующие связи между элементами;
- ♦ сгруппировать элементы в подсистемы нескольких рангов, исходя их условий относительной автономности этих подсистем, с учетом выделенных системообразующих связей.

Уточнение функционально-информационной структуры системы управления

Фактическое распределение отдельных функций между службами, функциональными подразделениями и информационные связи между ними составляют функционально-информационную структуру системы управления.

Соответственно этому система управления не только перерабатывает информацию, но и осуществляет ее сбор, передачу и хранение, помимо этого, она реализует принятие решения и контролирует их выполнение.

Основой функционально-информационной структуры являются достаточно детализированные функции управления. Учитывая иерархическую структуру системы, выделяют функции (подфункции) разных рангов с тем, чтобы установить их взаимосвязи и подчиненность.

При уточнении функционально-информационных структур играют роль две группы информационных документов, составляющих организационное и методическое обеспечение системы управления.

Организационное обеспечение — это совокупность организационно-распорядительной документации, регламентирующей порядок выполнения функций управления, уточняющей *кто, что и когда* должен выполнить. Сюда относятся организационные стандарты, положения о подразделениях, должностные инструкции, некоторые приказы, распоряжения и указания.

Методическое обеспечение — это совокупность методик и методических указаний, регламентирующих, как должны выполняться те или иные функции.

Таким образом, уточнение функционально-информационной структуры охватывает состав функций, их распределение и информационные связи,

реализуемые на документах или по каналам связи, в условиях использования АСУ.

Состав функций управления и задач (работ) по их реализации — это лишь часть исходных данных для построения структуры. Важно уточнить и конкретизировать распределение этих работ по подразделениям и исполнителям (организационным звеньям системы), детализировать по содержанию и во времени информационные связи между ними. Такая конкретизация неизбежно отразит специфику системы управления на данном объекте, а потому задача уточнения функционально-информационной структуры в той или иной мере стоит перед каждой системой.

Формирование функционально-информационной структуры включает [6, 7]:

- ♦ выявление и систематизация основных функций и подфункций разного ранга методом ветвления (последовательной декомпозиции);
- ♦ распределение функций разных рангов по конкретным службам, подразделениям и исполнителям с четким определением их прав и обязанностей по выполнению этих функций и контролю их выполнения;
- ♦ конкретизация информационных связей между службами, подразделениями и исполнителями и выполняемыми ими функциями.

Рассмотрим каждый из названных подэтапов более подробно.

Выявление и систематизацию функций управления можно осуществлять тем же методом последовательной декомпозиции, который был использован ранее при построении «дерева целей».

Приступая к систематизации функций, нам предстоит разделить всю совокупность функций управления на несколько первичных основных комплексов. Известно, что процесс управления включает: принятие решений; планирование; ор-

ганизацию деятельности; мотивацию; контроль и обеспечение информацией на каждом этапе деятельности организации.

Пример построения «дерева основных функций управления» (общие функции старших рангов) показан на рис. 4.6.

Дальнейшая дифференциация и систематизация функций управления зависит не только от дальнейшей конкретизации объекта управления, но и от уточнения той проблемы, применительно к решению которой проводится анализ системы.

Распределение функций по конкретным службам, подразделениям и исполнителям, принятое на предприятии или в аппарате управления, может быть установлено на основе рассмотрения организационно-методических документов, в том числе положений, должностных инструкций и организационно-методических стандартов.

Как правило, положения и должностные инструкции содержат состав функций, права и обязанности соответственно для подразделений и специалистов.

Организационно-методические стандарты должны регламентировать взаимосвязи и взаимодействия подразделений и специалистов в ходе реализации определенной функции или групп функций.

Однако, как показывает опыт, фактический состав функций управления зачастую оказывается шире или уже, чем тот, который зафиксирован в организационно-методической документации. Поэтому при выявлении и уточнении функционально-информационной структуры системы управления рекомендуется не ограничиваться рассмотрением действующих положений, должностных инструкций и организационных стандартов, а осуществлять более детальное обследование каждого подразделения, анализировать состав его входящей и исходящей информации, определять сущность операций по переработке информации, проводимых в подразделении, состав подготавливаемых и реализуемых управленческих решений.

Конкретизация информационных связей. При формировании функционально-информационной структуры системы управления необходимо не только выявить состав функций, их размещение по службам, подразделениям и исполнителям, но и конкретизировать информационные связи как между отдельными звеньями, так и между разными функциями, которые оказываются информационно взаимосвязанными. Результаты такой конкретизации удобно фиксировать в виде технологической схемы сбора, передачи, хранения, переработки и использования информации.

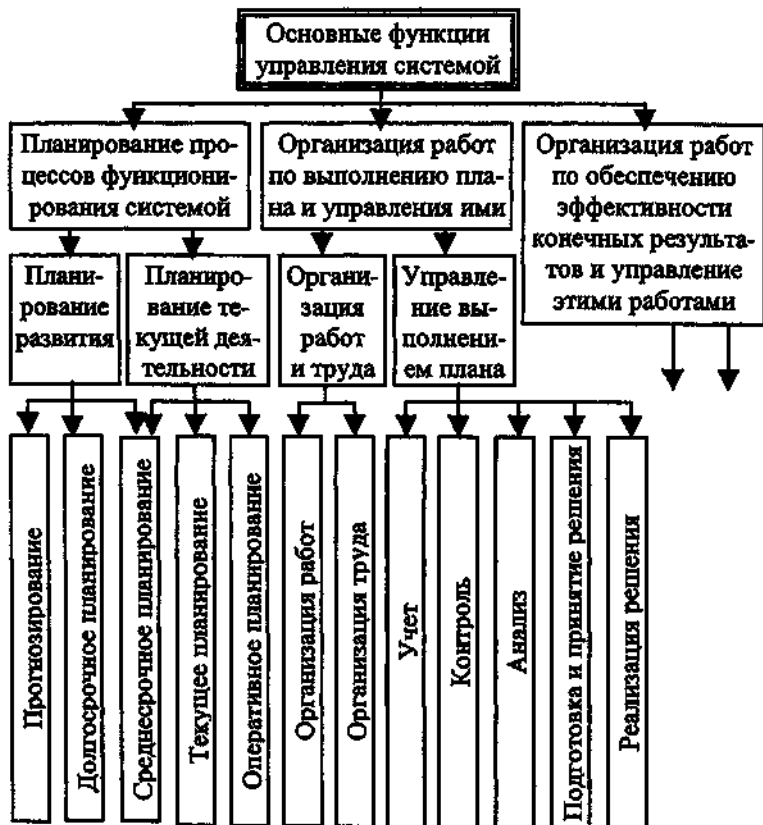


Рис. 4.6. Дерево основных функций управления.

КРИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Цели анализа функционирования системы

Чтобы расчленить проблему на ее составные части (подпроблемы), необходимо подвергнуть объект и систему управления критическому анализу, в результате которого следует:

- ♦ выявить основные трудности и недостатки в функционировании системы, ограничивающие достижение целей;
- ♦ установить причинно-следственные связи выявленных непосредственных трудностей и недостатков;
- ♦ определить пути устранения (ослабления) найденных причин и предотвращения их возникновения.

Анализ функционирования системы

Приступая к рассмотрению методологии выявления путей достижения цели, мы отмечали, что в ее основе лежит анализ недостатков функционирования каждой из подсистем, определение причин этих недостатков, поиск путей устранения этих причин или существенного ослабления их влияния.

Рассмотрим некоторые приемы, позволяющие систематизировать, упорядочить критический анализ функционирования системы.

Рассмотрим рекомендации известного специалиста в области организации управления профессора Терещенко, который рекомендует при анализе системы управления рассматривать и систему в целом, и каждое ее звено под углом зрения пяти вопросов, которые он считает классическими для каждо-

го работника сферы управления, в особенности для руководителя организации.

Рассмотрим эти пять вопросов.

1. Почему делается то, что делается? Иными словами, чем обосновано направление и содержание действий рассматриваемого подразделения или специалиста, соответствуют ли они целям системы и выявленным путям их достижения? Необходимы ли эти действия?

2. Почему делается там, где делается? Правильно ли распределены функции управления по подразделениям, оправдана ли принятая структура системы управления?

3. Почему делается тем, кем делается? Это продолжение тех же распределений функций управления и конкретных работ, но уже не между подразделениями, а между отдельными работниками.

Здесь должны быть рассмотрены вопросы передачи полномочий и разгрузки квалифицированных специалистов от таких работ, которые может выполнить менее квалифицированный работник.

4. Почему делается тогда, когда делается? Правильно ли приняты сроки выполнения работ, обоснованы ли они? Обеспечат ли они своевременность решений, взаимную увязку по срокам отдельных мероприятий? Известно, что в управлении, меры, принятые слишком поздно, могут принести значительных ущерб. Вместе с тем необоснованное сокращение сроков по некоторым работам не только не дает эффект, но нередко приводит к менее полной проработке вопроса, а следовательно, к снижению качества решения.

5. Почему делается так, как делается? Здесь речь идет об анализе методологического обеспечения работ, с техническим оснащением управленческого труда.

Пять вопросов профессора Терещенко отражают суть функционального анализа систем управления.

Выбор приемов дальнейшего анализа определяется сущностью системного подхода. В данном случае это означает, что реализация любой функции должна рассматриваться, как процесс функционирования некоторой информационной подсистемы, которая, в свою очередь, представляет собой совокупность взаимодействующих более простых звеньев по переработке информации, т.е. должен быть осуществлен информационный анализ и синтез.

Исходными данными для информационного анализа служат:

- ♦ функционально-информационная схема;
- ♦ организационно-методическая документация, регламентирующая действия отдельных звеньев схемы («стадий») и их взаимодействие.

Информационному анализу должно быть подвергнуто каждое звено функционально-информационной структуры, а в ходе анализа необходимо учесть взаимодействие звеньев. При рассмотрении каждого звена важно достаточно полно выявить все его информационные входы и выходы, проверить полноту, четкость и эффективность организационного и методического обеспечения процессов работы с информацией.

Организационное обеспечение (в том числе организационные стандарты, положение, инструкции) должно конкретизировать как работу звена, так и его внешние связи, т.е. четко определять ответы на следующие вопросы:

Кто, что, на основании чего, как и когда должен выполнять?

Кто, что, для чего, кому, когда и каким образом должен передавать (сообщать)?

Из перечисленных чаще всего упускают вопросы: «на основании чего?» и «для чего?» Оба эти вопроса направлены в первую очередь на проверку входных и выходных потоков информации.

Вопрос: «на основании чего выполняется данным звеном работа?» — помогает проверить достаточность входной ин-

формации для качественного, эффективного выполнения соответствующей функции.

Наряду с анализом достаточности информации следует убедиться и в ее необходимости. Зачастую поиск ответа на вопросы: «кем, как и для чего используется поступающая информация?» — позволяет выявить ту ее часть, которая является избыточной, неоправданно загружающей работников сферы управления ее подготовкой, передачей и хранением.

Важным элементом информационного анализа является учет фактора времени. Учет фактора времени позволяет рассмотреть соответствующий фрагмент системы управления в аспекте таких указанных выше вопросов, как успевает ли соответствующее звено? почему работа в нем выполняется именно тогда?

Учет временного фактора, а также ответы на поставленные вопросы позволяет выявить несоответствие принятой «технологии» сбора и переработки информации по срокам выполнения работ, а следовательно, помогает перераспределить между звеньями ресурсы и функции с учетом трудоемкости работ и заданных ограничений по времени их выполнения.

Рассматривая методологические приемы анализа действующих организационно-методических документов, необходимо особо выделить аспект этого анализа, связанный с проверкой действенности контроля за соблюдением требований регламентированных самой документацией. Методически наиболее правильно не отрывать анализ действенности контроля от общего анализа содержания и конкретности требований, регламентированных документами. Это означает, что две группы вопросов, приведенных ранее, должны охватить всю совокупность регулярных управленческих работ, включая и контроль их выполнения. Отвечая на вопросы: «кто, что, на основании чего, как, когда должен выполнить?» — следует сразу же искать ответы и на вопросы: «кто, на основании чего, как и когда сможет установить, что работа, подлежащая выполнению, фактически была

выполнена недостаточно качественно, не в установленный срок или осталась невыполненной?»

Такая же аналогия должна быть прослежена и во второй группе вопросов о передаче информации. При этом вопросы контроля здесь будут фигурировать уже в двух аспектах. Во-первых, проверке подлежит полнота, достоверность и своевременность переданной информации. В связи с этим предстоит уточнить кто, когда и как осуществляет контроль. Во-вторых, анализу подлежит поток информации о результатах контроля, т.е. система контроля должна содержать четкие ответы на вопросы: «кто, кому, как и когда сообщает о результатах контроля (или только о случаях нарушений) и как, кем эта информация используется для принятия определенных мер (каких именно)»?

Осуществляя анализ действенности контроля соблюдения требований организационно-методической документации, необходимо помнить, что также, как и остальные элементы управления, контроль должен быть построен на основе иерархической структуры.

Анализ причинно-следственных связей

Для выявления путей достижения целей (подпроблем) важно не только установить состав факторов, непосредственно затрудняющих нормальное функционирование системы, но и провести тщательный анализ причинно-следственных связей этих факторов.

Особенность анализа причинно-следственных связей состоит, главным образом, в том, что по каждому из выявленных недостатков (факторов, препятствующих достижению цели), необходимо с наибольшей полнотой установить [6, 10]:

- ♦ совокупность причин, порождающих этот недостаток, затрудняющих его преодоление, усиливающих негативное влияние на степень достижения целей;

- ♦ совокупность следствий, проявлений этого недостатка, наличие не только его непосредственного, но и ряда косвенных негативных влияний на достижение целей системы.

Более того, каждая из выявленных таким образом причин и каждое следствие (1-го порядка) должны быть подвергнуты подобному же анализу. Для них, в свою очередь, должны быть выявлены совокупности причин (на «входе») и следствий (на «выходе»), и т.д.

Полный (ценный) анализ позволяет выявить и обратные влияния некоторых следствий на непосредственные или более отдаленные причины. Причина и следствие находятся во взаимодействии, т.е. следствие нередко оказывает обратное воздействие на причину. Итогом анализа будет уже не линейная цепь, а разветвленная сеть (система) причинно-следственных связей.

Пример.

Анализ причинно-следственных связей нарушений технологической дисциплины [6]

При анализе причинно-следственных связей необходимо учитывать существенное различие между системным и формальным пониманием причинности. Разберем на конкретном примере разницу между упрощенным и системным подходом к построению причинно-следственных связей.

Рассмотрим один из факторов, нарушающих процесс функционирования промышленной системы. Это нарушение технологической дисциплины. Упрощенный подход: причина — высокая текучесть кадров, следствие — низкая квалификация персонала.

Схема причинно-следственных связей нарушений технологической дисциплины (вариант 1) будет иметь вид рис. 4.7.

А теперь приступим к построению схемы, применяя *системный подход*.

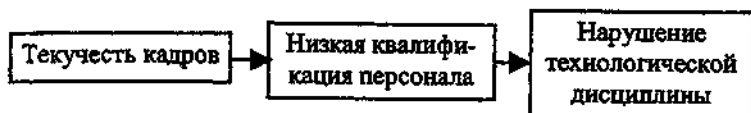


Рис. 4.7

Нарушения технологической дисциплины могут быть обусловлены не только низкой квалификацией персонала, но и целым рядом других причин. В том числе:

- ◆ недостаточным метрологическим обеспечением;
- ◆ недостатками системы повышения квалификации;
- ◆ низким уровнем работ по социальному развитию коллектива;
- ◆ неудовлетворительной работой системы управления качеством труда;
- ◆ недостаточной производственной дисциплиной, которая, в свою очередь снижена вследствие слабого контроля, отсутствия заинтересованности персонала;
- ◆ преднамеренное форсирование режима, которое связано с задержками ремонтных работ, аварийным выходом оборудования их строя, нарушением сроков поставки сырья и т.д.

Построение лишь с учетом изложенных выше соображений и далеко не полная схема причинно-следственных связей нарушений технологической дисциплины (вариант 2) будет иметь вид рис. 4.8.

Системный подход к причинности существенно обогащает, но вместе с тем и усложняет анализ причинно-следственных связей при выборе и систематизации путей достижения целей.

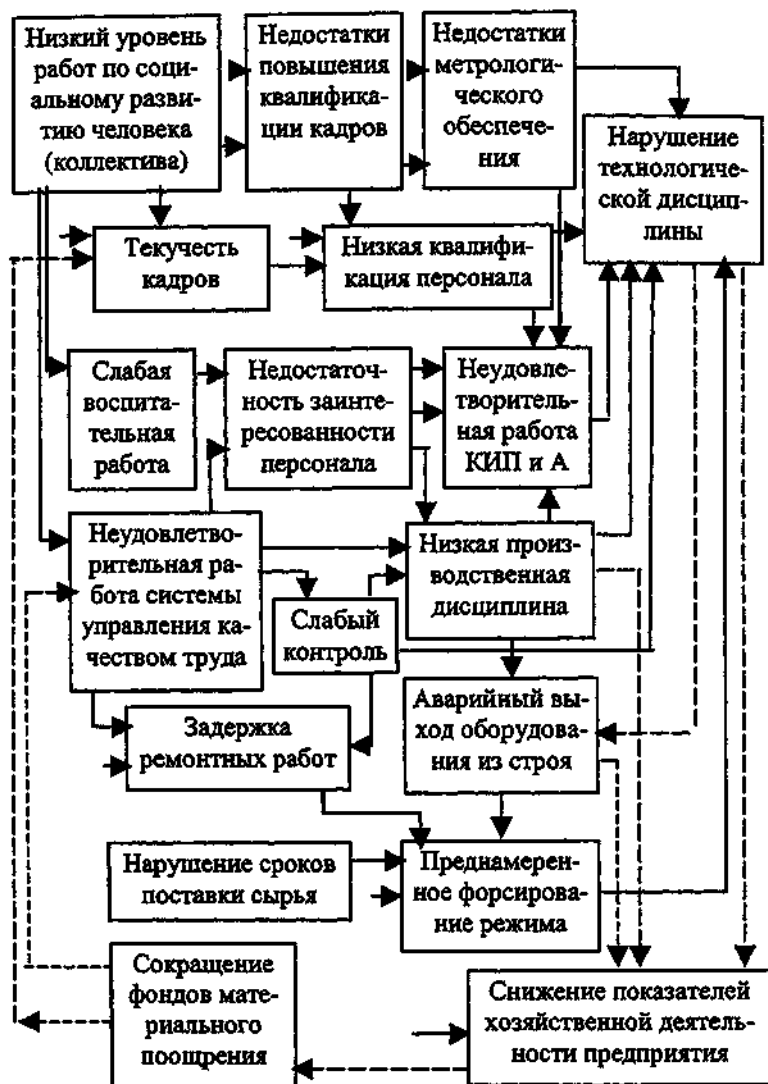


Рис. 4.8. Схема причинно-следственных связей нарушений технологической дисциплины (вариант 2):

———— прямое влияние;
 - - - - - обратная связь.

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ПУТЕЙ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ, ОЦЕНКА ИХ ЗНАЧИМОСТИ

«Дерево путей достижения целей»

Решить проблему в целом — значит найти и реализовать решение ее подпроблем, каждую из которых мы условились рассматривать как одно из направлений (путей) достижения целей функционирования системы.

Для систематизации путей достижения целей целесообразно использовать тот же метод ветвления (последовательной декомпозиции), который уже был рассмотрен применительно к систематизации целей и функций управления [6].

При выявлении основных подпроблем мы ориентировались на функции управления, следовательно, при построении «дерева путей достижения целей», за основу такого «дерева» может быть принята соответствующая часть иерархической структуры основных функций управления.

Терминологически содержание путей достижения целей (подпроблемы) может быть сформулировано как совершенствование (улучшение, разработка, обновление и т.д.) соответствующей функции. Формулирование содержания подпроблемы должно быть увязано с учетом конкретных результатов критического анализа функционирования системы, выявленных недостатков в ее работе и управлении, причинами этих недостатков.

Пример.
Построение «дерева достижения целей»
применительно к проблеме управления
качеством продукции

Общая подпроблема 1-го ранга «совершенствование планирования» может быть расчленена на следующие подпроблемы 2-го ранга.

Подпроблема 1.1. Совершенствование планирования мероприятий по обеспечению выполнения требований, действующих НТД в производстве продукции.

Подпроблема 1.2. Совершенствование планирования мероприятий по повышению качества выпускаемой продукции.

Подпроблема 1.3. Совершенствование планирования работ по развитию ассортимента продукции. Дальнейшее ветвление дерева должно идти путем дальнейшего дробления подпроблем. Одна из формулировок подпроблемы 1.2 (3-го ранга) будет следующей.

Подпроблема 1.2.1. Улучшение обеспечения планируемых мероприятий лимитируемыми ресурсами. Пути обеспечения подпроблемы 1.2.1 могут быть различными. Соответственно будут определены подпроблемы 4-го ранга: 1.2.1.1, 1.2.1.2, 1.2.1.3 и т. д.

Такую последовательную декомпозицию подпроблем следует продолжать до тех пор, пока дальнейшая конкретизация каждой подпроблемы младшего ранга не будет означать перехода к определенному решению этой подпроблемы (мероприятия), подлежащему реализации, или приведет к выявлению нескольких вариантов решения, выбор одного из которых предстоит осуществить.

Реализовать все выявленные пути совершенствования организации и управления практически невозможно. Поэтому

возникает задача оценки наиболее значимых подпроблем, которые в пределах имеющихся ресурсов позволят в наибольшей степени достигнуть поставленной цели.

Оценка значимости проблем

Оценка значимости подпроблем решается путем:

- ♦ ранжирование подпроблем по их значимости;
- ♦ выявление их взаимосвязи и взаимной обусловленности.

Основным методом ранжирования подпроблем по их значимости является метод экспертных оценок. Более того, экспертиза целесообразна и на выявлении основных недостатков функционирования системы и их причинно-следственных связей.

При отборе подпроблем недостаточно ранжировать их по ожидаемой эффективности решения, необходимо проследить их взаимосвязи и взаимную обусловленность, т.е. убедиться не только в ее относительно низкой эффективности, но и в том, что ее решение не является необходимым условием для решения одной или нескольких отображаемых и намеченных для реализации подпроблем. Взаимосвязь подпроблем определяет также последовательность их рассмотрения и решения, а следовательно, программу решения проблемы в целом.

Выявление взаимосвязи и взаимной обусловленности подпроблем является важным этапом структуризации проблемы. С учетом этих связей уточняется отбор подпроблем для выполнения вариантов решений и определяются предварительные границы проблемы.

4.5. ВЫЯВЛЕНИЕ И ВЫБОР АЛЬТЕРНАТИВ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ

ЭТАПЫ ВЫДЕЛЕНИЯ АЛЬТЕРНАТИВ

Процесс выделения альтернатив сложный и противоречивый. С одной стороны — это требование выявления всех возможных альтернатив, чтобы свести их к минимуму, но существует возможность упустить «лучшее» решение, с другой стороны — исходное множество альтернатив должно быть обозримым и, следовательно, достаточно узким, чтобы была возможность провести их тщательный анализ при допустимых затратах времени и других ресурсах.

Для углубленного анализа сложных организационных проблем необходимо разработать набор действительно различающихся альтернатив, включая возможность бездействия.

Для удовлетворения перечисленных требований и формирования исходного множества альтернатив целесообразно придерживаться следующих рекомендаций [12].

Путем анализа всех ограничений необходимо выделить множество физически реализуемых или допустимых альтернатив. Оптимальное или удовлетворительное решение проблемы следует искать только среди допустимых вариантов выбора.

При решении вопроса о включении альтернативы в исходное множество следует ориентироваться на цель принятия решения, отвечая на вопрос: обеспечивает ли данный вариант достижение желаемого результата хотя бы в принципе? Ответ

на данный вопрос позволяет отсеять огромную часть потенциальных альтернатив из-за их очевидной непригодности с точки зрения заданной цели. Однако такая «очевидность» весьма субъективна. Она отражает опыт, пронизательность, интуицию исследователя или лица, принимающего решение, его представление о цели выбора, а также способность предсказывать возможные цели на будущее. Сформированные таким образом альтернативы будем называть разумными.

Из множества разумных решений следует выделить такие, которые явно «не хуже» других альтернатив, т.е. не менее предпочтительны с точки зрения степени достижения цели. Обычно для выявления таких альтернатив производится их оценка по выбранным показателям эффективности и сразу исключаются из рассмотрения те решения, которые по всем показателям «не лучше» и хотя бы по одному показателю «хуже», чем некоторое допустимое решение. Оставшиеся альтернативы называются эффективными. Определение эффективных альтернатив на начальной стадии решения задачи возможно, если их число невелико, и они сравнительно легко поддаются оцениванию. В противном случае, выявление эффективных решений представляет собой непростую задачу, которая решается специальными методами.

ВЫБОР АЛЬТЕРНАТИВ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ

Выбор альтернативы в условиях определенности

При наличии достаточной исходной информации выбор вариантов альтернатив осуществляется на основании сопоставления значений целевой функции по всем сравниваемым вариантам, с учетом заданных ограничений.

Выбор альтернатив в условиях неопределенности

Условия неопределенности — условия, в которых исходной информации недостаточно для определения численных значений целевой функции по каждому из сравниваемых вариантов.

К условиям неопределенности относятся: неопределенность целей, неопределенность условий и последствий решения проблемы, неопределенность действий противоборствующей стороны.

Методология выбора решений в условиях неопределенности

Выбор решений в условиях неопределенности включает:

- ♦ построение матрицы эффектов и ущерба и матрицы риска;
- ♦ количественную оценку вариантов.

Матрицы эффектов и ущерба и матрица риска

Каждая строка матрицы (рис. 4.9, а) соответствует одному из вариантов намеченных альтернативных решений B_i , а каждый столбец — одной из возможных ситуаций S_j , которые могут возникнуть при разных значениях отсутствующей у нас информации об условиях решения проблемы или об ожидаемых результатах.

С использованием информации, которой мы задались, можно определить для каждой пары (B_i, S_j) соответствующие значения целевой функции φ_{ij} . В общем случае эти значения могут быть как положительными, так и отрицательными, т.е.

количественно оценивать эффект или ущерб при сочетании i -го варианта решения и j -ой ситуации.

Ситуация	S_1	...	S_j	...	S_n	$(\varphi_i)_{\min}$	$(\varphi_i)_{\max}$
Вариант							
B_1	φ_{11}	...	φ_{1j}	...	φ_{1n}		
...	...	...	...	...	...		
B_i	φ_{i1}	...	φ_{ij}	...	φ_{in}		
...	...	...	...	...	...		
B_m	φ_{m1}	...	φ_{mj}	...	φ_{mn}		
$(\varphi_j)_{\max}$							

а)

Ситуация	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	$(\varphi_i)_{\min}$	$(\varphi_i)_{\max}$
Вариант							
B_1	1	2	3	5	5	1	5
B_2	2	0	5	8	7	0	8
B_3	3	4	5	8	7	2	4
$(\varphi_j)_{\max}$	3	4	5	8	7		

б)

Ситуация	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	$(r_i)_{\max}$
Вариант						
B_1	2	2	2	3	2	3
B_2	1	4	0	0	0	4
B_3	0	0	1	6	5	6

в)

Рис. 4.9. Матрицы эффектов и ущерба и матрицы риска:

а) матрица эффектов и ущерба;

б) пример заполнения матрицы эффектов и ущерба;

в) пример заполнения матрицы риска.

В нижнюю строку таблицы вынесены наибольшие для каждого столбца (т.е. для S_j) эффекты $(\varphi_i)_{\min}$ и $(\varphi_i)_{\max}$.

Пример заполнения матрицы эффектов дан на рис. 4.9, б.

Количественной оценкой риска для каждого i -го решения при j -ой ситуации принято считать разницу между максимально возможным для этой ситуации эффектом и фактическим:

$$r_{ij} = (\varphi_j)_{\max} - \varphi_{ij}$$

Построенная матрица рисков имеет вид рис. 4.9, в. Дальнейшая процедура выбора альтернативных решений зависит от того, располагаем ли мы данными о вероятности отдельных ситуаций и сколь надежны (достоверны) эти данные.

Количественная оценка вариантов

Случай, когда вероятности возникновения каждой j -ой ситуации известны и получены в результате обработки соответствующих статистических наблюдений.в)

В этом случае для каждой альтернативы определяют математическое ожидание значения целевой функции:

$$\bar{\delta}_i = \sum_j P_j \varphi_{ij}.$$

При этом выбору подлежит тот альтернативный вариант B_i , для которого математическое ожидание значения целевой функции окажется максимальным. Для этого же варианта окажется минимальным математическое ожидание риска:

$$\bar{r}_i = \sum_j P_j r_{ij} \rightarrow \min.$$

Случай, когда мы не располагаем статистическими данными о P_j . В этом случае производится экспертная оценка вероятности ситуации. Экспертам предлагают назвать три значения ожидаемой величины S_j , характеризующей ситуацию: оптимистическую, пессимистическую и наиболее вероятную (модальную).

Эти тройственные оценки позволяют приближенно определить математическое ожидание прогнозируемой величины,

т.е. средневероятное значение S_j . Если принять биномиальное распределение, то можно воспользоваться следующей расчетной формулой:

$$S_j = 1/6 [(S_j)_{\min} + 4(S_j)_{\text{мо}} + (S_j)_{\max}].$$

Выбор решений в условиях полной неопределенности

В тех случаях, когда дать сравнительно надежные оценки вероятности отдельных ситуаций не представляется возможным, стратегия выбора решений определяется опасностью риска и осторожностью лица, принимающего решение.

Рассмотрим стратегии выбора альтернатив.

Стратегия наибольшего гарантированного эффекта. Для реализации этой стратегии в каждой строке матрицы эффектов выбирается минимальный эффект $(\varphi_i)_{\min}$. Лучшим считается вариант решения, для которого минимальный (гарантированный) выигрыш окажется наибольшим.

Критерий, реализующий такой выбор, именуется критерием максимального эффекта (выигрыша) или *критерием Вальда*:

$$R_w = \max_i \min_j \varphi_{ij}$$

Для примера на рис. 4.9, б лучшим по этому критерию является вариант B_3 , для которого $R_w = 2$.

Стратегия наименьшего возможного риска, также как и предыдущая, ориентируется на худшую ситуацию, но за такую считает не ту, которая дает наименьший эффект, а ту которая сопряжена с наибольшим риском. В таких случаях по каждой строке матрицы риска выбирается $(r_i)_{\max}$, а лучшим считается вариант, при котором этот максимальный риск оказывается наименьшим. Критерий реализующий такой выбор именуется критерием минимального риска или *критерием Сэвиджа*.

$$R_s = \min_i \max_j r_{ij}.$$

По критерию Сэвиджа рис.4.9, в получим, что лучшим является вариант B_1 , для которого $R_s = 3$.

Смешанная стратегия предусматривает сочетание пессимизма (осторожности) и оптимизма (склонности к значительному риску), в определенно заданной пропорции. Эту стратегию реализует критерий Гурвица:

$$R_H = \max_i [\alpha \min_j \varphi_{ij} + (1 - \alpha) \max_j \varphi_{ij}].$$

Для рассматриваемого примера (см. рис. 4.9, б) по этому критерию лучшим окажется вариант решения B_2 , если $\alpha < 2/3$. Так, например, при $\alpha = 1/2$, этот вариант дает наибольшее значение $R_H = 4$.

Как видно из трех рассмотренных примеров, каждая стратегия обусловила свой выбор варианта. Это говорит о том, что в условиях полной неопределенности применение матриц эффекта и риска лишь облегчает анализ конкретной обстановки, повышает наглядность ее изучения, но не обеспечивает «автоматизма» в выборе решений, как при использовании вероятностных и формализованных методов.

4.6. ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЯ И ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ

ВЫЯВЛЕНИЕ И ВЫБОР ВАРИАНТОВ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ (ПОДПРОБЛЕМЫ)

Факторы, влияющие на выбор решения подпроблемы

Приемы выявления вариантов решений, а также методы сравнения и выбора наилучших вариантов в значительной мере определяются тремя факторами:

- ◆ постановкой задачи, определяющей предмет и характер выбора;
- ◆ областью использования результатов решений;
- ◆ полнотой и определенностью исходной информации, используемой для выбора решения.

Решения, зависящие от постановки задачи

Решения, зависящие от постановки задачи можно разделить на три основных вида, в каждом из которых осуществляется выбор:

- ◆ альтернативных вариантов;
- ◆ значений варьируемых параметров системы;
- ◆ состава (или структуры) формируемых комплексов.

Выбор альтернативных вариантов представляет собой сущность решения таких подпроблем, при анализе которых выявились два или несколько взаимоисключающих (альтернативных) варианта. Альтернативными называют взаимоисключо-

чающие варианты принимаемых решений. Задача выбора альтернатив состоит в том, чтобы из двух или нескольких взаимно исключающих вариантов решения выбрать тот единственный, который в данных конкретных условиях обеспечит наибольшую степень достижения целей.

Выбор значений варьируемых параметров системы представляет собой широкий класс так называемых оптимизационных задач, т.е. задач определения значений внешних (входных и выходных) параметров системы, обеспечивающих ее оптимальное взаимодействие с остальными подсистемами системы старшего ранга.

Чаще всего в подобных задачах оптимизации речь идет об одновременном определении значений совокупности варьируемых параметров, которые при заданных условиях (ограничениях) обеспечивают максимум или минимум (т.е. экстремум) соответствующей целевой функции.

Лишь в простейших задачах выбору подлежит только один варьируемый параметр, но даже в этих случаях принципиальное отличие от выбора альтернативных вариантов состоит в том, что оптимальное решение является наилучшим из всех возможных в данных условиях, в то же время как выбор альтернативы обеспечивает лучшее решение из числа заданных вариантов.

Выбор состава формируемых комплексов или набора компонентов, относится к другому классу оптимизационных задач, поскольку по своей постановке и методам решений они несколько отличаются от предыдущих. К этому классу задач относится формирование сетевых планов выполнения комплексных работ в так называемых системах сетевого планирования и управления (СПУ). К этому же классу задач относится выбор комплекса мероприятий, которые в пределах выделенных ограниченных ресурсов обеспечивают рост эффективности производства, выбор числа и типоразмеров оборудования.

Решения, зависящие от области их использования

Методы выбора альтернатив мало зависят от области использования результатов решения. Вместе с тем методология решения оптимизационных задач формировалась и развивалась применительно к области их использования.

К таким областям относятся: оптимальное проектирование; оптимальное управление производственными процессами; оптимальное планирование.

На выбор решения влияют: варьируемые параметры, неуправляемые факторы. Варьируемые параметры можно разделить на три основные категории:

- ♦ проектно-конструктивные параметры; применительно к проектированию отдельных производств — это, как правило, размеры аппаратов, их элементов, трубопроводов и т.п.; при проектировании предприятий — это емкость складов, параметры, определяющие мощность вспомогательных производств и многие другие параметры инфраструктуры промышленной системы;
- ♦ режимные параметры (параметры внутреннего состояния); например — температура, давление, концентрации компонентов и т.п.;
- ♦ внешние (входные и выходные) параметры системы в промышленном производстве, ими являются в основном объем выпуска продукции и используемые ресурсы.

Неуправляемыми факторами будем именовать те, изменение которых в процессе функционирования системы не относятся к числу управляемых воздействий.

Применительно к задачам планирования и управления производственными системами выделим две основные категории неуправляемых факторов [6, 10]:

- ♦ краткосрочные внешние и внутренние возмущения, в том числе изменение погодных условий, колебание качества исходного сырья, колебание параметров энергоснабжения и т.д.;
- ♦ изменение экономических условий (конъюнктуры), в том числе рост или снижение дефицитности ресурсов, потребности в продукции и др.

Особенности выбора решений, с учетом варьируемых параметров и неуправляемых факторов, состоят в следующем.

При оптимальном проектировании экономические условия и плановые показатели бывают заданы, а возмущения не учитываются; для неуправляемых факторов принимаются вероятные или номинальные значения. Выбору подлежат оптимальные значения проектно-конструктивных и режимных параметров.

При оптимальном управлении процессами производство уже реализовано, т.е. конструктивные параметры известны и не изменяются, экономические условия заданы. Выбору подлежат режимные параметры, которые в условиях реальных возмущений обеспечивали бы экстремум целевой функции.

При оптимальном планировании известны конструктивные параметры; показатели производства принимаются, исходя из условий их поддержания системой управления на оптимальном уровне при вероятных значениях неуправляемых параметров (текущее планирование на год) или при их фактических значениях (оперативное планирование). Выбору подлежат плановые задания, которые обеспечивают экстремум целевой функции в изменившихся экономических условиях.

Принятие решения на основе исходной информации различной полноты

Чтобы использовать математические (формализованные) методы выбора решений, необходимо располагать полной и достаточно определенной информацией. Какое содержание вкладывается в эти понятия?

Полной информацией, используемой для выбора альтернативных вариантов, будем считать такую, которая позволяет определить численное значение целевой функции для каждой из сравниваемых альтернатив в условиях заданных ограничений.

Определенной будем именовать информацию об однозначно предсказуемых значениях параметров и условиях. Такую информацию мы имеем лишь при строго формализованной целевой функции и при описании свойств объекта исследования детерминированными либо статистическими моделями.

По полноте и определенности исходной информации можно выделить три методологических подхода, позволяющих выбрать решение однозначно, с определенной степенью вероятности и в условиях неопределенности. [6, 10].

Первый подход. Строгий выбор решения, однозначно определяющего результат, может быть получен формализованными методами исследования операций при наличии полной и определенной исходной информации.

Второй подход. Выбор решения, определяющего результат с определенной вероятностью и оценивающего степень риска, может быть получен формализованными методами с использованием теории вероятностей, если система описывается стохастическими моделями, а объем информации достаточно полный.

Третий подход. Решение принимается в условиях неопределенности, когда отсутствует необходимая информация, либо

потому, что не было проведено должное исследование системы, тенденций ее развития и внешних условий, либо потому, что система находится под воздействием нестационарных случайных факторов.

Для принятия решений в условиях неопределенности используются эвристические методы, теория игр и комбинированные методы, в том числе имитационное моделирование.

Формирование решения проблемы в целом

Вся логика этапа выявления путей достижения целей, рассмотренная ранее, была направлена на то, чтобы сложную проблему расчленить на несколько сравнительно простых подпроблем, с тем, чтобы для каждой из них выявить возможные варианты решения.

Возникает вопрос: действительно ли совокупность наилучших решений отдельных подпроблем дает наилучшее решение проблемы в целом?

Поиск обоснованного ответа на этот вопрос следует вести анализируя связи между отдельными подпроблемами. Такой анализ следует проводить по двум направлениям:

- ♦ во-первых, рассмотреть связи подпроблем, обусловленные общностью решений по самой их сущности;
- ♦ во-вторых, учесть связи подпроблем, обусловленные общностью ресурсов, выделенных на решение проблемы в целом.

Учитывая связи подпроблем, обусловленных общностью ресурсов, выделенных на решение проблемы в целом, можно идти по двум направлениям:

- ♦ чисто организационные, решения которых не требуют ресурсов, кроме затрат труда на разработку самих решений;
- ♦ организационно-технические, т.е. мероприятия, для реализации которых потребуется лимитированные

ресурсы, в том числе финансовые, трудовые, оборудование, приборы и т.д.; именно эти мероприятия, как варианты решения соответствующих подпроблем, оказываются взаимосвязанными по ограничениям ресурсов, выделенных на решение проблемы.

Таким образом, проект решения проблемы в целом складывается из тех вариантов решений отдельных (независимых) подпроблем или групп взаимосвязанных подпроблем, совокупность которых обеспечивает наибольшую степень достижения целей в пределах ресурсов, выделенных на решение проблемы.

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ

Постановка и решение задачи оптимизации

Этап выбора оптимальных решений состоит из двух основных процедур [6, 10]:

- ◆ постановки оптимизационной задачи;
- ◆ собственно решение задачи, т.е. отыскания значений варьируемых параметров или состава формируемого комплекса, которые обеспечивают максимальную степень достижения цели в заданных конкретных условиях.

Постановка задачи. Для решения оптимизационной задачи необходимо построить:

- ◆ целевую функцию или критерий оптимальности, которые зависели бы только от варьируемых (искомых) параметров и известных (заданных или измеряемых) показателей;
- ◆ систему ограничений, определяющих заданные условия решения задачи и содержащих также лишь искомые и известные величины.

Приступая к разработке содержательной и математической постановки оптимизационной задачи, в первую очередь необходимо дать четкую *формулировку сущности задачи*.

Дальнейшей процедурой постановки оптимизационной задачи следует считать выбор варьируемых переменных. По определению, варьируемыми переменными следует считать те параметры, выбор которых максимально влияет на степень достижения целей. Это искомые значения параметров.

В общем случае при выполнении этой процедуры необходимо:

- ♦ выделить все те параметры, изменение которых зависит от нас, а определение оптимальных значений составляет суть задачи;
- ♦ рассмотреть позитивные и негативные последствия изменений этих параметров на функционирование объекта и убедиться (пока качественно), что в пределах допустимых изменений этих параметров может существовать наивыгоднейший компромисс между выигрышем в достижении одних подцелей и проигрышем в достижении других;
- ♦ рассмотреть взаимосвязи выделенных параметров и выбрать взаимно независимые, учитывая при прочих равных условиях, какие из взаимосвязанных параметров наиболее употребительны (являются основными) в принятой системе.

Следующая процедура постановки задачи состоит в том, чтобы *выразить целевую функцию (критерий оптимальности) через варьируемые параметры и заданные (известные) величины*.

Решение задачи и анализ результатов

Нахождение численных значений варьируемых переменных, соответствующих условиям, заложенным в постановке

задачи, составляет процедуру, именуемую собственно решением задачи.

Для решения оптимизационных задач используются разнообразные методы математического программирования, выбор которых зависит от особенностей постановки задачи и от ее размерности. Под размерностью понимается общее число варьируемых переменных и использованных ограничений. Получив решение оптимизационной задачи, следует подвергнуть ее анализу. Так например, если условием эффективности является максимум функции, то необходимо убедиться, что найденное решение соответствует именно максимуму. Это можно установить по знаку второй производной. Следующим шагом необходимо оценить чувствительность оптимума, т.е. установить, существенной ли будет потеря эффективности при некоторых отклонениях от найденного оптимума. В анализ решения целесообразно включить также рассмотрение влияния некоторых факторов на сдвиг (смещение) оптимума.

РЕЗЮМЕ

1. Проблема — ситуация несоответствия желаемого и существующего.

Проблемная ситуация — условия, порождающие проблему. Условия постановки проблемы — это объективно возникающие противоречия между потребностями в тех или иных действиях и незнанием способов их выполнения, между потребностью в новых знаниях и их недостаточностью.

Типичные проблемные ситуации:

- ♦ результаты деятельности не соответствуют желанным целям;
- ♦ ранее выработанные, теоретически обоснованные и практически проверенные методы не дают должного эффекта или не могут быть использованы;
- ♦ в ходе практической деятельности обнаруживаются факты, данного практического опыта, которые не укладываются в рамки существующих теоретических представлений;
- ♦ одна из частных теорий вступает в логическое противоречие с более общей теорией или другими областями жизни в пределах данной отрасли знаний.

2. Методологией решения проблем является системный анализ и синтез.

Основными задачами системного анализа и синтеза проблемы являются разработка методов и средств:

- ♦ определение целей (требований), которых должна достичь функционирующая система (оценка требуемого положения дел);
- ♦ выявление проблем (анализ существования, формализации описания существа проблемы);

- ◆ анализа проблем (структуризация, классификация и оценка последствий развития проблемы);
- ◆ решения проблем (концептуального моделирования системы как средства решения проблемы);
- ◆ совершенствование методологии проведения системного анализа.

Необходимыми компонентами системного анализа и синтеза проблемы являются:

- ◆ цель, которую должна достичь функционирующая система;
- ◆ альтернативы (варианты систем), посредством которых возможно достижение цели;
- ◆ ресурсы, необходимые для создания и обеспечения эффективного функционирования того или иного варианта системы;
- ◆ критерий, по которому сравниваются альтернативы и осуществляется выбор одной из них;
- ◆ модель, отражающая связь целей, альтернатив, ресурсов и критерия.

3. Фундаментальный постулат (аксиома) системного подхода — утверждение о том, что система есть средство решения проблемы.

В терминах системного подхода проблемой называется ситуация, характеризующаяся различием между необходимым (желаемым) выходом и существующим выходом. Существующий выход обеспечивается существующей системой. Желаемый выход обеспечивается желаемой системой. Проблема есть разница между существующей и желаемой системой.

Определение целей, которых должна достичь система, является одной из первоочередных задач системного подхода. Определение целей может быть дано только в терминах требований к системе. Требования к системе есть средство фиксации однозначных утверждений, определяющих цель. Цели, в виде требований к существенным свойствам системы и к

процессу ее функционирования для существующих систем, известны, ибо они задаются при ее создании. Цели — требования могут быть определены в терминах желаемого состояния и отождествляются с желаемой системой.

Цель действий состоит в том, чтобы свести к минимуму между существующей и предлагаемой (желаемой) системой. Решение проблемы есть то, что заполняет промежуток между существующей и желаемой системами. Система, заполняющая промежуток, является объектом конструирования (проектирования) и называется решением проблемы.

4. В настоящее время единой классификации проблем не существуют. Однако общие признаки в каждом способе классификации имеются. Обобщая различные способы классификации проблем можно их привести к следующим трем видам.

♦ оперативные проблемы — это проблемы решение которых направлено на предотвращение, устранение или компенсацию возмущений, нарушающих текущую деятельность системы. Это структурированные проблемы. Решение этих проблем связано с количественной их оценкой, наличием хорошо отработанных альтернативных наборов действий в той или другой ситуации;

♦ проблемы совершенствования и развития систем — это проблемы решения которых направлено на повышение эффективности функционирования за счет изменения характеристик объекта управления или системы управления объектом, а также внедрения новых идей. Это слабо структурированные проблемы, решение которых является объектом исследования системного анализа и синтеза;

♦ инновационные проблемы — это проблемы решение которых связано с выработкой новых идей и внедрением нововведений. Это неструктурированные или очень слабо структурированные проблемы. Решение этих проблем связано с порождением новых идей и применением эвристических методов на основе опыта и интуиции.

5. Выбор этапов процесса решения проблем относится к неформализуемой части методологии системных исследований, к ее «логике», на которую существенное влияние оказывает характер проблем, идеология, а иногда и подход к проблеме исследователя.

Решение проблем совершенствования и развития систем включает следующие этапы:

- ◆ исходная постановка (формулирование) проблемы;
- ◆ формулирование целей и условий решения проблемы;
- ◆ структуризация проблемы и систематизация путей достижения целей;
- ◆ выявление и выбор альтернатив решения проблемы;
- ◆ принятие решения и его реализация.

5.1. Цель формулирования проблемы состоит в том, чтобы установить сущность проблемы в известных терминах.

Первоначальные операции по формулированию проблемы включают:

- ◆ составление исходной формулировки проблемы;
- ◆ осмысление этой формулировки по отношению к различным частям проблемы;
- ◆ осмысление фактов, которые касаются проблемы;
- ◆ общее уточнение исходной формулировки проблемы.

5.2. Зеркальное отражение формулирования проблемы есть выработка цели. Цель описывает результат, подлежащий достижению, т.е. является желаемым результатом деятельности.

Условия, которые ограничивают и описывают как цель должна быть достигнута, являются принуждающими связями. Принуждающие связи ограничивают проблему или вводят проблему в границы.

Процесс формирования целей включает следующее:

- ◆ построение и анализ целей осуществляется методом последовательного разделения (декомпозиции) более общих

целей на их составляющие, обеспечивая полноту выявления подцелей и их взаимное соответствие;

- ♦ результаты декомпозиции фиксируются в виде «дерева целей», которые оформляются в вид графа иерархической структуры, либо в виде таблицы, обозначение строки которой определяет место подцели в иерархии;

- ♦ для проблем, которые решаются одной организацией, включаются только собственные цели.

5.3. Структуризация проблемы включает декомпозицию проблемы на подпроблемы разных рангов, выявление связей между ними, определение границ и внешних связей проблемы в целом.

Целью структуризации проблемы является выявление и систематизация путей достижения целей как «подпроблем».

Для реализации системного подхода к решению проблем, направленных на совершенствование системы, необходимо уточнить структуру как объекта управления, так и системы управления этим объектом.

При уточнении структуры объекта управления следует:

- ♦ выявить элементы системы — подсистемы младших рангов;
- ♦ установить, исходя из постановки проблемы, какие связи элементов играют существенную роль в решении данной проблемы и подлежат учету как системообразующие;
- ♦ сгруппировать элементы в относительно автономные комплекты (подсистемы разных рангов) с учетом выделенных существенных связей.

Уточнение структуры системы управления должно полностью охватывать все те функции, которые прямо или косвенно связаны с решением поставленной проблемы. Рассмотрение только организационных структур недостаточно. Необходимо построить детальную функционально-информационную структуру на основе выполнения следующих процедур:

- ♦ детальная декомпозиция исследуемых функций управления на функции младших рангов;

- ◆ анализ распределения функций по конкретным службам, подразделениям, исполнителям;
- ◆ конкретизация информационных связей между подфункциями (и звеньями системы), анализ организационного и методического обеспечения этих связей и процессов переработки информации.

Чтобы расчленить проблему на ее составные части (подпроблемы), необходимо подвергнуть объект и систему управления критическому анализу, в результате которого следует:

- ◆ выявить основные трудности и недостатки в функционировании системы, ограничивающие достижение целей;
- ◆ установить причинно-следственные связи выявленных непосредственных трудностей и недостатков;
- ◆ определить пути устранения (ослабления) найденных причин и предотвращения их возникновения.

В ходе критического обследования системы управления требуется тщательный анализ «технологии» сбора, передачи, хранения и переработки информации, организационно-методического обеспечения этой «технологии», четко регламентированной системы контроля.

5.4. Систематизация путей достижения целей осуществляется построением «дерева путей достижения целей (подпроблем)». Для систематизации путей достижения целей целесообразно использовать тот же метод ветвления (последовательной декомпозиции), что и для систематизации целей и функций управления.

Декомпозиция подпроблем проводится до уровня элементарных, т.е. таких, дальнейшая конкретизация которых приводит к выявлению определенных вариантов их решения.

Прежде, чем переходить к выявлению вариантов решения элементарных подпроблем (младшего ранга), необходимо оценить значимость выявленных путей достижения целей и оставить лишь те, решение которых заметно скажется на ре-

зультатах решения проблемы в целом. Как правило, значимость подпроблем оценивают на основе экспертных оценок, максимально используя при этом результаты статистических исследований объекта обследования.

При построении «дерева путей достижения целей» за основу дерева целесообразно брать иерархическую структуру основных функций управления. Методологической основой построения «дерева путей достижения целей» является функциональный синтез. Терминологически содержание путей достижения целей (подпроблем) может быть сформулировано как совершенствование (улучшение, разработка, обновление и т.д.) соответствующей функции.

5.5. Основным вопросом при решении любых проблем независимо от их области содержания и характера является вопрос выявления и выбора наиболее подходящей альтернативы решения.

Альтернативы — это два (или несколько) взаимно исключающих варианта решений. При наличии информации, достаточной для определения численных значений целевой функции, из альтернативных вариантов выбирается тот, который обеспечивает максимальное достижение цели.

Если исходная информация не позволяет определить строго предсказуемого значения целевой функции, но достаточна для расчета математических ожиданий этой функции по каждому из сравниваемых вариантов решений, то осуществляется так называемый вероятностный выбор альтернативы, которая обеспечивает наибольшую средневероятную степень достижения цели.

В условиях неопределенности желательно оценить вероятность ситуации, а соответственно и вероятные степени достижения целей, на основании экспертных методов.

В условиях полной неопределенности (т.е. условия при которых не представляется возможным даже экспертно оценить вероятность возможных ситуаций) выбор альтернатив осуще-

ствляется эвристическими методами на основании тщательного анализа позитивных и негативных последствий каждого решения в каждой возможной ситуации.

В зависимости от полноты исходной информации выбор решений осуществляется:

- ♦ на основе формализованных методов исследования операций (при полной и определенной информации);
- ♦ с использованием формализованных методов и теории вероятностей (при описании процессов функционирования стохастическими моделями);
- ♦ с использованием эвристических методов и теории игр (в условиях неопределенности).

В тех случаях, когда процессы функционирования систем частично поддаются описанию целесообразна комбинация формализованных и эвристических методов, в том числе имитационное моделирование ситуаций при разных вариантах выбора стратегий и значений оценок, принимаемых эвристически.

Для подпроблем, которые взаимосвязаны по своей сущности или по последовательному использованию информации, выбор решений должен осуществляться совместно для всей группы таких взаимосвязанных подпроблем.

Выбор решения проблемы в целом складывается из тех вариантов решений отдельных (независимых) подпроблем или групп взаимосвязанных подпроблем, совокупность которых обеспечивает наибольшую степень достижения целей в пределах ресурсов, выделенных на решения проблемы.

Для правильной постановки оптимизационной задачи необходимо четко сформулировать ее сущность, уточнить объект оптимизации и его границы, выбрать совокупность искомых варьируемых параметров (переменных), выбрать целевую функцию, определить и конкретизировать систему ограничений.

Кроме того, необходимо располагать математическим описанием (моделью) объекта, которое позволило бы исключить

из выражений целевой функции и ограничений все не варьируемые переменные, выразив их через варьируемые параметры и известные (заданные) величины.

Метод решения оптимизационных задач выбирается, с учетом их размерности и особенностей математической постановки (линейность и нелинейность зависимостей, непрерывный или дискретный характер варьируемых переменных и др.).

6. Особенностью системного анализа и синтеза инновационных проблем является выработка идей. Идея — это прыжок в неизвестность и невозможно точно предсказать, когда она возникнет. Второй особенностью такого рода проблем является отсев идей. В процессе жесткого и быстрого поиска решений есть большая вероятность отбросить тонкие идеи, имеющие смысл и перспективу.

ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

1. Раскройте понятие проблема.
2. Условия постановки проблемы.
3. Перечислите и раскройте сущность наиболее встречающихся проблемных ситуаций.
4. Особенности классификации систем.
5. Типичные виды классификации проблем.
6. Характеристика этапов процесса решения проблем.
7. Этапы системного анализа проблем совершенствования и развития систем.
8. Этапы системного анализа инновационных проблем.
9. Цель формулирования проблемы.
10. Почему формулирование проблемы называется исходной постановкой проблемы?
11. Раскройте содержание формулирования проблемы.
12. Последовательность этапов диагноза проблемы.
13. Раскройте подходы, обеспечивающие четкое формулирование проблемы. Выделите общий для всех подходов элемент формулирования проблемы.
14. Сущность формирования целей проблемы.
15. Какие необходимо учитывать факторы при формировании целей проблемы.
16. Процедура формирования целей.
17. Порядок построения «дерева целей». Раскройте порядок обеспечения полноты «дерева целей» и соответствие рангов подцелей.
18. Приведите пример формирования «дерева целей».
19. Раскройте основные понятия структуризации проблемы.

20. Приведите основные процедуры этапа «выявления путей достижения целей».

21. Раскройте порядок уточнения (построения) структуры объекта управления.

22. Раскройте порядок уточнения структуры системы управления.

23. Роль и место системообразующих связей в построении структуры системы.

24. Что является основой функционально-информационной структуры системы управления?

25. Порядок формирования функционально-информационной структуры системы управления.

26. Цели анализа функционирования системы.

27. Порядок выявления основных трудностей и недостатков в функционировании системы управления.

28. Что является исходными данными для информационного анализа системы управления?

29. Особенности анализа причинно-следственных связей системы.

30. Раскройте сущность и содержание построения «дерева путей достижения целей».

31. Порядок оценки значимости подпроблем.

32. Факторы, влияющие на приемы выявления вариантов решений, а также методы сравнения и выбора наилучших вариантов.

33. Виды решений зависящих от постановки задачи и их сущность.

34. Раскройте влияние на выбор решения варьируемых параметров и неуправляемых факторов.

35. Сущность принятия решения на основе исходной информации различной полноты.

36. Процедуры выбора оптимальных решений и их содержание.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акофф Р., Эмери Ф.О. О целеустремленных системах. — М.: Сов. радио, 1974.
2. Арно А., Пиколь П. Логика или искусство мыслить. — М.: наука, 1991.
3. Буолдинг К. Общая теория систем — как скелет науки // Исследования по общей теории систем. — М.: Прогресс, 1969.
4. Венделин А.Г. Подготовка и принятие управленческого решения. Методологический аспект. — М.: «Экономика», 1977.
5. Горский Д.П. Определение, их виды и правила // Логика научного познания. — М.: Наука, 1987.
6. Добкин В.М. Системный анализ в управлении. — М.: «Химия», 1984.
7. Информационные системы в управлении производством. Пер. с англ. под ред. Ю.П. Васильева — М.: «Прогресс», 1973.
8. Клир Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач. — М.: Радио и связь, 1990.
9. Кулагин О.А. Принятие решений в системах организационного управления. ч. 1. Основы методологии. Учебное пособие. — С.-П.: Изд. ВИКУ им. А.Ф.Можайского, 1999.
10. Мессарович М., Мако Д., Такахара И. Теория многоуровневых иерархических систем. — М.: Мир, 1973.
11. Мухин В.И. Исследование систем управления. Дидактические материалы. — Новогорск: АГЗ МЧС России, 1999.

12. Оптнер Л. Станфорд. Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем. — М.: «Советское радио», 1969.
13. Плотин. Избранные трактаты. В 2-х томах. Пер. с древнегреческого под ред. проф. Г.В. Милованского. — т. 1 — М.: Изд. «РМ», 1994.
14. Плэтт Вашингтон. Стратегическая разведка. Основные принципы. Пер. с англ. — М. Инфра — М, 1997.
15. Попов А.А., Телушкин И.М., Бунцев С.Н. и др. Основы общей теории систем. ч. 1, — С.-П.: ВАС, 1992.
16. Советский энциклопедический словарь. — М.: Изд. «Советская энциклопедия», 1981.
17. Тейяр де Шарден П. Феномен человека. — М.: Наука, 1987.
18. Теслинов А.Г. Развитие систем управления. Монография. — М.: РВСН, 1997.
19. Хайдеггер М. Интервью в журнале «Экспресс» // Логос, 1991, № 1.

ГЛАВА 5.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Цель главы — с общих позиций системного подхода обобщить и раскрыть сущность методов познания и исследования систем управления

ПОСЛЕ ИЗУЧЕНИЯ ГЛАВЫ ВЫ ДОЛЖНЫ БЫТЬ В СОСТОЯНИИ:

- перечислить и раскрыть сущность эвристических методов применения системного подхода для развития творческих способностей;
- перечислить и раскрыть сущность формализованных методов применения системного подхода для развития творческих способностей;
- знать статистические и детерминированные методы анализа систем управления;
- знать методы оптимизации систем управления;
- уметь выбирать и применять методы математического программирования для целей синтеза систем управления;
- уметь выбирать и применять математические теории для целей анализа и синтеза систем управления.

5.1. СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ПРОЯВЛЕНИЮ ИДЕИ

На основе обобщения научных, философских и теософских эволюционных концепций А.Г. Теслинов дает конструктивное объяснение такому понятию как «цикл проявления идей». Раскроем сущность циклов проявления идей [57].

СУЩНОСТЬ ИДЕИ

Идея (греч. *idea* — буквально: «то, что видно», образ) — философский термин обозначающих «смысл», «значение», «сущность». Когда идея рассматривается только как существующая в сознании, она обозначает:

- ♦ чувственный образ, возникающий в сознании как отражение чувственных предметов (наивный реализм);
- ♦ «смысл» или «сущность» вещей, сводимых к ощущениям и впечатлениям субъекта или творческому началу, порождающему мир (субъективный идеализм);
- ♦ одну из форм, способ познания, смысл которых заключается в формулировании обобщенного принципа, обобщающего сущность, закон явлений; отражение объективной реальности (диалектический материализм).

Сущность — смысл данной вещи, то, что она есть сама по себе, в отличие от всех других вещей и в отличие от изменчивых состояний вещи под влиянием тех или иных обстоятельств.

А. Г. Теслинов дал свое определение понятия идеи.

Под идеями как целостностями понимают и предмет мышления — мыслимую сущность и выделившую ее энергию.

Мыслительная сущность — Вселенная в различных формах ее проявления. Энергия — мысль, генерируемая умом.

Рождение идеи. Сложность процесса порождения идей состоит в способности восхождения в мир сущностей актуализацией энергии ума, распознавания, а затем и выражения их. Началом рождения идеи служит импульс актуализировавшегося ума в намерении исследователя. Распознавание идеи — есть непосредственное постижение истины без логического обоснования.

Рождение идеи — это актуализация энергии ума с целью распознавания, новых граней непознанных сущностей окружающего мира.

Рождение идеи — открытие того, что уже существует. Возникновение идей, их созревание и воплощение является вечным и непрерывным процессом во Вселенной, охватывающим без исключения все сферы жизни и проявляющейся во всем.

Начало всякого акта проявления идеи связано с возникновением импульса излучения, в котором в свернутом виде уже содержатся все возможности будущего проявления.

Выражение идеи. Наиболее ответственным моментом выражения идеи является начальный этап ее выражения. Суждениям присущи две составляющие: внутренняя и внешняя. Внутренняя составляющая объясняет природу происхождения и, следовательно, сущность идей, а внешняя — форму проявления. Форма проявления идеи — это среда, в которой идея может быть различимой.

Под идеями следует понимать то в мышлении, что может быть выражено словом или вообще некоторым способом, то есть проявиться и приобрести некоторую форму.

Основной формой выражения идеи современным человеком является понятие. Способ выражения идей в форме понятий осуществляется в виде суждений. Суждение — сопоставление различных понятий. Понятие отражает существенные и отличительные признаки объекта. Признаки это то, в чем объекты сходны друг с другом или отличны друг от друга. Отличительные признаки это те, которые присущи только данному объекту. Существенные признаки это те, каждый из которых, взятый отдельно, необходим, а все вместе достаточны, чтобы с их помощью можно было отличить объект.

ПЕРВЫЙ ЦИКЛ ПРОЯВЛЕНИЯ ИДЕИ

Первый цикл проявления (порождения) идеи включает следующие этапы [17]:

- ◆ порождение исследовательской интенции;
- ◆ выделение аспекта исследования;
- ◆ установление уровня знания;
- ◆ выражение сущности.

Актом порождения исследовательской идеи является процесс возникновения импульса излучения (мысли) в исследователе. Иницирующим импульсом в системном исследовании выступает порождение потребности «рассмотреть объект исследования некоторым особенным образом», т.е. появлением интенции начального намерения познать объект. «Интенциональность — это свойство изначальной субъективности постижения человеком любого объекта, предстающего перед ним якобы в объективных признаках».

Особенностью интенционального анализа является то, что он имеет субъективный характер, так как при его осуществлении рассматриваются те грани объекта, которые в большей степени соответствуют задаче исследователя. «Задача исследования, таким образом, является компонентом интенции».

Актом выделения аспекта исследования является процесс осмысления идеи. Состояние перехода «от подразумевания к разумению, от смутно мыслимого к понимаемому». Аспект (лат. *aspectus* — взгляд, вид) ограничит совокупность тех свойств объекта, которые будут «наблюдаться» в актуализировавшейся в намерении исследователя плоскости сознания. Выделение аспекта «увиденной» грани (граней) объекта включает:

- ◆ выделение контуров «увиденного» объекта;
- ◆ ограничение совокупности тех свойств объекта, которые будут наблюдаться исследователем;
- ◆ высвечивание новых граней, которые в большей степени соответствуют задаче исследователя.

Акт установления уровня знания является процессом проявления идеи в виде гипотез и аксиом (первого круга), которые устанавливают контуры неизвестного об объекте исследования среди известного.

Содержанием акта установления уровня знания является:

- ◆ проявление идеи — проявление контуров намерения исследователя;
- ◆ выдвижение гипотезы как суждения об «увиденной» системе, которые исследователь не может доказать, подтвердить, но принимает допустимыми;
- ◆ постулирование аксиом (аксиомы первого круга), которые устанавливают границу неизвестного о предмете исследования среди известного.

Акт выражения сущности является процессом выделения из потенциально известного нечто неизвестное об объекте.

Сущность выражает идею, наполненную свойствами среды ее воплощения. Установление сущности объекта чрезвычайно трудное дело.

«Сущность дерева не является деревом, которое можно встретить среди других деревьев» [15].

Сущностью дерева является то, что является общим для всех деревьев, то есть то в них, что тождественно друг другу и усматривается в сущности как единое.

Содержанием акта выражения сущности является:

- ◆ выражение сущности идеи, то есть наполнение идеи свойствами среды ее выполнения;
- ◆ выдвижение гипотезы как суждения о возможности реализации идеи;
- ◆ построение аксиом (аксиомы второго круга), которые устанавливают границы реализации идеи.

ВТОРОЙ ЦИКЛ ПРОЯВЛЕНИЯ ИДЕИ

Второй цикл проявления системной идеи включает следующие этапы [57]:

- ◆ выражение сущности;
- ◆ системообразование;
- ◆ восхождение к классам систем;
- ◆ интерпретация видов систем.

Акт выражения сущности в новом цикле является процессом генерации мысли, направленной на воплощение сущности и приобретения ею формы.

Акт системообразования является процессом формирования плана будущего существования идеи.

Сущность идеи выражается с помощью элементов и отношений, с помощью структуры, т.е. идет процесс системообразования. Строится абстрактная система или несколько систем, которые позволяют понимать предмет, но еще не позволяют

работать с ним, то есть создавать объекты или исследовать объекты по предметам. Построение структуры систем воссоздает новую, более содержательную среду проявления идеи, усиливая ранее выделенный аспект исследования.

В процессе системообразования составляется портрет сущности идеи. Порядок составления портрета сущности идеи следующий:

- ◆ выявляются различные грани (грань);
- ◆ выделяются основные понятия, которые определяют сущность (ее грани);
- ◆ постулируются основные отношения между понятиями.

Акт восхождения к классам систем является процесс порождения систем, которыми могут быть представлены все возможные объекты, то есть те, у которых единая сущность и общие системные свойства. Выполняется мысленный переход от нечеткого обобщенного образа некоторого одного объекта — «представителя» сущности — ко множеству объектов, к классу объектов. Совершается окончательное различение свойств того, что порожденное идеей, может быть «отлито» в конечную форму.

Акт интерпретации видов систем является процесс завершения наполнения все еще абстрактных, но уже разделенных, различаемых по ряду признаков систем, содержанием того плана, чтобы идея имела конечную форму, в какой только могут существовать системы. Происходит конкретизация системы до такой степени, при которой уже может начаться их действительное воплощение.

Рассмотрение циклов проявления идеи позволяет выделить ряд требований к представлению идеи как системы. К основным требованиям можно отнести [17]:

- ◆ *иерархия сущностей идей.* Идеи системного характера на ранних этапах своего проявления представляют собой первоначальные сущности. Это такие сущно-

- сти, от которых «происходят» многие другие сущности и далее — «вещи»;
- ◆ *выбор среды проявления идеи.* Среди окончательного проявления идея может быть различной: словами, рисунком, математическими символами и т.д.;
 - ◆ *системообразование идеи.* Конструкция идеи должна быть такой, чтобы можно было различать разнообразные части, разделенные по некоторому основанию на элементы, которые по-разному связаны между собой;
 - ◆ *ясность выражения сущности идеи.* Идеи абстрактного уровня должны быть ясными как можно большему кругу специалистов;
 - ◆ *уточнение начального замысла.* Идеи должны осуществляться путем разворачивания абстрактной системы высшего уровня в виде класса систем;
 - ◆ *взаимосвязь этапов проявления идеи и дифференцирование выраженного в них содержания;*
 - ◆ *полное исходное описание признаков класса систем,* чтобы по ним в сознании исследователя восстанавливались классы объектов, среди которых можно было бы при желании (а точнее, при движении по ступенькам цикла проявления идеи) различать отдельные объекты.

5.2. ЭВРИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

МЕТОДЫ АКТИВИЗАЦИИ ТЕХОЛОГИИ ТВОРЧЕСТВА

Интенсивность (производительность) любого процесса (в том числе творческого) обусловлена взаимным действием трех основных причин [29]:

- ♦ движущих сил процесса — внешних и внутренних побудительных обстоятельств, причин, мотивов, вызывающих течение процесса;
- ♦ факторов ускорения — внешних и внутренних условий процесса, воздействия на которые позволяет увеличить интенсивность процесса;
- ♦ факторов торможения — внешних и внутренних условий процесса, воздействие на которые позволяет уменьшить интенсивность процесса.

Эффективность решения творческой проблемы, в первую очередь, определяется продуктивностью творческого мышления при отсутствии информации о технологии поиска. Но продуктивность, в свою очередь, зависит от искусства преодоления препятствий, лежащих на пути познания.

Ф. Бэкон указывает на четыре вида препятствий — призраки познания. Первые два из них коренятся непосредственно в человеческой природе, будучи врожденными. Два других восходят к ней опосредованно, будучи порожденными особенностями социальной жизни и психологии.

Первый вид заблуждений — это «призраки рода». Они свойственны всем людям, поскольку постигаемых вещей природу собственно духа, т.е. результаты мыслительной деятельности базирующейся на искаженной информации органов чувств, что приводит к заблуждениям. К этому же виду заблуждений относится стремление человека при разрешении проблемных ситуаций пользоваться готовыми решениями, привычными штампами, освоенными стандартами (психологическая инерция мышления).

Второй вид заблуждений — это «призраки нещеры», к которым относятся разнообразные индивидуальные вариации и отклонения в проявлении «призраков рода», неодинаковые интересы людей ориентируют различным образом их познавательные усилия и оценки.

Третий вид заблуждений — это «призраки рынка», проистекающие из особенностей социальной жизни человека. Эти «призраки» состоят в подверженности общераспространенным взглядам, предрассудкам и умственным заблуждениям.

Четвертый вид — это «призраки театра», которые производны от «призраков рынка». Здесь речь идет об искажающем влиянии ложных теорий и философских учений.

Р. Декарт в работе «Рассуждение о методе» изложил четыре правила познания.

Первое правило метода Декарта требует принимать за истинное все то, что воспринимается в очень ясном и отчетливом виде и не дает повода к какому-либо сомнению, то есть вполне очевидно.

Второе правило метода предлагает делить каждую сложную вещь ради успеха ее изучения, на более простые составляющие, дабы затем устремить внимание на эти простые, т.е. неподдающиеся дальнейшему делению умом части.

Третье правило — в познании мыслью следует идти от простейших, т.е. элементарных и наиболее для нас доступных

вещей, к вещам более сложным и, соответственно, трудным для понимания.

Четвертое правило метода требует осуществлять полные описания предмета исследования, не упуская ничего из внимания.

В рассмотренных подходах четко просматриваются элементы системного анализа.

Попытка формализовать метод активизации технологии творчества с точки зрения системного анализа осуществлена в работе [47]. В ней рассмотрены направления развития системных объектов, общие законы развития систем и закономерности структурных преобразований систем. Кроме того, рассматривается методика, в основе которой лежит «принцип узлового элемента» системы.

Алгоритм поиска узлового элемента включает [15]:

- ◆ определение состава элементов исходной системы;
- ◆ определение вида потребительского противоречия. Установление потребительского свойства, требующего улучшения, — критичного потребительского свойства;
- ◆ установление и исследование причинно-следственной цепи взаимодействия элементов, влияющих на проявление системой критичного потребительского свойства;
- ◆ определение круга элементов, которые допускают видоизменение;
- ◆ выявление элемента цепи, изменение физического параметра которого является необходимым условием улучшения критического потребительского свойства и первопричиной ухудшения конфликтного потребительского свойства.

Метод активизации технологии творчества позволяет решать проблемные ситуации поэтапно и может быть представлен в следующем виде [29]:

Этап 1. Формулировка задачи в системных категориях в виде потребительского противоречия. Важной особенностью данного этапа является необходимость принятия решения о стратегии дальнейшей поисковой деятельности.

Этап 2. Задача решается на базе условий первого этапа, т.е. отталкиваясь только от системной формулировки задачи. Решение производится за счет личных творческих возможностей и информированности разработчика (исследователя, руководителя и т.д.) без применения каких-либо внешних методических приемов.

Этап 3. Если проблемная ситуация не решается на втором этапе простым силовым наскоком. Значит, творческие ресурсы исчерпаны, и пришло время применения методических средств — специальных приемов и логических операторов.

Этап 4. Если задача не решается на третьем этапе, следует продолжить решение, используя операторы предварительного «дробления» задачи (оператор выявления противоречия, оператор применения приемов и таблиц разрешения противоречий; оператор применения законов интеграции и дифференциации).

Этап 5. Если процедуры четвертого этапа не привели к разрешению проблемной ситуации, следует продолжить решение задачи, используя операторы полного «ослабления» задачи (оператор определения физического противоречия, оператор применения приемов разрешения физических противоречий).

АССОЦИАТИВНЫЕ МЕТОДЫ

Эти методы основываются на применении в творческом процессе семантических свойств понятий путем использования аналогии их вторичных смысловых оттенков, основными источниками для генерирования новых идей служат ассоциа-

ции, метафоры и случайно выбранные понятия [3, 7, 19, 25, 34, 65].

К ассоциативным методам (во многом аналогичные) относятся [29]: метод каталога, метод фокальных объектов, метод гирлянд случайностей и ассоциаций.

Для возникновения ассоциаций и генерирования идей можно использовать различные метафоры. Метафоры могут служить подсказкой для нахождения идеи. С целью расширения пространства поиска идей и повышения степени их оригинальности, прибегают к *гирляндам метафор (ассоциаций)*. Чаще всего применяют две их разновидности: концентрированные гирлянды, различным образом выражающие одно и то же ключевое понятие; гирлянды последовательных метафор, при генерировании которых предыдущая метафора является ключевым понятием для образования последующей.

Если на совершенствуемый объект перенести признаки других, случайно выбранных объектов, то резко возрастает число неожиданных вариантов решения. Эта идея явилась основой метода каталога и усовершенствованного метода фокальных объектов.

Метод фокальных объектов дает хорошие результаты при поиске новых модификаций известных способов и устройств и для тренировки воображения. Сущность метода состоит в перенесении признаков случайно выбранных объектов на совершенствуемый объект, который лежит как бы в фокусе переноса.

Дальнейшим развитием метода фокальных объектов является *метод гирлянд случайностей и ассоциаций*. Он помогает найти большое количество подсказок для новых идей путем образования ассоциаций.

Метод контрольных вопросов используется для психологической активизации творческого процесса, для чего с помощью наводящих вопросов пытаются подвести к решению задачи. Суть метода состоит в том, что исследователь (изо-

бретатель) отвечает на вопросы, содержащие в универсальных вопросниках (составленных Д. Пирсоном, Э. Раудзенпом, А. Осборном и др.) и в связи с ними рассматривает свою задачу.

МЕТОД МОЗГОВОГО ШТУРМА

Метод мозгового штурма разработан американским предпринимателем и изобретателем А. Осборном в 1953 г. и применяется для получения новых идей в науке, технике, административной и торговой деятельности. Основные правила мозгового штурма [1, 16, 22, 35, 54, 61, 65].

Задачу последовательно решают две группы людей по 4 — 15 человек в каждой (оптимальный состав 6 ... 12 человек).

Первая группа только выдвигает различные идеи — это группа «генераторов идей». В эту группу желательно включать людей, склонных к бурной фантазии, склонных к абстрагированию. Вторая группа — «эксперты» — по окончании штурма выносит суждение о ценности выдвинутых идей. В ее составе лучше работают люди с аналитическим, критическим складом ума. Условия задачи перед ее штурмом формулируются только в общих понятиях.

Основная задача группы «генераторов» — выдать за отведенное время как можно больше идей (в том числе фантастических, явно ошибочных и т.д.), чем нереальнее идеи, тем сильнее сказывается их действие на последующем процессе их генерации. При окончательном разборе многие предложения окажутся бесполезными. Однако сам процесс должен вызвать бурный поток идей, которые следуют непрерывно, дополняя и взаимно обогащая друг друга. Коллективный разум помогает генерировать последовательность предложений. Все они высказываются без доказательств и записываются в протокол или фиксируются на магнитной ленте.

При генерации идей запрещена всякая критика, не только явная словесная, но и скрытая — в виде скептических улыбок, мимики, жестов и т.д.

В ходе штурма между участниками должны быть установлены свободные и доброжелательные отношения. Надо, чтобы идея, выдвинутая одним участником штурма, подхватывалась и развивалась другим. Рекомендуется пригласить на штурм людей разных специальностей и разного уровня образования.

Нежелательно включать в одну группу людей, присутствие которых может в какой-то степени стеснять других, например руководителей и подчиненных.

Экспертизу и отбор идей после окончания процесса генерирования следует проводить очень внимательно. При их оценке надо тщательно продумывать все идеи, даже те, которые считаются несерьезными, нереальными или абсурдными.

Процессом решения задачи управляет руководитель «штурма», который обеспечивает соблюдение всех условий и правил.

Руководитель должен выполнять свои обязанности без приказаний и критики, направлять работу в нужное русло. Он задает различные вопросы, иногда что-то подсказывает или уточняет, не допуская при этом перерывов в беседе.

Если задача не решена в ходе штурма, можно повторить процесс решения. Однако лучше это сделать с другим коллективом. С тем же коллективом проблему можно обсудить в ином аспекте или в более широкой формулировке, что делает старую задачу неузнаваемой. Участники штурма воспринимают ее как новую, и это способствует движению мыслей по другому руслу.

Достаточно подробно метод рассмотрен в работе [25]. Наилучшие результаты метод дает при рассмотрении проблем организационного характера. Метод применяется при отсутствии или недостаточном количестве информации.

Недостатки метода мозгового штурма [1]:

- ♦ поиск ведется практически простым перебором вариантов;
- ♦ отсутствие четких правил работы — «бестолковость» поисков возведена в принцип;
- ♦ отсутствие критериев, позволяющих оценить уровень выдвигаемых идей, что приводит к «проскакиванию», уходу от сильного направления.

МЕТОД СИНЕКТИКИ

Слово синектика означает соединение воедино различных, а порой даже очевидно несовместимых элементов.

Идея синектики состоит в объединении отдельных творцов в единую группу для совместной постановки и решения конкретных задач. При использовании синектики формируются постоянные группы (5-7 человек) людей различных специальностей, которых обучают творческим приемам. Полный курс обучения методики рассчитан на год.

Теоретической основой синектики стали утверждения, что творческий процесс познаваем и может быть рационально организован. Творческие процессы отдельного лица и коллектива аналогичны, иррациональный момент в творчестве важнее рационального; в скрытом состоянии находится очень много творческих способностей, которые можно выявлять и стимулировать.

Структура современного синектического метода включает следующие этапы [7, 18, 25, 29].

Формулируют проблему в общем виде.

На синектические заседания приглашаются эксперты (специалисты в области данных проблем), которые поясняют проблемную ситуацию.

Главная задача эксперта — выявление полезных и конструктивных идей путем оперативного анализа высказываний.

Путем анализа первых решений эксперт обязан показать их слабые стороны и разъяснить сущность действительной проблемы. Этот этап иногда называют формулировкой «проблемы как она дана».

Начинают анализ проблемы.

На этом этапе изыскиваются возможности превратить незнакомую и непрерывную проблему в некоторые привычные. Каждый участник, включая эксперта, обязан найти и оригинально сформулировать одну цель решения. По существу, в большинстве случаев этот этап означает дробление проблемы на части, на подпрограммы. Одну из наиболее удачных формулировок выбирают эксперт или руководитель.

Этот этап синекторы называют формулировкой «проблемы как ее понимают».

Ведут генерирование идей решений проблемы в той ее формулировке, на которой оставлен выбор.

Фактически на этом этапе ищется новая точка зрения на рассматриваемую проблему. При этом синектический процесс состоит в попытках превратить незнакомое в знакомое и наоборот — превратить знакомое в незнакомое.

Процесс превращения неизвестного в известное ведет за собой огромное разнообразие решений, но требование новизны — это, как правило, требование новой точки зрения, взгляда на проблему. Большинство из проблем не являются новыми. Смысл в том, чтобы сделать их новыми, создав тем самым потенциал для выхода на новые решения.

Превратить знакомое в незнакомое — означает исказить, перевернуть, переменить повседневный взгляд и реакции на вещи, события.

Для этого синекторы используют четыре вида аналогий: личная, прямая, символическая и фантастическая.

Личная аналогия или эмпатия — отождествление себя с исследуемым объектом. Решающий задачу вживается в образ совершенствуемого объекта, пытаясь выяснить возникающие

при этом ощущения. Для развития личной аналогии целесообразно последовательно использовать три приема:

- ♦ описание фактов воображаемого положения исследуемого объекта от первого лица;
- ♦ описание эмоций и чувств, приписываемых объекту, от первого лица;
- ♦ эмпатию, отождествление себя с исследуемым объектом, вживание в его цели, функции, трудности.

При *прямой аналогии* рассматриваемый объект сравнивается с более или менее аналогичным из другой отрасли или из живой природы.

Применение прямой аналогии — это свободный ассоциативный поиск в огромном внешнем мире, основанный на родстве выполняемых в различных областях жизни функций, процедур.

Символическая аналогия — некоторая обобщенная, абстрактная аналогия. Цель символической аналогии — обнаружить в привычном парадокс, неясность, противоречие. Требуется в парадоксальной форме сформулировать фразу, отражающую суть явлений. Она должна выражать связь между словами, которые обычно никак друг с другом не сопоставляются, и содержат в себе нечто неожиданное, удивительное. Достигается это тем, что каждое из слов является характеристикой предмета, а в целом они образуют противоречие. Вернее, являются противоположностями.

Например, для объекта — паркет символическая аналогия может быть представлена так: «скользкое трение, целая дробность, блестящая шероховатость и т.д.»

При *фантастической аналогии* вводятся фантастические персонажи, средства, которые выполняют то, что требуется по условиям задачи.

Фантастические аналогии способствуют генерации свежих и оригинальных идей, активизируют творческое мышление, но не имеют точного определения.

Далее производят перенос обнаруженных в процессе генерации новых идей к 1-му или 2-му этапу и выявляют их возможности. Важным элементом этого этапа является критическая оценка экспертов.

Заключительный этап синектического заседания — развитие и максимальная конкретизация идеи, признанной наиболее удачной, и описание ее на специальном (техническом, семантическом и др.) языке.

5.3. ФОРМАЛИЗОВАННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД

Понятие физического противоречия занимает центральное место в концепции параметрического метода [15]. Сущностью метода является выявление и устранение физических противоречий, присущих исходной системе. Под физическим противоречием понимается взаимоисключающие требования, предъявляемые к элементу системы, состоящие в том, что один из характеризующих его параметров должен иметь два различных значения. При этом параметр элемента системы называется узловым параметром, а характеризуемый им элемент — узловым элементом.

Очевидно, что для одновременного улучшения каких-либо двух противоречивых показателей системы необходимо заметить соответствующий им узловой элемент объектом, удовлетворяющим требованиям, зафиксированным в физическом противоречии.

В общем случае базу параметрического метода образуют системы, выполняющие ту или иную функцию и удовлетворяющие требованиям какого-либо физического противоречия.

Применение метода возможно в двух вариантах: эвристический (с «ручным» алгоритмом решения поисковых задач) и направленный (с применением «машинных» алгоритмов).

Все элементы базы эвристического варианта параметрического метода описываются только по одному признаку — «удовлетворять требованиям физического противоречия». А

признак «выполнять функцию...» определяется пользователем в результате анализа производных систем на предмет однофункциональности с исходной системой. Схема метода представлена на рис. 5.1.



Рис. 5.1. Блок-схема параметрического метода

S_0 — исходная система; MM — математическая модель S_0 ;

(Π_1, Π_2) — противоречивые показатели; Ψ — физическое противоречие;

$\{O^*\}$ — база эвристического варианта параметрического метода;

ФС — функциональная структура S_0 ; $\{S\}$ — множество производных систем;

$\{S^f\}$ — множество систем, однофункциональных с исходной;

$\{S\}$ — исходное множество систем.

Главная трудность состоит в формировании множества $\{O^*\}$ — базы эвристического варианта параметрического метода.

В основу формирования базы данных положен принцип выбора из множества объектов с парными свойствами, т.е. объектов, удовлетворяющих требованиям соответствующего физического противоречия.

В описании объекта с парными свойствами указываются как сами эти свойства, так и условия их реализации.

В работе [15] приводятся 14 эвристических приемов устранения физических противоречий, при этом, чем меньше номер приема, тем выше вероятность с его помощью устранить физическое противоречие.

Прием 1. Заменить узловой элемент системой, состоящей из двух элементов, каждый из которых характеризуется одним из значений параметра, указанного в формуле физического противоречия (ФФП).

Прием 2. Заменить узловой элемент объектом, различные части которого имеют различные значения параметра, указанного в ФФП.

Прием 3. Заменить узловой элемент системой, состоящей из множества одинаковых элементов, каждый из которых характеризуется одним значением параметра, указанного в ФФП, а система в целом — другим значением.

Прием 4. Заменить узловой элемент объектом, который характеризуется двумя параметрами, аналогичными узловому параметру, каждый из которых имеет одно из значений, указанных в ФФП.

Прием 5. Изменить условия, в которых находится узловой элемент, таким образом, чтобы его различные части имели различные значения параметра, указанного в ФФП.

Прием 6. Изменить условия, в которых находится узловой элемент, таким образом, чтобы на различных стадиях (фазах) жизненного цикла исходной системы он характеризовался различными значениями параметра, указанного в ФФП.

Прием 7. Заменить узловой элемент объектом, который на различных стадиях (фазах) жизненного цикла исходной системы характеризуется различными значениями параметра, указанного в ФФП.

Прием 8. Заменить узловой элемент объектом, который претерпевает превращение (например, фазовое) в другой объ-

ект, при этом каждый из них характеризуется одним из значений, указанным в ФФП.

Прием 9. Включить узловой элемент в состав системы, которая характеризуется одним значением параметра, указанного в ФФП, а узловой элемент — другим значением.

Прием 10. Заменить узловой элемент объектом, который характеризуется параметром, аналогичным узловому параметру, с таким значением, что его по отношению к различным внешним объектам можно было бы считать «различным».

Прием 11. Изменить условия, в которых находится узловой элемент, таким образом, чтобы он превратился (например, за счет фазового перехода) в другой объект, причем перед превращением он характеризовался бы одним значением параметра, указанного в ФФП, а после превращения — другим значением.

Прием 12. Изменить условия, в которых находится узловой элемент, таким образом, чтобы одна из его частей претерпевала превращения (например, за счет фазового перехода) в другой объект, который характеризуется одним значением параметра, указанного в ФФП, а оставшаяся часть узлового элемента — другим элементом.

Прием 13. Изменить условия, в которых находится узловой элемент, таким образом, чтобы он характеризовался двумя различными параметрами, аналогичными узловому параметру, каждый из которых имел бы одно из значений, указанных в ФФП.

Прием 14. Рассмотреть узловой элемент как систему, которая характеризуется одним значением параметра, указанного в ФФП, а одним из ее элементов — другим значением.

Выбор приемов осуществляется в соответствии с рекомендуемыми правилами [6]:

Если указанные в ФФП показатели характеризуют исходную систему на различных стадиях и фазах жизненного цикла (изготовление, транспортировка, хранение, функционирова-

ние, ремонт и т.п.), то лучшие результаты дает применение приемов устранения физического противоречия «во времени» — приемы 6, 7, 8, 11.

Если указанные в ФФП показатели одновременно присущи исходной системе, то лучшие результаты дает применение приемов устранения физического противоречия «в пространстве» — приемы 1, 2, 5, 12.

Если по условиям поисковой задачи замена узлового элемента недопустима, то лучшие результаты дает применение приемов «изменение условий» — приемы 5, 6, 9, 11, 12, 13.

Если требования к узловому элементу сформулированы с точки зрения различных внешних объектов или исходя их различных систем отсчета, то наилучшие результаты дает применение приемов «в отношении» — приемы 10, 14.

Если требуется получить наиболее простое решение поисковой задачи, то наилучшие результаты дает применение приемов 3, 4 и 10.

МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ МЕТОД И ЕГО МОДИФИКАЦИИ

Суть метода заключается в следующем [29]. В совершенствуемой системе выделяют несколько характеристик структурных или функциональных морфологических признаков. Каждый признак может характеризовать какой-то параметр или характеристику системы, от которых зависит решение проблемы и достижение основной цели.

По каждому выделенному морфологическому признаку составляют список его различных конкретных вариантов, альтернатив. Признаки с их альтернативами можно располагать в форме таблицы, называемой морфологическим ящиком, что позволяет лучше представить себе поисковое поле. Перебирая всевозможные сочетания альтернативных вариантов выделен-

ных признаков, можно выявить новые варианты решения задачи, которые при простом переборе могли быть упущены.

Метод предусматривает выполнение работ в пять этапов [29]:

Первый этап. Точная формулировка задачи (проблемы), подлежащей решению.

Если первоначально ставится вопрос об одной конкретной системе, метод непосредственно обобщает изыскания на все возможные системы с аналогичной структурой и в итоге даст ответ на более общий вопрос.

Второй этап. Составление списка всех морфологических признаков, т.е. всех важных характеристик объекта, его параметров, от которых зависит решение проблемы и достижение основной цели.

Третий этап. Раскрытие возможных вариантов по каждому морфологическому признаку (характеристике) путем составления матрицы.

Каждая из N характеристик (параметров, морфологических признаков) обладает определенным числом K_i различных вариантов, независимых свойств, форм конкретного выражения. Тогда полное число решений, составленное из совокупности всех возможных вариантов, определяется как произведение K_i . В каждой точке N мерного пространства, характеризуемой N конкретными координатами, находится одно возможное решение.

Четвертый этап. Определение функциональной ценности всех полученных вариантов решений.

Это наиболее ответственный этап метода. Должны быть рассмотрены все N вариантов решений, вытекающих из структуры морфологической таблицы, и проведено их сравнение по одному или нескольким наиболее важным для данной системы показателям.

Пятый этап. Выбор наиболее рациональных конкретных решений.

Нахождение оптимального варианта может осуществляться по лучшему значению наиболее важного показателя системы.

Трудности применения морфологического анализа заключаются в том, что не существует какого-либо действительно практического и универсального метода оценки эффективности того или иного варианта решения.

К модификациям морфологического метода относятся:

- ◆ метод организующих понятий;
- ◆ метод «матриц открытия»;
- ◆ метод десятичных матриц поиска;
- ◆ метод семикратного поиска.

Метод организующих понятий

Метод организующих понятий включает [6, 49, 65]:

- ◆ установление организующих понятий и определение их отличительных признаков;
- ◆ классификацию организующих понятий по степени их важности;
- ◆ проведение наглядных сопоставлений организующих понятий с их отличительными признаками и разработку на этой основе руководящего материала для возможных решений, соответствующих выбранным ограничениям;
- ◆ оценку признаков в отношении их соответствия специальным требованиям задачи;
- ◆ комбинацию признаков различных организующих понятий в решения.

Каждая комбинация отличительных признаков (по одному от каждого организующего понятия) дает один вариант решения. Для облегчения поиска рациональных комбинаций предлагаются приемы, аналогичные приемам составления морфологических матриц.

Метод «матриц открытия»

Суть метода заключается в построении таблицы, в которой пересекаются два ряда характеристик. Если в морфологическом анализе все выбранные характеристики относятся к строению объекта, то в этом методе часть из них может касаться, например, условий потребления, производства, эксплуатации и т.д. Сам метод не дает законченных решений, но создает возможность для ассоциаций, постановки новых проблем.

Метод десятичных матриц поиска

Метод включает поиск новых технических решений на основе анализа результатов систематического применения десяти эвристических приемов к каждому из десяти показателей технической системы.

В качестве основных выделены следующие десять групп показателей технической системы [29]:

Геометрические (длина, ширина, высота, площадь и т.д.).

Физико-механические (вес, прочность, эластичность и др.).

Энергетические (вид энергии, КПД и др.).

Конструктивно-технологические.

Надежность и долговечность.

Эксплуатационные (производительность, точность, стабильность параметров и др.).

Экономические (себестоимость, трудовые затраты, потери и др.).

Степень стандартизации и унификации.

Удобство обслуживания и безопасность (шум, вибрации, освещенность, температура и др.).

Художественно-конструкторские (гармоничность, масштабность).

Для преобразования основных показателей используют десять групп эвристических приемов [29]:

Неология — перенос в данную отрасль техники новых для нее значений основных показателей технических объектов.

Адаптация — приспособление известных процессов, конструкций, форм, материалов и их свойств к данным конкретным условиям.

Мультипликация — умножение, увеличение основных показателей.

Дифференциация — связана с дифференциацией показателей (дробление, разделение, очистка и т.д.).

Интеграция — связана с интеграцией показателей (сложение, соединение, смешивание, сближение и т.д.)

Инверсия — изменение порядка на противоположный, обращение, выворачивание и т.д.

Импульсация — связана с импульсивными изменениями показателей технических объектов.

Динамизация — связана с динамизацией, изменением во времени веса, температуры, размеров, цвета и других показателей технических объектов.

Аналогия — отыскание и использование сходства, подобия в каком-либо отношении показателей данного технического объекта и известных объектов.

Идеализация — приближение показателей технического объекта к идеальным.

Такая классификация позволяет построить десятичную матрицу поиска, в строках которой записаны основные изменяемые показатели, характеристика технического объекта, а в столбцах — основные группы эвристических приемов (матрица 10 x 10).

Каждая ее ячейка соответствует определенному изменению какого-либо из основных параметров объекта и готовых технических решений, еще не содержит, но способствует возникновению ассоциаций, активизирует поиск идеи решения.

Метод семикратного поиска

Особенностью метода является деление всех стадий и элементов процесса поиска решений на 7 частей, что связано со способностями человеческого мозга воспринимать и эффективно перерабатывать информацию в названных пропорциях [29].

Стратегия поиска состоит из анализа проблемной ситуации и общественных потребностей, анализа функций аналогов и прототипа, постановки задачи, генерирования идей и выбора эвристических средств, конкретизации идей, оценки вариантов и выбора оптимального, упрощения, развития и реализации решения. Тактическая часть — многочисленные приемы, применяемые на разных стадиях решения. Среди них используется прием «семи ключевых слов» и таблицы, аналогичные десятичным матрицам поиска, но размером 7×7 .

КОМБИНАТОРНЫЙ МЕТОД

Комбинаторный метод является усовершенствованием морфологического метода [14, 66]. Примерную схему комбинаторного метода можно представить следующим образом [29].

С помощью анализа сначала следует определить в объекте рабочий орган. Этому способствует само наименование объекта, определение его основной функции, восприятие физической сути исполнения этой функции, воображение. Рабочий орган должен иметь мало частей (элементов).

Выделив рабочий орган, следует составить сопоставимые перечни вариантов по отдельным признакам. Первые перечни выделяются для составных частей рабочего органа. Зачастую одну из этих частей можно вообразить себе как рабочую среду

(жидкость, газ) в которой помещаются другие части рабочего органа. При этом необходимо знать, из какого материала она образована. Такой же перечень в случае надобности может быть составлен и для других, уже установленных частей рабочего органа. Составляют перечни для характеристики их материала. После этого выделяется перечень для описания геометрической формы рабочего органа.

Затем переходят к структуре рабочего органа. Выделяются перечни для взаимного расположения его частей (в ней структуру изображают графически), для перечисления сочетаний подвижных и неподвижных частей рабочего органа.

В случае необходимости образуются другие перечни, относящиеся к структуре рабочего органа. Последние предусматриваются для определения взаимосвязи частей рабочего органа. Здесь возможны три случая: в первом — части рабочего органа двигаются механически; во втором — на части рабочего органа воздействуют не механически, а при помощи энергии поля (в данном случае выделяют перечень энергии поля, которая воздействует на рабочий орган); в третьем — на части рабочего органа воздействуют механически и при помощи энергии поля, которая в данном случае будет изменять рабочие характеристики объекта.

Установлено, что самые важные перечни следующие: агрегатное состояние среды (а также некоторых частей рабочего органа) и средство для осуществления движения частей рабочего органа (или энергию поля).

При наличии сопоставимых перечней для вариантов признаков переходят к синтезу: берут по одному варианту из каждого перечня и находят решения. Если решения получились работоспособные, их оценивают. Оценить решения помогает перечень целей объекта.

Несколько другой подход к комбинаторному методу рассмотрен в работе [14]. Алгоритм метода представляется следующим образом:

- ♦ определите, какой цели надо достичь, чтобы разрешить рассматриваемую проблемную ситуацию;
Под целью понимается любое желательное изменение элемента среды (результат функционирования проектируемой системы).
- ♦ определите среду, в которой будет функционировать проектируемая система;
Под средой функционирования будем понимать то или иное явление, указанное (явно или неявно) в ситуационной части проблемной ситуации.
- ♦ сформулируйте функцию проектируемой системы в общетехнических терминах;
- ♦ сформулируйте на основании функции проектируемой системы задачу формирования принципов действия.

Таким образом, рассмотренный подход состоит в сведении проблемной ситуации к задаче формирования принципов действия. Эту задачу можно решить только с помощью методов, имеющих базу знаний, элементами которой должны быть эффекты. Искомый принцип действия ищут с помощью комбинирования элементарных эффектов. Процесс комбинирования осуществляется по определенным правилам, которые должны обеспечить формирование таких совокупностей эффектов, которые будут согласованы как между собой, так и с условиями решаемой задачи.

МЕТОДЫ ЛОГИЧЕСКОГО ПОИСКА

Метод И — ИЛИ — дерево

Метод И — ИЛИ — дерево представляет собой удачный симбиоз системного и морфологического подходов к проблеме выбора цели творческой деятельности [2, 60, 65].

Системное представление объекта требует, чтобы исследователь мысленно видел объект в трех аспектах: как нечто целое, как часть более общей системы (надсистемы) и как совокупность более мелких частей (элементов подсистемы). При этом в надсистеме следует просмотреть и все ее составные части, так или иначе связанные с системой. Фактически объект представляется в виде трехэтажной структуры (рис. 5.2).

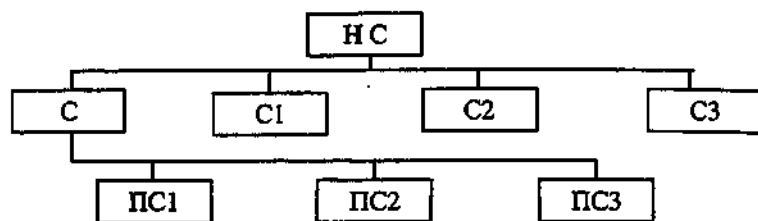


Рис. 5.2. Структурная схема надсистем и систем.

Конкретная надсистема (НС) в данном случае представлена функционально значимыми системами (C; C1; C2; C3). Однако каждая из этих внутренних функций надсистемы, приписанных соответствующим системам, может быть выполнена не единственным способом. Это значит, что в частности, связь НС — C можно представить в более полном виде (рис. 5.3).

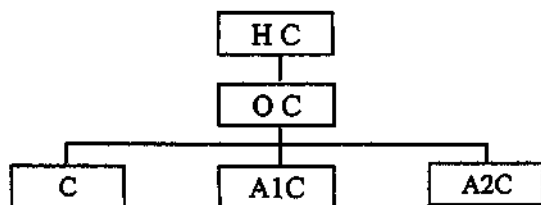


Рис. 5.3. Структурная схема с альтернативными реализациями.

Здесь ОС — обобщенное наименование системы C типа «система для реализации функции Ф». C, A1C, A2C — альтернативные варианты конкретных систем, способных реализовать функцию Ф. Если те же операции провести со всеми системами, то получится структура (дерево), в которой надсистема НС расчленена на функционально значимые обоб-

щенные системы ОС1, ОС2, ОС3. Этажом ниже представлены все альтернативные варианты реализации каждой из обобщенных систем (С, А1С, А2С, С1, А1С, А2С, ...). Нижний из этих трех этажей (на котором расположена и наша исходная система С) включает в себя только альтернативы и называется ИЛИ-этажом. Это нулевой этаж.

На первом этаже альтернатив нет, есть взаимосвязанные обобщенные системы, в совместном функционировании обеспечивающие существование надсистемы НС, поэтому первый этаж — И-этаж.

Дальше построение И — ИЛИ — дерева ведется по тем же правилам: каждая из систем нулевого этажа расчленяется на функциональные обобщенные подсистемы (тем самым формируется 1-й этаж типа «И»), и для каждой из этих подсистем создается комплект альтернативных ее реализаций (тем самым формируется 2-й этаж типа «ИЛИ»).

Эту процедуру попарного добавления этажей можно, вообще говоря, продолжать и вверх, и вниз.

Видно, что при каждом продвижении вниз число элементов этапа сильно возрастает (обычно в 3 ... 5 раз).

Требования системного подхода однозначно требуют построения 5-этажного дерева, это — тот минимум, который соответствует принципу делимости системы.

Однако реальные задачи допускают отклонения от этого правила.

Элемент дерева можно не развивать в нижние этажи в двух случаях [29]:

- ♦ если рассматриваемый элемент непосредственно не связан с исходным объектом и если особенности функционирования этого элемента заведомо не могут дать ничего ценного для понимания функционирования исходного объекта;

- ◆ если рассматриваемый элемент тривиален или если существующий вариант его исполнения устраивает исследователя во всех отношениях.

Элемент дерева можно не развивать в верхние этажи, если очередной этап обобщения выводит исследователя в другой класс человеческой деятельности.

Обычно верхняя граница И — ИЛИ — дерева определяется достаточно четко и однозначно: нижняя граница, наоборот, для разных ветвей может располагаться на самых разных уровнях.

Метод логического мышления

Ясное мышление — это логическое мышление [4]. Это процесс рассуждения, при котором одно доказательство вытекает из другого и в результате делаются правильные выводы. Ясное мышление — аналитическое: просеивание информации, отбор нужной, выявление взаимосвязей и доказательство их существования.

Ясное мышление — логический подход к решению проблемы, принятию решения и представлению своей идеи — это важное свойство хорошо работающего руководителя.

Когда мы формируем предложение или утверждение, мы обобщаем то, что наблюдали до сих пор — результаты наших анализов или опыта — и исходя из этого делаем выводы о том, чего не наблюдали. Кроме того, мы обращаемся к свидетельствам — наблюдениям и опыту других людей.

В логическом мышлении главное — избегать ошибочности и обманчивости аргументов, т.е. заблуждений.

Заблуждения — это необоснованные аргументы, ведущие к ошибке в рассуждениях или неправильному мнению.

Основные заблуждения, которые необходимо избегать или замечать в аргументах других людей — это [4]: огульные утверждения; заморенность мышления; предвзятая, односторон-

ная аргументация; свехупрощение; ложные выводы; считать спорный вопрос не требующим доказательств; ложные аналогии; использование двусмысленных слов; искаженная логика.

Остановимся более подробно на ложных выводах и аналогиях, искаженной логике.

Ложные выводы. Одно из наиболее частных заблуждений — это утверждение, что, поскольку что-то произошло или может произойти, все остальное должно происходить таким образом.

Суждение о нескольких событиях оборачивается суждением обо всех событиях такого рода. Вывод не следует из посылки.

Наиболее распространенная форма такого заблуждения это то, что логики называют «нераспространяющимся средним». Это относится к традиционным силлогизмам, состоящим из посылки среднего элемента и вывода.

Верный силлогизм выглядит следующим образом:

Посылка: Все коровы — четвероногие.

Средний элемент: Все четвероногие — позвоночные.

Вывод: Все коровы — позвоночные.

Это может быть представлено так:

Посылка: Все А — Б.

Средний Элемент: Все Б — В

Вывод: Все А — В.

Это логика. Средний элемент неограниченно распространяется. Все, что относится к А, относится также и к Б, все, что относится к Б, относится также и к В, следовательно, все, что относится к А, должно также относиться к В.

Неверный силлогизм принимает следующую форму:

Все коровы — четвероногие.

Все мулы — четвероногие.

Следовательно, все коровы — мулы.

Это — ложные утверждения, поскольку несмотря на то, что все относящееся к А и В, относится также и к Б, в их отношении к Б нет ничего, что объединяло бы А и В.

Ложные аналогии. Аналогии лежат в основе большей части нашего мыслительного процесса. Мы обращаем внимание на то, что два случая сходны между собой в определенных отношениях и затем подразумеваем, что это сходство распространяется и дальше. Целью аналогий является также понимание необычных предметов.

Аналогии можно использовать ложным образом, как действительные аргументы без каких бы то ни было реальных доказательств.

В споре по аналогии мы утверждаем, что если:

x — обладает свойствами a_1, a_2, a_3 и b , и

y — обладает свойствами a_1, a_2, a_3 , то, следовательно,

y — также обладает свойством b .

Это может оказаться справедливым до тех пор, пока y не приобретает свойств, несовместимых с b , — в этом случае аргумент необоснован.

Аналогии можно использовать для того, чтобы подсказать нужный вывод, но не для того, чтобы его утверждать.

Искаженная логика. Искажение логики не настолько плохо, но может равным образом привести к ошибочным результатам.

Она включает в себя такие приемы, как:

- ♦ отбор примеров, благоприятных для данного утверждения при игнорировании тех, что его опровергают;
- ♦ передергивание аргумента, выдвигаемого оппонентами, таким образом, что он приобретает значение, которого не имел изначально — вкладывание своих слов в чужие уста;
- ♦ опровержение оппонентов, обнаруживая на них залпы доказательств, которых они не высказывали;
- ♦ преднамеренное игнорирование темы спора;
- ♦ повторение того, что было отвергнуто, и игнорирование того, что было принято.

МЕТОД «БУКЕТА ПРОБЛЕМ»

Метод «букета проблем» состоит в том [14], что, основывая на исходной формулировке проблемы, рассматривают несколько иных проблем, формулируя тем самым группу или «букет проблем», состав которых таков:

ПКД — Проблема, Как она Дана. Это исходная формулировка.

ПОВ — Проблема в Общем Виде. Наша частная задача может быть обобщена не единственным образом. Существует простой алгоритм, позволяющий получить обобщенные формулировки при разных уровнях обобщения. Для его реализации делят исходную формулировку на смысловые группы, затем для каждой из смысловых групп пытаются подобрать более общее понятие. Если для N смысловых групп исходной формулировки операция прошла успешно, то после этого можно сформировать N обобщенных формулировок первого уровня (когда в исходной формулировке только одна смысловая группа заменена обобщенным ее выражением), $N(N-1)/2$ обобщенных формулировок второго уровня (заменены более общими две смысловые группы) и т.д.

ПА — Проблема — Аналог. Уяснив себе функцию, действие, которое требуется осуществить в исходной задаче, следует мысленно посмотреть, где, в каких областях человеческой деятельности (или в каких природных явлениях, в животном или растительном мире) возникает необходимость в таком же действии или такой же функции и как эти проблемы решены там. Очевидно, проблем-аналогов можно найти очень много. Наибольшую эвристическую ценность представляют в данном случае аналоги, найденные в областях, достаточно далеких от исходной.

ПФВ — Проблема на уровне Физических Взаимодействий. Затруднение, вызвавшее исходную проблему, обычно связано

с тем, что какой-либо объект или часть его не обладает теми свойствами или теми возможностями, которые позволили бы снять или решить исходную проблему. Поэтому на данном этапе полезно посмотреть, а что в объекте или его окружении можно было бы изменить так, чтобы исходная проблема либо исчезла вообще, либо решилась тривиально. Иногда это — изменение каких-либо физических свойств объекта, иногда приходится привлекать геометрию или химию, а иногда достаточно изменить какие-либо временные или организационные характеристики процесса или системы. В общем, нужно проблему разделить на элементарные взаимодействия и попытаться их изменением разрешить ситуацию. Очевидно, список ПФВ может быть достаточно велик.

ОП — Обратная Проблема. Иногда формулирование обратного, противоположного действия наводит на решение прямой проблемы. Между прочим, обратная проблема может быть и не в единственном варианте, так как отрицать можно не только действие целиком, но и часть его.

Метод «букета проблем» хорошо работает на задачах любого уровня и из любой сферы человеческой деятельности. Конкретные примеры использования метода рассмотрены в работе [14].

МЕТОДЫ ПОИСКА НОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Алгоритм решения изобретательских задач (АРИЗ)

Смысл АРИЗ состоит в том, чтобы путем сравнения идеального и реального выявить техническое противоречие или его причину — физическое противоречие — и устранить (разрешить) их, перебрав варианты их устранения.

Стратегия решения изобретательской задачи по АРИЗ состоит в следующем [29].

Формулируют исходную задачу в общем виде. Обрабатывают и уточняют ее, учитывая действие вектора психологической инерции и технические решения в данной и других областях: Излагают условия задачи, состоящей из перечисления элементов технической системы и нежелательного эффекта, производимого одним из элементов. Затем формулируют по определенной схеме идеальный конечный результат, который служит ориентиром. В сравнении с идеальным конечным результатом реального технического объекта выявляется техническое противоречие, а затем его причина — физическое противоречие.

К недостаткам АРИЗ относят то, что он чрезвычайно трудоемкий, не предусмотрено решение задач синтеза, а также отсутствует анализ структуры противоречия технической системы.

Обобщенный алгоритм поиска новых технических решений

Обобщенный алгоритм поиска новых технических решений детально изложен в работах [2, 46].

Алгоритм состоит из 17 этапов (см. рис. 5.4, табл. 5.1, табл. 5.2), при прохождении которых используется большой информационный аппарат, состоящий из восьми массивов информации. Хранение их в памяти ЭВМ обеспечивает быстрый поиск нужных вариантов на каждом этапе решения задачи.

Рассмотрим сущность информационных массивов (таблица 5.1) [46].

Массив 1 (M1): Список требований, предъявляемых к техническим решениям, включает как общие, применимые к решениям в различных отраслях техники, так и частные тре-

бования, относящиеся к конкретным решениям. Источниками для составления такого списка являются требования, сформулированные в ГОСТах, нормативах и технических условиях на различные виды изделий, а также специализированные перечни требований, обеспечивающие минимизацию стоимости изготовления, габаритов веса, потребности в энергии и т.д. (некоторые перечни содержат более 800 требований). На начальных этапах решения, задачи используют обычно общие требования, а на этапах анализа и выбора технического решения, кроме них, включают также конкретные и частные.

Таблица 5.1

Массивы информации

Обозначение	Название
1	2
M1	Список требований, предъявляемых к техническим решениям
M2	Список методов выявления недостатков в технических решениях
M3	Фонд физических эффектов
M4	Фонд технических решений, включая последние запатентованные
M5	Список методов выявления причин возникновения недостатков в технических решениях
M6	Фонд эвристических приемов
M7	Список поисковых процедур
M8	Список методов оценки и выбора вариантов технических решений

Массив 2 (M2). Список методов выявления недостатков в технических решениях содержит разнообразные приемы и методы, вскрывающие их в объектах различных отраслей техники: от внешнего осмотра до проведения специальных испытаний. Часть методов общеизвестна, источниками других являются отраслевые стандарты, руководящие материалы по

проектированию и изготовлению конкретных изделий, различные технические условия.

Массив 3 (М3). Фонд физических эффектов. В фонде физических эффектов должны быть все известные на данное время науке, а также практике физические, физико-химические и прочие эффекты и явления.

Массив 4 (М4). Фонд технических решений содержит наиболее эффективные технические решения из всех отраслей техники, включая последние запатентованные.

Массив 5 (М5). Список методов выявления причин возникновения недостатков в технических решениях (объектах) включает известные методы анализа неудовлетворительного выполнения основных функций, отказов, разрушений объектов или их элементов в различных отраслях техники.

Массив 6 (М6). Фонд эвристических приемов содержит описание перечня из 420 эвристических приемов, в которые входят 826 поисковых процедур. Назначение фонда — конструктивно-технологические преобразования объектов и их элементов в процессе решения задачи.

Массив 7 (М7). Список поисковых процедур включает ряд процедур из известных методов поиска новых технических решений, из материалов по инженерному проектированию и личного опыта изобретателей.

Массив 8 (М8). Список методов оценки и выбора вариантов технических решений содержит те из них, которые применяются в зависимости от требований к искомому техническому решению. Наиболее распространены методы экспертной оценки.

Выделяются два типа решаемых задач: устранение недостатков известных объектов и поиск принципиально нового объекта (задача синтеза). Алгоритм поиска одинаков для обоих типов задач (табл.5.2).

Таблица 5.2

Этапы обобщенного алгоритма

Обозначение	Название	Используемый массив информации
1	2	3
E1	Определение общественной потребности	M1, M2
E2	Определение цели решения задачи	
E3	Предварительное изучение задачи	M3, M4
E4	Сбор и анализ информации о задаче	M4
E5	Исследование задачи	
E6	Выбор параметров объекта и предъявляемых к нему ограничений (требований)	M1
E7	Уточнение формулировки задачи	
E8	Формулировка конечного результата	
E9	Выявление технических и физических противоречий в технической системе	M5
E10	Выбор поисковых процедур и эвристических приемов	M6, M7
E11	Поиск идей решения задач	
E12	Анализ и проработка идей решений задач	M3, M4
E13	Выбор рациональных вариантов ТР	
E14	Выбор наиболее рационального варианта	M8
E15	Развитие и упрощение технического решения	M6
E16	Анализ технико-экономической эффективности найденного технического решения	M4
E17	Обобщение результатов решения задачи	

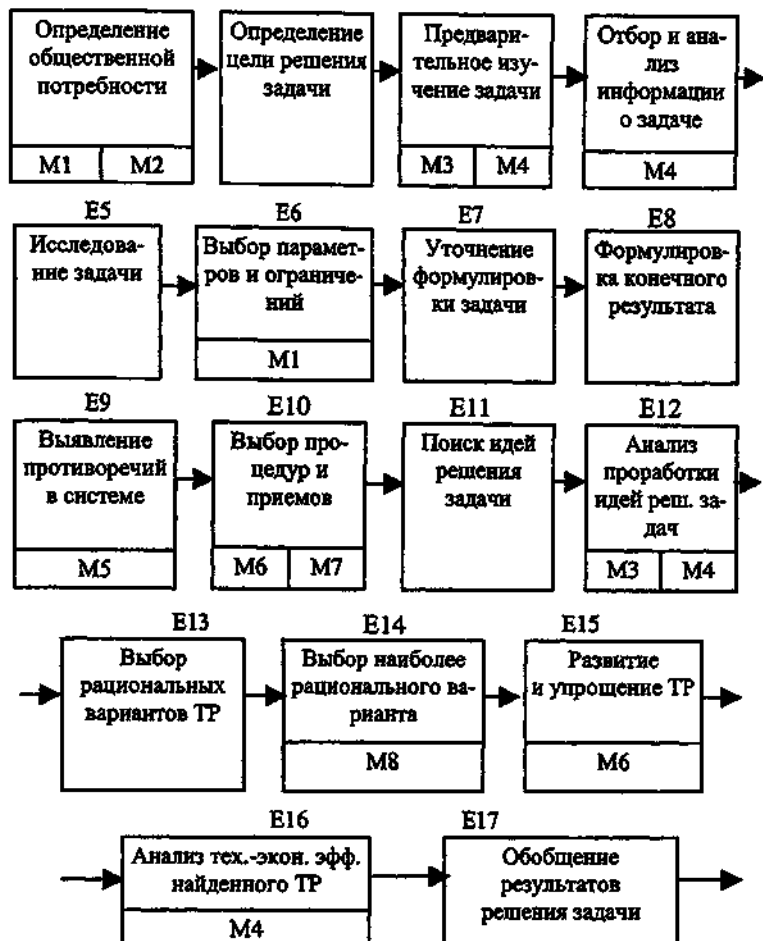


Рис. 5.4. Структурная схема обобщенного алгоритма поиска новых технических решений.

5.4. СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

СУЩНОСТЬ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Сущность. В статистическом анализе производится обработка некоторой случайной выборки, под которой понимаются результаты N последовательных и независимых экспериментов со случайной величиной или событием. Выборка должна быть *состоятельной* (презентативной), т.е. чтобы объем обрабатываемой информации был достаточен для получения результатов с требуемой точностью и надежностью.

Область применения. Используется для исследования процессов и объектов по результатам массовых экспериментов со случайными величинами или событиями. Примером статистического характера процесса может служить появление неисправностей при работе технической системы управления, а исследование случайностей как инструмента исследования может иллюстрировать вероятностные методы поиска экстремума некоторой функции.

Наиболее употребительными методами статистического анализа систем управления являются: регрессионный анализ; корреляционный анализ; дисперсионный анализ; ковариационный анализ; анализ временных рядов; метод главных компонент; факторный анализ.

РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ

Регрессионный анализ ставит своей задачей исследование зависимости одной случайной величины от ряда других случайных и неслучайных величин (регрессия — зависимость математического ожидания случайной величины от значений других случайных величин). Например, после проведения N экспериментов на статистической модели получен набор реализаций случайных величин $\{X_i, Y_i\}$, $i = 1, 2, 3, \dots, n$, где X является независимой переменной, а Y — функцией. Обработка этого массива случайных величин позволяет их представить в виде детерминированной линейной регрессивной модели типа [17]:

$$Y = a + bY, \quad (3.1)$$

где коэффициенты a и b рассчитываются согласно методу наименьших квадратов таким образом, чтобы квадраты отклонений случайных величин Y_i от значений функций (3.1) на множестве X_i были наименьшими, т.е.

$$\sum_{i=1}^N (Y - Y_i)^2 = \min. \quad (3.2)$$

В случае нескольких независимых переменных регрессивная модель представляется линейным полиномом

$$Y = a + \sum_{j=1}^k b_j x \Delta x_j; \Delta x_j = (x_j - x_j^{(0)}), j = 1, 2, 3, \dots, k, \quad (3.3)$$

где $x_j^{(0)}$ являются «базовыми» значениями всех k переменных, в окрестностях которых анализируется характер исследуемого процесса.

Выражение (3.3) представляет собой линейную функцию, однако, если значения Δx_j достаточно велики или функция Y существенно нелинейна, то можно использовать разложение более высокого порядка [69].

При анализе регрессионной модели (3.3) значения коэффициентов b_j показывают степень влияния j -й переменной на функцию Y , что позволяет разделить все переменные на «существенные» и «несущественные». Однако наибольший интерес регрессионная модель представляет для прогноза поведения функций Y . В практической деятельности регрессионный анализ часто используется для создания так называемой эмпирической модели, когда, обрабатывая результаты наблюдений (или характеристики существующих систем), получают регрессионную модель и используют ее для оценки перспективных систем или поведения системы при гипотетических условиях [42].

Точность и надежность получаемых оценок зависят от числа наблюдений (реализаций, экспериментов) и расположения прогностических значений x_j относительно базовых (т.е. известных на некоторый момент времени) $x_j^{(0)}$. Чем больше разность Δx_j , тем меньше точность прогноза.

КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ

Корреляционный анализ используется для определения степени линейной взаимосвязи между случайными величинами (корреляция — зависимость между случайными величинами, выражающая тенденцию одной величины возрастать или убывать при возрастании или убывании другой).

Основными задачами корреляционного анализа являются оценка корреляционных характеристик и проверка статистических гипотез о степени (значимости) связи между случайными величинами.

Корреляционной характеристикой является коэффициент корреляции, равный математическому ожиданию произведения отклонений случайных величин x_i и x_j от своих математических ожиданий и нормированный относительно среднеквадратических отклонений данных случайных величин.

Если число случайных величин больше двух ($r > 2$), то составляется квадратная корреляционная матрица размером $(r \times r)$, элементами которой являются коэффициенты корреляции k_{ij} , а диагональные элементы равны единице (т.е. $k_{ij} = 1$). Коэффициенты корреляции изменяются от нуля до единицы, и чем больше его значение, тем теснее связь между случайными величинами.

Оценка коэффициентов корреляции рассчитываются по значениям оценок математических ожиданий и среднеквадратических отклонений, полученных путем статистической обработки результатов реализаций случайных величин [11, 26].

ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ

Дисперсионный анализ используется для проверки статистических гипотез о влиянии на показатели качественных факторов, т.е. факторов, не поддающихся количественному измерению (например, качественный фактор — организация производства, влияющий на количественный показатель — прибыль от производства). В этом заключается его отличие от регрессионного анализа, в котором факторы выступают как параметры, имеющие количественную меру (например, количественный фактор — затраты на производство).

В дисперсионном анализе качественный фактор представляется j -ми возможностями состояниями (например, возможными схемами организации производства), для оценки которых по каждому из них проводится n_j экспериментов

$$\left(\sum_{j=1}^j n_j = N \right) [42].$$

Далее рассчитываются статистические оценки в каждой n_j группе экспериментов и в общей выборке N , а затем анализируется соотношение между ними. По этому соотношению принимается или отвергается гипотеза о влиянии качественного фактора на показатель [13, 62].

КОВАРИАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ

Ковариационный анализ используется для создания и изучения вероятностных моделей процессов, в которых присутствуют одновременно как количественные, так и качественные факторы, т.е. он объединяет регрессионные и дисперсионные методы [42]. Модель включает в себя регрессионные и дисперсионные факторы, первые из которых служат для проверки гипотез о значимости количественных факторов, а вторые — качественных [33].

МЕТОД ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

Анализ временных рядов используется при исследовании дискретного случайного процесса, протекающего на интервале времени T [42].

Результаты экспериментов или наблюдений, полученные на данном интервале, представляются в виде временного ряда, каждое значение Y_i которого включает детерминированную $f(t)$ и случайную $z(t)$ составляющие:

$$Y_i = f(t) + z(t).$$

Детерминированная составляющая описывает влияние детерминированных факторов в момент времени t , влияние же множества случайных факторов описывает случайная составляющая. Детерминированную часть временного ряда называют *трендом*, но этот временной ряд описывается так называемой *трендовой моделью*:

$$y_i = a_0 + \sum_{l=1}^k a_l + \varphi_l(t) + z(t),$$

где a_0, a_l — коэффициенты тренда;

k — количество функций времени, линейная комбинация которых определяет детерминированную составляющую;
 $\varphi_i(t)$ — функция времени.

В процессе анализа вид функции времени $\varphi_i(t)$ постулируется исследователем в виде рабочей гипотезы. Это может быть степенная функция t^n , либо тригонометрическая, например, $\sin(w_i(t))$, где w_i — круговая частота изменения i -й функции. Коэффициенты тренда и оценку дисперсии случайной составляющей определяют путем проведения статистической обработки результатов эксперимента или наблюдений.

С помощью представления случайного процесса в виде временных рядов можно, во-первых, исследовать динамику этого процесса, во-вторых, выделить факторы, существенным образом влияющие на показатели, и определить периодичность их максимального воздействия, в-третьих, провести интегральный или точечный прогноз показателя Y на некоторый промежуток времени Δt (точечный прогноз указывает лишь точку, возле которой может находиться прогнозируемый показатель, интервальный — интервал нахождения этого показателя с некоторой заданной вероятностью) [27].

МЕТОД ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТОВ

Метод главных компонент используется при рассмотрении некоторого множества случайных значений показателей Y_i , $i = 1, 2, 3, \dots, k$ в целях определения общих для них факторов (компонентов), от которых все они зависят. Степень зависимости i -го показателя от j -го компонента отражается величиной a_{ij} , называемой *нагрузкой* i -го показателя на j -й компонент.

Результатом анализа является модель главных компонентов, в которой каждый показатель представлен суммой произведений компонентов и их нагрузок:

$$y_i = \sum_{j=1}^k a_{ij} f_j,$$

где f_j - центрированные, нормированные и некоррелированные компоненты (случайные величины f_1 и f_2 называются некоррелированными, если коэффициент их корреляции равен нулю; случайная величина называется центрированной, если ее математическое ожидание равно нулю; центрированная случайная величина называется нормированной, если ее дисперсия равна единице). Модель главных компонент показывает, что и в какой степени определяет исследуемые показатели, а также объясняет связи между ними [21, 26].

ФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ

Факторный анализ по своей сути совпадает с методом главных компонент, однако позволяет представить показатели через меньшее количество факторов (компонентов), поэтому используется при исследовании сложных систем управления с большим числом показателей и сложными взаимосвязями между ними [42].

Предполагается, что за множеством показателей системы стоит небольшое число независимых скрытых параметров, называемых *факторами*. Они определяют значения показателей и взаимосвязь между ними. Степень взаимосвязи между фактором и показателем описывается факторной нагрузкой, количественное значение которой равно коэффициенту корреляции между ними. Если фактор связан со всеми показателями, то он называется *генеральным*, если с некоторой группой, то *групповым*, и наконец, если существует связь только с одним показателем, то фактор называется *специфическим*.

Следовательно, показатели, имеющие высокую нагрузку на общий фактор, обладают общим свойством, которому можно дать название, исходя из физического смысла данной группы

показателей. Процедура факторного анализа состоит в переходе от высокоразмерного пространства, выраженного матрицей $\{u_{ij}\}$, ($i = 1, 2, 3, \dots, k$, $j = 1, 2, 3, \dots, n$) значений i -х показателей в j -х экспериментах (наблюдениях), к низкоразмерному факторному пространству $\{r_{ij}\}$, ($i = 1, 2, 3, \dots, k$; $j = 1, 2, 3, \dots, m$; $m < n$, $m = m(n)$), описываемых для i -х показателей.

5.5. ДЕТЕРМИНИРОВАННЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

СУЩНОСТЬ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Сущность метода состоит в нахождении оценок влияния изменения параметров на величину изменения показателя. Используется для исследования процессов и систем управления по результатам экспериментов на математической модели с неслучайными (детерминированными) переменными. Применение детерминированных методов зависит от возможности дифференцирования функции и числа переменных. При алгоритмическом задании функции (когда она определяется последовательностью математических выражений и при большом числе переменных) используется инфлюентный анализ.

ИНФЛЮЕНТНЫЙ АНАЛИЗ

Суть инфлюентного анализа состоит в нахождении оценок $A(\Delta x_i)$ влияния Δx_i параметров на величину изменений ΔY показателя.

В этом случае ΔY представляется в виде алгебраической суммы

$$\Delta Y = \sum_{i=1}^n A(\Delta x_i).$$

Составляющие $A(\Delta x_i)$ разложения приращения ΔY называются инфлюентами, и задача инфлюентного анализа состоит в их нахождении, для того чтобы затем по значениям инфлюент определять направленность и степень влияния изменения параметров $\Delta x_i = x_i^{(1)} - x_i^{(0)}$ на изменение показателя $\Delta Y = y^{(1)} - y^{(0)}$. При этом значения $\{x_i^{(0)}, y^{(0)}, x_i^{(1)}, y^{(1)}\}$ называются терминальными, причем $y^{(1)}$ и $x_i^{(1)}$ рассматриваются как некоторые фактические (реальные, существующие), а $y^{(0)}$ и $x_i^{(0)}$ — как те, которых надо достичь (например, плановые, номинальные, желаемые).

При имеющейся математической модели $Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ наиболее простым методом является метод цепных подстановок, сущность которого заключается в подстановке в функцию Y в определенном порядке номинальных $x_i^{(0)}$ и фактических $x_i^{(1)}$ параметров и вычислении инфлюент по следующим простым формулам:

$$A(\Delta x_1) = f(x_1^{(1)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)}) - f(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)});$$

$$A(\Delta x_2) = f(x_1^{(1)}, x_2^{(1)}, x_3^{(0)}, \dots, x_n^{(0)}) - f(x_1^{(1)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)});$$

$$A(\Delta x_n) = f(x_1^{(1)}, x_2^{(1)}, \dots, x_n^{(1)}) - f(x_1^{(1)}, x_2^{(1)}, \dots, x_{n-1}^{(1)}, x_n^{(0)}).$$

Недостатком метода является отсутствие правила перебора последовательностей индексов i для подстановки параметров $(x_i^{(0)}, x_i^{(1)})$ и, вследствие этого, зависимость инфлюент от выбранной последовательности. Этого недостатка лишены более сложные процедуры расчета инфлюент, рассматриваемые в [58, 59].

По значениям инфлюент ранжируют влияние параметров системы на ее показатели, определяют направленность этого влияния, выделяют долю влияния каждого параметра относительно других.

Инфлюентный анализ ориентирован в основном на решение экономических задач, а также может быть использован и для исследования сложных технических систем управления [42].

5.6. СИНТЕЗ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ МЕТОДАМИ ОПТИМИЗАЦИИ

СИНТЕЗ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ МЕТОДАМИ БЕЗУСЛОВНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Сущность и область применения

Сущность безусловной оптимизации состоит в поиске минимума функции $Y = f(x)$ путем многократных вычислений при различных значениях параметров $x = \{x^k\}$, $k = 0, 1, 2, \dots$, причем на каждом k -м шаге вычислений контролируют выполнение условий

$$f(x^{(k+1)}) \leq f(x^{(k)}),$$

которые должны привести к минимальному значению функции.

Основные трудности применения заключаются в определении шага изменения параметра $x^{(k)}$, направления этого изменения и начального приближения $x^{(0)}$.

Область применения. Методы безусловной оптимизации используются для однокритериальной оптимизации детерминированных функций при отсутствии ограничений на саму функцию или ее параметры. Наиболее употребительными методами являются: методы первого порядка и методы второго порядка.

Методы и их модификации широко представлены в общем математическом обеспечении ПЭВМ [12, 40].

Методы нулевого порядка

Методы нулевого порядка используют, если производную исследуемой функции найти нельзя или существуют разрывы функций.

Метод покоординатного спуска. Сущность метода состоит в том, что производится раздельная оптимизация по параметрам функций: один из параметров считается изменяемым, а остальные фиксируются при некоторых значениях; затем изменяемым становится следующий параметр, а предыдущий принимает значение, полученное при предыдущей оптимизации (на предыдущем шаге). Процесс продолжается до окончания перебора всех параметров. Метод прост в реализации и эффективен для малого числа параметров.

Метод конфигураций. Сущность метода заключается в поиске направления изменения параметров относительно некоторой выбранной начальной точки (строится конфигурация направления поиска). Вначале обследуют ее окрестность (по параметрам) и выбирают направление изменения параметров, ориентируясь на уменьшение исследуемой функции. Выбрав направление, начинают движение большими шагами до тех пор, пока функция уменьшается. Если этот процесс прекратился (либо его совсем не произошло), то шаг уменьшают с целью определения точки, от которой прекратилось уменьшение функции. Затем процесс повторяют от новой базовой точки или изменяют направление от предыдущей. Метод используется для задач с большим числом параметров, когда покоординатный спуск становится неэффективным [42].

Метод случайного поиска. Метод имеет большое количество модификаций. Общее для них состоит в использовании элемента случайности (путем розыгрыша случайного события) при определении направления поиска и величины шага изме-

нения параметров. Метод эффективен для сложных систем с большим числом параметров [42].

Методы первого порядка

Методы первого порядка используют, если возможно найти первую производную исследуемой функции. К данному классу относятся градиентные методы. Их суть заключается в определении лучшего направления и шага поиска минимума функции по значениям первых производных в некоторой точке $x^{(k)}$. Наибольшее значение производной показывает направление наискорейшего уменьшения функции, и в этом направлении рассчитывается следующее приближение функции $y = f(x^{(k+1)})$, параметры которой отличаются на величину некоторого шага Δx . В зависимости от способа задания этого шага и производится классификация градиентных методов: градиентный спуск; наискорейший спуск; градиентный спуск с постоянным шагом; градиентный спуск с переменным шагом. Методы эффективны для функций со слабовыраженной нелинейностью [42].

Методы второго порядка

Методы второго порядка используют, если возможно найти вторую производную исследуемой функции. Их основой является метод Ньютона, предполагающий аппроксимацию исследуемой функции $Y = f(x)$ квадратичным полиномом в окрестностях некоторой точки $x^{(k)}$ (точки начального приближения). Следующее приближение $x^{(k+1)}$ определяется путем минимума квадратичной аппроксимации функции $F(x)$, т.е. такой точки в окрестности $x^{(k)}$, в которой вид функции в наибольшей степени «похож» на квадратичную. Различные модификации метода Ньютона в основном отличаются друг от друга способами расчета вторых производных. Методы второго порядка схо-

дятся быстрее градиентных, однако требуют вычислений вторых производных [42].

СИНТЕЗ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Область применения. Методы многокритериальной оптимизации используются в задачах многоцелевого характера, когда предназначение системы может быть реализовано лишь при достижении нескольких целей.

Многокритериальные задачи могут решаться как в условиях определенности, так и в условиях риска и неопределенности. Подобные задачи возникают в процессе реорганизации общественных систем управления, проектирования и эксплуатации автоматизированных и автономных технических систем управления, управления отраслями промышленности, войсками, предприятиями, организаций научных исследований и т.п. [64].

Сущность. В многокритериальных задачах, как правило, большинство требований к улучшению значений используемых показателей противоречат друг другу. В таком случае говорят об антагонизме целей, и основной задачей становится поиск правила, удовлетворяющего все цели с помощью компромиссного решения.

Многокритериальная задача выработки решений может быть поставлена следующим образом [64].

Определено множество показателей эффективности, значения которых могут быть заданы в виде вектора $q = (q_1, q_2, \dots, q_n)$ или соответствующей точки в n -мерном пространстве. Определены зависимости $q_i(\mu, \nu)$, $i = 1, 2, \dots, n$, каждого i -го показателя от параметров $\mu \in M$ и условий $\nu \in N$ выбора. Задана модель предпочтений показателей P_δ . Требуется найти такие

значения параметров выбора μ^* , при которых значения показателей эффективности $q(\mu^*, v)$ удовлетворяют заданной модели предпочтений P_0 .

Особенности использования. Все существующие методы многокритериальной оптимизации делятся на две группы [7]. К первой относятся методы, в которых количественно или качественно оценивается степень важности каждого показателя для достижения предназначения системы управления в целом.

Это позволяет создавать некоторый обобщенный показатель и описывать критерий уже относительно него, т.е. осуществляется сведение многокритериальной задачи к однокритериальной, методы решения которой хорошо известны.

Во второй группе методов осуществляется поиск решения на всем пространстве критериев путем сужения области возможных решений. Из суженной области возможных решений субъективно выбирается одно.

Наиболее употребительные методы. В первой группе методов наиболее просты и известны методы свертывания показателей с помощью *векторных коэффициентов*. При качественной оценке степени важности целей используются *лексикографические методы*.

Во второй группе наиболее известен метод *Парето*, заключающийся в исключении заведомо плохих вариантов решений [38].

5.7. СИНТЕЗ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

СУЩНОСТЬ И СОДЕРЖАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Методы математического программирования относятся к численным методам поиска оптимальных решений, которые позволяют найти решение только для конкретных значений параметров. Содержание математического программирования составляют теория и методы решения задач о нахождении экстремумов функций на множествах, определяемых линейными и нелинейными ограничениями (равенствами и неравенствами). В упрощенной постановке задача оптимизации может быть сформулирована следующим образом.

Имеется набор параметров $x_1, \dots, x_n$ и функция $F(x)$. Требуется определить такую совокупность параметров из множества X , для которой функция $F(x)$ принимает наибольшее или наименьшее значение. Функция $F(x)$ получила название целевой функции.

Методы решения задач такого типа в литературе получили наименование методов математического программирования.

Термин «программирование» не связан с составлением программ для ЭВМ, но обусловлен тем, что при решении такого рода задач математическими средствами составляется программа действий.

Независимо от конкретной предметной ориентации задачи, решаемые методами математического программирования, с формальной точки зрения сводятся к одной постановке.

При выполнении условий

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j > (=, \geq, <, \leq) b_i, i = 1, 2, \dots, m; x_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n$$

необходимо найти совокупность параметров (план)

$\overrightarrow{X^*} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, при котором функция (целевая функция)

$$F(x) = \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

принимает наибольшее или наименьшее значение.

Условия $\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j > (=, \geq, <, \leq) b_i$ называются ограничениями задачи. Дополнительно к условиям может быть задано требование целостности всех или нескольких переменных x_j .

Вектор $\overrightarrow{X^*}$ называется оптимальным планом задачи или оптимальным решением, так как его нахождение связано с отыскиванием конкретных значений параметров управления.

При решении задач математического программирования широко используются свойства линейных уравнений и неравенств, различные понятия, связанные с максимумами и минимумами функций, гладкими функциями, выпуклыми множествами и др.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Методы математического программирования относятся к численным методам поиска оптимальных решений, которые позволяют найти решение только для конкретных значений

параметров. Такими методами являются методы линейного, нелинейного дискретного, стохастического и динамического программирования.

Если функции эффективности и ограничения линейны, а операция одноэтапная, то можно применить один из методов линейного программирования. Данные методы используют одну и ту же идею: задается некоторое неоптимальное решение (начальный план), а затем оптимальное решение находится путем изменения начального плана в направлении приближения к оптимальному. Линейное программирование является в настоящее время наиболее разработанной ветвью математического программирования.

При нелинейном характере хотя бы одного компонента математической модели (целевой функции или ограничений) применяются методы нелинейного программирования. Общих методов этого типа пока не существует, за исключением случая квадратичной зависимости между критерием и параметрами при линейных ограничениях.

Некоторые математические модели могут содержать условие дискретности значений параметров (например, по своей физической сущности параметры должны быть только целыми числами). Решение таких задач осуществляется с применением методов дискретного (целочисленного) программирования.

Отыскание решений в операциях, которые носят многоэтапный характер, проводится с применением метода динамического программирования. Его сущность состоит в том, что оптимальное решение отыскивается не за все этапы одновременно, а последовательно от этапа к этапу. Идея оптимизации управления на каждом отдельном этапе использовалась давно, но без учета будущего. При динамическом программировании оптимизация каждого этапа проводится с учетом всех последующих этапов.

Если операция носит случайный характер и приходится иметь дело со случайными величинами и функциями, то для ее исследования используются методы стохастического программирования.

МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Область применения. Используется для решения однокритериальных задач оптимизации, целевая функция которых отвечает условиям детерминированности и линейности, а на значения переменных накладываются линейные ограничения. Линейность предполагает наличие двух свойств: пропорциональности и аддитивности. Пропорциональность означает, что вклад каждой переменной в целевую функцию прямо пропорционален величине этой переменной, а аддитивность заключается в представлении целевой функции в виде суммы вкладов от различных переменных.

Особенности использования. Оптимальному решению всегда соответствует одна из экстремальных точек пространства решений (это является следствием такого важного свойства задач линейного программирования, как выпуклость пространства решений).

Поэтому вычислительная схема представляет собой упорядоченный процесс перехода от исходной экстремальной точки к некоторой смежной экстремальной точке, продолжающийся до тех пор, пока существуют точки с лучшим (большим или меньшим) значением целевой функции.

Наиболее употребительные методы. Основным методом решения задач линейного программирования является симплекс-метод и его модификации, ориентированные на особенностях решаемых задач [9, 55, 56].

МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ НЕЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Область применения. Нелинейное программирование используется для решения однокритериальных задач оптимизации с детерминированной целевой функцией при накладываемых ограничениях в виде равенств или неравенств. Для данного класса задач снимается условие линейности функций или ограничений.

Особенности использования. Нелинейность целевой функции $f(x)$ требует исследования условий (необходимых и достаточных) наличия экстремума. Для этого надо уметь получить аналитические выражения по меньшей мере двух производных этой функции.

При наличии линейных ограничений эти производные ищут только в точках, удовлетворяющих данным ограничениям. Нелинейность ограничений может привести к тому, что пространство возможных решений становится невыпуклым, и тогда оптимальному решению не всегда будет соответствовать одна из угловых точек этого пространства.

Универсальных алгоритмов решения нелинейных задач не существует из-за большого разнообразия вида нелинейности.

Наиболее употребительные методы. Разработанные ныне методы решения задач нелинейного программирования могут быть разделены на ряд больших групп:

- ♦ методы линеаризации целевой функции и ограничений, основанные на их разложении в ряд, логарифмирование и т.д., с последующим применением методов линейного программирования для решения задачи;

- ♦ аналитические методы нахождения экстремальных значений, целевой функции при наличии ограничений. Они могут применяться при условии, что неизвестные величины непрерывны, или на этот счет сделаны соответствующие допущения, а также целевая функция и ограничения имеют частные производные хотя бы до второго порядка включительно;
- ♦ поисковые методы оптимизации, обеспечивающие решение нелинейной задачи путем последовательного перехода от одного допустимого решения к другому в направлении экстремума целевой функции до тех пор, пока дальнейшее ее улучшение станет невозможным или нецелесообразным.

МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ДИСКРЕТНОГО (ЦЕЛОЧИСЛЕННОГО) ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Область применения. Дискретное программирование используется для решения задач с детерминированной целевой функцией при ограничениях на значения переменных.

Примерами таких задач являются: определение очередности выполнения работ, назначение ресурсов по объектам использования, выбор маршрута на сети «задача о коммивояжере».

Особенности применения. Основной особенностью является то, что все или некоторые переменные должны принимать только целочисленные (дискретные) значения. Обычно это бывает при описании неделимых объектов (людей, машин и т. п.) или при наложении жестких ограничений типа равенств.

При решении задач возникают сложности с выбором специальных дополнительных ограничений для отсечения облас-

ти решений с нецелочисленными переменными, которые часто приходится выбирать по эвристическим правилам.

Наиболее употребительные методы. Различают два класса методов: методы отсечения и комбинаторные методы.

Методы отсечений [56] используются при решении линейных целочисленных задач без булевых переменных. Их идея заключается в ослаблении ограничений (за счет отказа от требований целочисленности) и решения обычной задачи линейного программирования. Затем, если полученное оптимальное решение не удовлетворяет требованию целочисленности, вводят специальные дополнительные требования, тем самым отсекая некоторую область возможных решений, и вновь решают задачу линейного программирования с проверкой результатов на целочисленность переменных.

Процесс повторяется до выполнения требований по целочисленности. Для решения целочисленных задач используется алгоритм Гомори и алгоритм Дальтона и Ллевеллина

Комбинаторные методы [43, 55] используются для решения нелинейных задач с булевыми переменными. Для таких задач используется так называемый аддитивный алгоритм, вычислительные операции в котором осуществляют вычитанием. Идея аддитивного алгоритма заключается в переборе 2^N возможных решений (где N — число булевых переменных) и выбор лучшего из них.

МЕТОДЫ ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Область применения. Метод используется для решения задач математического программирования, позволяющих представлять их в виде нескольких менее сложных подзадач с одной целевой функцией.

Метод особенно эффективен для задач, условия которых позволяют составить сетевой график перехода от этапа к

этапу, где узлы сети будут соответствовать различным значениям переменных, а дуги — допустимым вариантам решения [51].

Особенности применения. Основным принципом положенным в основу метода динамического программирования является принцип оптимальности, суть которого заключается в том, что каждое последующее решение строится оптимальным образом независимо от решений, получаемых на всех предыдущих этапах, кроме последнего. Чтобы реализовать этот принцип, необходимо в исходной задаче определить [42]:

- ◆ этапы решений (подзадачи, на которые она декомпозируется);
- ◆ управляемые переменные (варианты решений) на каждом этапе;
- ◆ информацию для решения задачи на каждом этапе;
- ◆ рекуррентные вычислительные процедуры, связывающие соседние этапы.

Другими словами, в методе динамического программирования искусственно создаются условия для независимой оптимизации на отдельном этапе по результатам только предыдущего, причем с гарантией того, что полученное решение будет находиться в области допустимых.

Наиболее употребительные методы. Различают прямые и обратные методы оптимизации. Они отличаются друг от друга различным представлением переменной и видом рекуррентных соотношений [51].

МЕТОДЫ СТОХАСТИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Область применения. Методы используются для задач, в которых все или отдельные параметры описываются с помощью случайных величин. Задачи стохастического программирования возникают тогда, когда каждое действие приводит к неоднозначному исходу и с каждым решением можно связать числовые параметры целевой функции $f_s(X, \Theta)$, $s = 0, 1, \dots, m$. При этом параметры $f_s(X, \Theta)$ зависят от конкретного решения X и состояния среды Θ . В стохастическом программировании Θ является элементарным событием некоторого вероятностного пространства.

Особенности применения. Общий подход для решения подобного класса задач заключается в оптимизации некоторой вторичной целевой функции, представляющей собой какую-нибудь стохастическую (вероятностную) характеристику исходной (первичной) функции. В зависимости от вида математической модели (аналитической, вероятностной или статистической) в качестве стохастических характеристик могут использоваться математические ожидания, дисперсии, вероятности либо их оценки. Для неслучайных стохастических характеристик (при известных законах распределения) задача сводится к детерминированной. Если не удастся установить аналитическую (формульную) зависимость между параметрами и показателями, то приходится прибегать к методу статистического моделирования (методу Монте-Карло) и с его помощью рассчитывать оценки вторичной целевой функции.

Наиболее употребительные методы. Для решения стохастических задач оптимизации можно использовать градиентные методы, методы стохастического моделирования и стохастической аппроксимации, методы программирования с вероятностными ограничениями.

5.8. АНАЛИЗ И СИНТЕЗ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ТЕОРИЙ

ТЕОРИЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Область применения. Принятие решений является одним из основных этапов процесса управления в организационных (общественных) системах и представляет собой выбор одной из альтернативных стратегий или способов действий, направленных на достижение цели [64]. Теория принятия решений используется при необходимости сделать выбор варианта действий в условиях риска и (или) наличия неопределенности. Такие условия возникают, если исходная информация выражается через вероятностные характеристики (в таком случае говорят о принятии решения в условиях риска) либо исходные данные заданы неопределенно, например, интервалами изменения или вообще только названием [42].

Сущность. Синтез задачи принятия решения заключается в выборе допустимого управления $u \in U$ из множества возможных U , обеспечивающего достижение цели в соответствии с заданным критерием эффективности $q \in G$.

Субъективность в математической теории принятия решений заключается в выборе критерия вычислительной процедуры, поэтому лицу, опирающемуся в своих действиях на полученный результат, необходимо знать, во-первых, степень его оптимальности и, во-вторых, его надежность, т.е. величину риска [42].

Наиболее употребительные методы [37, 41, 53]. Алгоритм расчета зависит от вида информации (вероятностной или не-

определенной), критерия выбора решения и количества этапов принятия решений. Задачи синтеза принятия решения делятся на одноэтапные и многоэтапные. Многоэтапные задачи представляются деревом решений.

ТЕОРИЯ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Область применения. Используется для исследования систем управления, в которых имеется необходимость пребывать в состоянии ожидания. Это является следствием вероятностного характера возникновения потребности в обслуживании и разброса показателей соответствующих обслуживающих систем. В таких случаях исследуемую систему представляют в виде системы массового обслуживания (СМО) [42].

Сущность. Задача заключается в построении математической модели, связывающей заданные условия работы СМО с эффективностью ее работы.

Аналитические математические модели СМО в настоящее время могут быть построены только для определенных условий [52, 42].

Главным является требование к потоку заявок, который должен быть простейшим. Входной поток заявок — это последовательность событий, следующих одно за другим в какие-то случайные моменты времени. Поток событий называется простейшим, если он стационарен (вероятные характеристики не зависят от времени), ординарен (события появляются поодиночке, а не группами), не имеет последствий (для двух участков времени число событий, попадающих на один участок не зависит от того, сколько попало на другой).

Если интервалы времени t между событиями подчиняются показательному распределению $e^{-\lambda t}$, где λ — интенсивность потока заявок, то поток называется пуассоновским. При пуассоновском входном потоке заявок процесс, протекающий в

СМО, называется *марковским*, и в нем можно установить аналитические зависимости между условиями операции, элементами решения и показателями эффективности.

Наиболее употребительные методы [9, 36, 52].

Математические модели для различных СМО классифицируют по следующим признакам:

- ♦ с отказами заявок или очередью;
- ♦ ограничением очереди заявок или без него;
- ♦ приоритетом обслуживания некоторых заявок или без приоритета;
- ♦ много — или однофазным обслуживанием (в первом случае обслуживание складывается из нескольких этапов);
- ♦ открытой или замкнутой СМО (в открытых СМО характеристики потока не зависят от состояния СМО).

Обычно для марковских случайных процессов в СМО строят граф ее состояний и возможных переходов, а затем для этого графа составляют и решают уравнения Колмогорова.

ТЕОРИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Область применения. Теория эффективности позволяет оценивать результативность использования системы управления и выбрать лучшую организацию ее применения при конкретных обстоятельствах [42].

Сущность. Сущность теории состоит в оценке эффективности достижения системой цели и затраченным на это усилиям.

Теории эффективности учитывают три группы показателей эффективности процесса, характеризующих [42]:

- ♦ степень достижения цели (целевые эффекты);
- ♦ затраты ресурсов (ресурсоемкость процесса);
- ♦ затраты времени (оперативность процесса).

В теории эффективности различают задачи анализа и синтеза эффективности процесса. Задачами анализа эффективности процесса будут являться [42]:

- ♦ оценивание эффективности процесса по выбранному критерию;
- ♦ анализа чувствительности показателей к изменению параметров;
- ♦ исследование направленности и степени влияния параметров на показатели эффективности;
- ♦ выбор параметров, наиболее существенным образом влияющих на показатели эффективности процесса.

В задаче синтеза формулируется цель процесса в значениях ее показателей и критерия их оценивания, а затем вырабатываются требования к параметрам системы, организации и управления процессом при определенных условиях его проведения.

К задачам синтеза в теории эффективности можно отнести [42]:

- ♦ определение закона изменения структуры системы управления в зависимости от условий ее применения;
- ♦ определение закона управления системой через ее параметры;
- ♦ выбор вида расходуемого ресурса и создание системы обеспечения, хранения и восполнения ресурсами;
- ♦ выработку требований к параметрам и показателям качества системы в зависимости от условий ее применения.

Наиболее употребительные методы.

Задачи анализа эффективности решаются с использованием методов имитационного моделирования на ЭВМ с последующей статистической обработкой полученных результатов. Если математическая модель позволяет рассчитывать частные производные по их параметрам, то используют методы чувств-

вительности [50]. Задачи синтеза, как правило, решаются методами математического программирования [23, 45].

ТЕОРИЯ ИГР

Сущность синтеза игровых задач управления

Игровые задачи управления предполагают участие в активном воздействии на объект управления двух сторон или игроков $[x]$: управляющей системы, определяющей состояние объекта $s = z$, обеспечивающее эффективное управление (максимальное значение целевой функции $q(z, \lambda)$, и среды, формирующей воздействие λ , ухудшающее эффективность управления (минимизирующее целевую функцию $q(z, \lambda)$). Подобные ситуации, когда игроки преследуют прямо противоположные интересы, называются конфликтными ситуациями.

При известном пространстве возможных решений управляющей системы, которое определяется множеством допустимых состояний объекта z , и известном пространстве допустимых воздействий среды Λ можно определить пространство возможных решений игровой задачи как прямое произведение $Z \times \Lambda$. Элементы пространства решений $Z \times \Lambda$ представляют собой точки вида (z, λ) , $z \in Z$, $\lambda \in \Lambda$, т.е. определяются решениями, принимаемыми как первым, так и вторым игроками. Ситуация будет оптимальной для управляющей системы, если выбрана точка $(z^*, \lambda^*) \in Z \times \Lambda$, обеспечивающая максимальное значение целевой функции по z и минимальное по λ . Такая точка называется седловой и ее поиск осуществляется с использованием следующего критерия [9].

$$q(z^*, \lambda^*) = \max_{z \in Z} \min_{\lambda \in \Lambda} q(z, \lambda)$$

Методы решения игровых задач управления

В случае, когда задача предназначена для принятия одного (единственного) решения, то она сводится к задаче линейного программирования и результат отыскивается с помощью его методов [42].

Если же речь идет о многократно повторяемой ситуации, то используются численные методы, где игроки разыгрывают несколько партий и цена игры определяется средним выигрышем.

Если цели не совпадают, то математическая модель становится гораздо сложнее и получить четкие рекомендации по оптимальному действию сторон становится значительно труднее [9].

РЕЗЮМЕ

Для эффективного решения проблем и задач необходим комплексный подход с использованием основных положений анализа и синтеза систем управления.

Выбор метода поиска решения проблемы (задачи) осуществляется в зависимости от вида решения, степени соответствия потребностей и их удовлетворения в объекте управления, вида переменной лимитирующей проблемы (задачи), квалификации специалистов. Если какой-либо метод на определенном этапе творческого процесса исчерпал себя, следует рассмотреть другие методы, а также их комбинации.

Области применения математических методов для целей исследования систем управления зависят от особенностей математической модели системы управления и вида исходной информации. Например, задачи синтеза значительно проще решать на детерминированных моделях, так как используемые при этом методы требуют рассмотрения большого числа вариантов построений системы или перебора множества значений ее параметров для поиска лучшего согласно принятому критерию. В то же время в задачах оптимизации все хорошо, когда модель линейна, однокритериальна и детерминирована. Любые отклонения от этих свойств приводят к появлению новых трудностей. Так, если оптимизируемая функция нелинейна, то приходится представлять ее как совокупность линейных функций, или линейно аппроксимировать на каком-либо интервале, либо вводить ряд допущений, т.е. искусственно уходить от нелинейности.

При многокритериальности стремятся выделить главный критерий или проранжировать критерии, чтобы свести к неко-

торому обобщенному критерию, а затем переходить к однокритериальной оптимизации.

Использовать математический метод в чистом виде обычно не удастся. Поэтому под определенный метод приходится вводить ряд допущений для «подгонки» задач под метод.

Для обоснования законности использования математического метода необходимо по пунктам расписать, при каких условиях он применим. Затем сравнить с ними условия своей задачи на предмет их близости.

Эффективное использование математических методов возможно для задач с высоким уровнем их формализации. Чем интеллектуальнее задача, тем труднее ее формализовать, а значит, и автоматизировать с использованием вычислительных средств.

ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

1. Раскройте циклы проявления идеи.
2. Раскройте правила познания, предлагаемые Р. Декартом.
3. Этапы активизации технологии творчества.
4. Ассоциативные методы поиска новых решений и их суть.
5. Основные правила мозгового штурма.
6. Идея синектики и ее содержание.
7. Основные этапы решения проблемы синектическим методом.
8. Определите понятие физического противоречия и его место в концепции параметрического метода.
9. Эвристические приемы устранения физического противоречия.
10. Правила выбора приемов устранения физического противоречия.
11. Суть и этапы морфологического метода решения проблемы.
12. Какие методы способствуют возникновению ассоциаций, активизируют поиск идеи решения.
13. Сущность и содержание метода логического поиска.
14. Метод «букета проблем» и его особенности.
15. Раскройте алгоритм поиска новых технических решений.
16. Когда можно использовать методы статистического анализа при исследовании систем управления?
17. В каких случаях можно использовать детерминированные методы при исследовании систем управления?

18. Сущность и область применения методов безусловной оптимизации при исследовании систем управления.

19. В каких случаях можно использовать методы математического программирования в задачах синтеза систем управления.

20. Когда применяются методы теории массового обслуживания? Привести примеры применения методов теории массового обслуживания в задачах исследования систем управления.

22. В каких случаях для определения лучшего варианта надо использовать:

- а) методы математического программирования;
- б) теорию принятия решений;
- в) теорию игр;
- г) теорию эффективности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абчук В.А., Бункин В.А. Интенсификация: принятие решений. — Л.: Лениздат, 1987.
2. Автоматизация поискового конструирования. Под ред. Половинкина А.И. — М.: Информэлектро, 1991.
3. Александров Е.А. Основы теории эвристических решений. — М.: Советское радио, 1975.
4. Армстронг Макл. Основы менеджмента. Как стать лучшим руководителем. Серия «Учебники и учебные пособия». — Ростов-на-Дону: «Феникс», 1998.
5. Адрианов Ю.М., Субетто А. И. Квалиметрия в приборостроении и машиностроении. — Л.: Машиностроение, 1990.
6. Белозерцев В.И. Техническое творчество. — Ульяновск, 1975.
7. Буш Г.Я. Рождение изобретательских идей. — Рига: Лиесма, 1978.
8. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. — М.: Физмат — ШЗ, 1958.
9. Вентцель Е.С. Исследование операций. Задачи, принципы, методология. — М.: Наука, 1988.
10. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерное приложение. — М.: Наука, 1988.
11. Вентцель Е.С. Интегральная регрессия и корреляция. Статистическое моделирование рядов динамики. — М.: Финансы и статистика, 1982.
12. Гилл Ф. и др. Практическая оптимизация / Пер. с англ. — М.: Мир, 1985.

13. Гренандер У., Фрейберг В. Краткий курс вычислительной вероятности и статистики / Пер. с англ. — М.: Наука, 1978.
14. Глазунов В.Н. Поиск принципов действия технических систем. М.: Речной транспорт, 1990.
15. Глазунов В.Н. Параметрический метод разрешения противоречий в технике. М.: Речной транспорт, 1990.
16. Голдовских Б.И. Вайнерман М.И. Рациональное творчество. — М.: Речной транспорт, 1990.
17. Димиденко Е.З. Линейная и нелинейная регрессия. — М.: Статистика, 1981.
18. Джонс К. Дж. Методы проектирования. — М.: Мир, 1986.
19. Евланов Л.Г. Теория и практика принятия решений. — М.: Экономика, 1984.
20. Ермаков С.М., Жинглевский А.А. Математическая теория оптимального эксперимента. — М.: Наука, 1987.
21. Иберла М. Факторный анализ / Пер с англ. — М.: Мир, 1989.
22. Ивин А.А. Искусство правильно мыслить. — М.: Просвещение, 1986.
23. Ильичев А.В. Эффективность проектируемой техники. — М.: Машиностроение, 1991.
24. Калиткин Н.Н. Численные методы. — М.: Наука, 1978.
25. Кудрявцев А.В. Методы интуитивного поиска технических решений. — М.: Речной транспорт, 1991.
26. Колемаев В.А. и др. Теория вероятностей и математическая статистика. — М.: Высш. шк. 1991.
27. Кильдишев В.Г., Френкель А.А. Анализ временных рядов и прогнозирование. — М.: Статистика, 1973.
28. Клир Дж. Систематология. Автоматизация решения системных задач. / Пер. с англ. — М.: Радио и связь, 1990.

29. Косенко С.И. Методы поиска новых технических решений. — М.: ВА им Ф.Э. Дзержинского, 1996.
30. Королук В.С. и др. Справочник по теории вероятностей и математической статистике. — М.: Наука, 1985.
31. Костылев А.А. и др. Статистическая обработка результатов экспериментов. — Л.: Энергоатомиздат, 1991.
32. Коваленко И.Н., Филиппов А.А. Теория вероятностей и математическая статистика. — М.: Высш. шк., 1982.
33. Крамер Г. Математические методы статистики. — М.: Мир, 1975.
34. Лук А.Н. Психология творчества. — М.: Наука, 1973.
35. Лук А.Н. Интуиция и научное творчество. // Философские науки. — 1981, вып. 5.
36. Лифшиц А.Л., Мальц Э.А. Статистическое моделирование систем массового обслуживания. — М.: Сов. радио. 1978.
37. Макаров И.М. и др. Теория выбора и принятия решения. М.: Наука, 1982.
38. Машунин Ю.К. Методы и модели векторной оптимизации. — М.: Наука, 1986.
39. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. — М.: Наука, 1981.
40. Моисеев Н.Н. и др. Методы оптимизации. — М.: Наука, 1978.
41. Лушик Э., Мюллер П. Методы принятия технических решений / Пер. с нем. — М.: Мир, 1990.
42. Павлов В.М. Методические основы системных исследований военно-космических средств: Учебное пособие. — М.: РВСН, 1998.
43. Пападимитриу Х., Стайглиц К. Комбинаторная оптимизация. Алгоритм и сложность. /Пер. с англ. — М.: Мир, 1985.
44. Перегудов Г.Б. Основы теории эффективности целенаправленных процессов. — М.: Высш. шк., 1989.

45. Петухов Г.Б. Основы теории эффективности целенаправленных процессов. — М.: МО СССР, 1989.
46. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества. — М.: Машиностроение, 1980.
47. Потапов А.Б. Технология творчества. — М.: НТК «Метод», 1992.
48. Основы общей теории систем. Часть II, Попов А.А., Телушкин И.М., Бушцев С.Н. — С.-П.: ВАС, 1992.
49. Одрин В.И. Методы морфологического анализа технических систем. — М.: Наука, 1981.
50. Розевассер Е.Н., Юсупов Р.М. Чувствительность систем управления. — М.: Наука, 1981.
51. Романовский И.В. Алгоритм решения экстремальных задач. — М.: Наука, 1977.
52. Саати Т. Элементы теории массового обслуживания и ее приложения. / Пер. с англ. — М.: Мир, 1991.
53. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. / Пер. с англ. — М.: Радио и связь, 1993.
54. Столяров А.М. Методологические основы изобретательского творчества. — М.: ВНИИПИ. 1986.
55. Схрейвер А. Теория линейного и целочисленного программирования. / пер. с англ. — М.: мир, 1991.
56. Таха Х. Введение в исследования операций / Пер. с англ. — М.: Мир, Кн.1, 2, 1991.
57. Теслинов А.Г. Развитие систем управления. Монография. — М.:РВСН, 1997.
58. Трухаев Р.И. Инфлюентный анализ и принятие решений (детерминированный анализ). — М.: Наука, 1984.
59. Трухаев Р.И. Методы инфлюентного анализа высоких порядков. — Л.: Наука, 1988.
60. Татов В.В. Выбор целей в поисковой деятельности. — М.: Речной транспорт, 1991.

61. Уотерман О. Руководство по экспертным системам. — М.: Мир, 1989.
62. Цвиркун А.Д. и др. Имитационное моделирование в задачах синтеза структуры сложных систем. — М.: Наука, 1985.
63. Хохлачев Е.Н. Теоретические основы создания и применения АСУ. — М.: МО СССР, 1987.
64. Хохлачев Е.Н. Теоретические основы управления. Часть 2. Анализ и синтез систем управления. Учебное пособие. — М.: РВСН, 1996.
65. Чус А.В., Данченко В.А. Основы технического творчества. — Киев: Выща школа, 1983.
66. Чяпеле Ю.М. Методы поиска изобретательских идей. — Л.: Машиностроение, 1990.
67. Шеффе Г. Дисперсионный анализ. — М.: Физматгиз, 1963.
68. Шевченко Б. Развитие творческого воображения. — Фрунзе: ФПИ, 1987.
69. Шилов Г.Е. Математический анализ функций одной переменной. — М.: Наука, 1969.
70. Яковец Ю.В. Закономерности научно-технического прогресса и их планомерное использование. — М.: Экономика, 1984.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	3
Глава 1. Концептуальные основы исследования систем управления	6
1.1. Понятия, определяющие структуру системы	7
Понятие элемента системы	10
Понятие связи.....	11
Понятие структуры системы.....	11
Понятие внешней среды.....	11
1.2. Понятия, определяющие процесс функционирования системы	13
Состояние системы	13
Входы и выходы системы	14
Движение (функционирование) системы.....	15
1.3. Характеристика процессов системы.....	17
Понятие процессов системы	17
Формы входных и выходных процессов.....	20
Функции процесса обратной связи.....	25
Функция процесса ограничения системы	27
1.4. Классификация систем	29
Характеристика различных классов систем	29
1.5. Понятие системы управления	36
1.6. Цель системы управления	40
1.7. Закон управления системой	45
1.8. Критерии эффективности управления системой.....	48
Резюме	51
Вопросы для повторения	54
Литература	55
Глава 2. Методологические основы исследования систем управления	58

2.1. Системный подход как общеметодический принцип исследования систем управления	59
Понятие и основные черты системного подхода	59
Сущность системного подхода	61
2.2. Задачи анализа и синтеза систем управления.....	66
Задачи анализа систем управления	66
Задачи синтеза систем управления.....	73
2.3. Принципы анализа и синтеза систем управления	87
Принцип физичности и его постулаты.....	88
Принцип моделируемости и его постулаты	89
Принцип целенаправленности и его постулаты	92
2.4. Виды анализа и синтеза систем управления.....	94
Структурный анализ и синтез систем управления.....	94
Функциональный анализ и синтез систем управления.....	98
Параметрический анализ и синтез систем управления	119
2.5. Уровни исследования и структура показателей систем управления	126
Уровни исследования систем управления	126
Структура показателей систем управления	130
Оценка информативности показателей анализируемой системы управления.....	133
Резюме	135
Вопросы для повторения	146
Литература	148
Глава 3. Особенности анализа и синтеза различных видов систем управления	150
3.1. Особенности анализа и синтеза технических систем управления	151
Особенности технических систем управления.....	151
Специфика отдельных видов анализа и синтеза технических систем управления	152
Основы синтеза облика перспективной технической системы управления	154
3.2. Особенности анализа и синтеза эргатических систем управления.....	161
Особенности эргатических (человеко-машинных) систем управления	161

Специфика отдельных видов анализа и синтеза эргатических систем управления.....	168
Типовые противоречия разрешаемые в процессе создания новых эргатических систем управления.....	173
3.3. Особенности анализа и синтеза организационных систем.....	178
Особенности организационных систем управления.....	178
Методология анализа и синтеза организационных систем управления	180
Специфика отдельных видов анализа и синтеза организационных систем управления	186
Основные черты организационного управления.....	191
Основные требования к организационному управлению.....	195
Резюме	202
Вопросы для повторения	205
Литература.....	207
Глава 4. Системный анализ и синтез проблемы.....	209
4.1. Общая характеристика проблемы как системы.....	210
Понятие проблемы и проблемной ситуации.....	210
Классификация проблем.....	212
Представление проблемы как системы	218
Этапы процесса решения проблемы.....	222
4.2. Исходная постановка (формирование) проблемы.....	231
4.3. Формирование целей и условий решения проблемы.....	236
Условия формирования целей	236
Выявление и систематизация подцелей.....	237
Последовательная декомпозиция целей.....	240
Установление условий решения проблемы	246
4.4. Структуризация проблемы и систематизация путей достижения целей.....	248
Основные понятия и этапы структуризации проблем.....	248
Уточнение структуры системы.....	251
Критический анализ функционирования системы управления.....	257
Систематизация путей достижения целей, оценка их значимости.....	265

4.5. Выявление и выбор альтернатив решения проблемы.....	268
Этапы выделения альтернатив.....	268
Выбор альтернатив решения проблемы.....	269
4.6. Принятие решения и выбор оптимальных решений.....	275
Выявление и выбор вариантов решения проблемы (подпроблемы).....	275
Выбор оптимальных решений	281
Резюме.....	284
Вопросы для повторения.....	293
Литература.....	295
Глава 5. Методы исследования систем управления.....	297
5.1. Системный подход к проявлению идеи	298
Сущность идеи	298
Первый цикл проявления идеи	300
Второй цикл проявления идеи	302
5.2. Эвристические методы исследования систем управления	305
Методы активизации технологии творчества.....	305
Ассоциативные методы	308
Метод мозгового штурма	310
Метод синектики.....	312
5.3. Формализованные методы исследования систем управления	316
Параметрический метод	316
Морфологический метод и его модификации	320
Комбинаторный метод.....	325
Методы логического поиска	327
Метод «букета проблем».....	333
Методы поиска новых технических решений	334
5.4. Статистические методы анализа систем управления	339
Сущность и область применения.....	340
Регрессионный анализ	341
Корреляционный анализ.....	342
Дисперсионный анализ.....	343
Ковариационный анализ.....	344
Метод временных рядов.....	344

Метод главных компонент	345
Факторный анализ.....	346
5.5. Детерминированные методы анализа	
систем управления	348
Сущность и область применения.....	348
Инфлюентный анализ	348
5.6. Синтез систем управления методами оптимизации.....	350
Синтез систем управления методами	
безусловной оптимизации.....	350
Синтез систем управления с помощью	
многокритериальной оптимизации	353
5.7. Синтез систем управления методами	
математического программирования	355
Сущность и содержание математического	
программирования	355
Общая характеристика методов математического	
программирования	356
Методы решения задач линейного программирования	358
Методы решения задач нелинейного программирования ..	359
Методы решения задач дискретного (целочисленного)	
программирования	360
Методы динамического программирования.....	361
Методы стохастического программирования.....	363
5.8. Анализ и синтез систем управления с помощью	
математических теорий	364
Теория принятия решений	364
Теория массового обслуживания.....	365
Теория эффективности	366
Теория игр.....	368
Резюме	370
Вопросы для повторения	372
Литература	374

Учебник для вузов

Мухин Владимир Иванович

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Издательство «ЭКЗАМЕН»

ИД № 05518 от 01.08.01

Гигиенический сертификат

№ 77.99.10.953.П.001553.07.02 от 26.07.2002 г.

Главный редактор *Д.В. Яновский*

Научный редактор *В.И. Осипов*

Дизайн обложки *И.Р. Захаркина*

Компьютерная верстка *И.Р. Захаркина*

107066, Москва, ул. Александра Лукьянова д. 4, стр. 1.

www.examen.biz

E-mail: по общим вопросам: info@examen.biz;

по вопросам реализации: sale@examen.biz

тел./факс 263-96-60.

Подписано в печать с диапозитивов 22.01.2003.

Формат 84x108/32. Гарнитура «Таймс».

Бумага типографская. Уч.-изд. л. 12,33.

Усл. печ. л. 7,14. Тираж 3000 экз. Заказ № 6301.

Общероссийский классификатор продукции

ОК 005-93, том 2; 953005 — книги, брошюры, литература учебная

Текст отпечатан с диапозитивов заказчика

в ОАО «Тверской полиграфический комбинат»

170024, г. Тверь, пр-т Ленина, 5

Качество печати соответствует

качеству предоставленных диапозитивов

ISBN 5-94692-448-6



9 785946 924481

По вопросам реализации обращаться по тел.: 263-96-60.