

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

Р. И. МАКАРОВ Е. Р. ХОРОШЕВА

АНАЛИЗ И СИНТЕЗ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Учебное пособие



Владимир 2019

УДК 681.518:51-7
ББК 32.812
М15

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор
зав. кафедрой вычислительной техники и систем управления
Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
В. Н. Ланцов

Кандидат физико-математических наук, доцент
доцент Департамента анализа данных,
принятия решений и финансовых технологий
Финансового университета при Правительстве Российской Федерации
М. Б. Хрипунова

Издается по решению редакционно-издательского совета ВлГУ

Макаров, Р. И. Анализ и синтез информационных систем :
М15 учеб. пособие / Р. И. Макаров, Е. Р. Хорошева ; Владим. гос. ун-т
им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2019. –
251 с. – ISBN 978-5-9984-1001-7.

Приведены общие сведения об основах анализа и синтеза систем с целью повышения эффективности действующих и создаваемых информационных систем. Подробно рассмотрены системный подход в исследовании систем, методы анализа и синтеза информационных систем. Описана роль моделирования в исследовании информационных систем.

Предназначено для магистрантов, обучающихся по направлению 09.04.02 – Информационные системы и технологии.

Рекомендовано для формирования универсальных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ПООП по направлению 09.04.02.

Табл. 20. Ил. 38. Библиогр.: 41 назв.

УДК 681.518:51-7
ББК 32.812

ISBN 978-5-9984-1001-7

© Макаров Р. И.,
Хорошева Е. Р., 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
Глава 1. ОПРЕДЕЛЕНИЯ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА	6
1.1. Системный подход в исследовании систем. Понятия анализа и синтеза систем	6
Контрольные задания	13
1.2. Определение системы и концепция риска в задачах системного анализа	14
Контрольные задания	23
1.3. Характеристики сложных систем. Виды и формы системных структур	24
Контрольные задания	35
Глава 2. ЭТАПЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА	36
2.1. Сущность и принципы системного подхода. Декомпозиция – метод изучения сложных систем	36
Контрольные задания	47
2.2. Описание системы как «черного ящика»	47
Контрольные задания	61
Глава 3. МЕТОДЫ АНАЛИЗА ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ	62
3.1. Структурный анализ систем управления	62
Контрольные задания	73
3.2. Функциональный анализ систем управления	74
Контрольные задания	96
3.3. Информационный анализ систем управления	97
Контрольные задания	117
3.4. Морфологический анализ систем управления	118
Контрольные задания	132
3.5. Анализ эффективности информационных систем	132
Контрольные задания	150

3.6. Оценка сложных систем в условиях неопределенности и риска	150
Контрольные задания	160
Глава 4. МЕТОДЫ СИНТЕЗА ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ	162
4.1. Синтез организационной структуры. Методы синтеза.....	165
Контрольные задания	171
4.2. Синтез функциональной структуры информационных систем. Методы синтеза	172
Контрольные задания	178
4.3. Синтез структуры информационных систем с учетом затрат на обмен информацией и затрат на эксплуатацию системы.....	179
Контрольные задания	184
Глава 5. РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ.....	185
5.1. Принципы и подходы к построению моделей систем	185
Контрольные задания	202
5.2. Построение имитационных моделей информационно- управляющих систем	202
Контрольные задания	212
5.3. Моделирование систем и сетей массового обслуживания.....	213
Контрольные задания	227
5.4. Разработка математической модели для определения состава программно-технических ресурсов системы.....	228
Контрольные задания	244
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	245
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	246

ВВЕДЕНИЕ

Цель дисциплины – формирование у студентов системного мышления, теоретической и практической базы системного исследования при анализе проблем и принятии решений в области профессиональной деятельности с целью повышения эффективности действующих и создаваемых информационных систем.

Основная задача дисциплины – формирование у студентов необходимых для будущей профессиональной деятельности знаний в области системного подхода, теории систем и системного анализа, методов анализа и синтеза, использования моделирования в исследовании информационных систем.

Изучение дисциплины направлено на формирование и развитие универсальных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций.

Выпускник должен обладать следующими универсальными, общепрофессиональными и профессиональными компетенциями:

- способностью осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий (УК-1);

- способностью разрабатывать и модернизировать программное и аппаратное обеспечение информационных и автоматизированных систем (ОКП-5);

- способностью разрабатывать и применять математические модели процессов и объектов при решении задач анализа и синтеза распределенных информационных систем и систем поддержки принятия решений (ОКП-7);

- способностью проводить разработку методик анализа, синтеза, оптимизации и прогнозирования качества процессов функционирования объектов профессиональной деятельности в различных областях и сферах цифровой экономики (ПК-2).

Глава 1. ОПРЕДЕЛЕНИЯ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

1.1. Системный подход в исследовании систем.

Понятия анализа и синтеза систем

Фундаментальные изменения, происходящие в теории и практике экономики, а особенно в управлении общественным производством, связаны с расширением интеграционных процессов социально-экономического развития [1]. Такая интеграция усиливает вероятность возникновения проблемных ситуаций, которые все более имеют системный характер. Это объясняется прежде всего тем, что результаты принимаемых экономических решений, часто не согласованные с состоянием других систем, все больше вызывают дестабилизирующей эффект как для самого мирового сообщества, так и для всей окружающей среды.

Развивающийся процесс интеграции, происходящий в экономической деятельности человека, должен проходить с учетом тех системных взглядов, которые господствуют в современной научной среде в качестве научного мировоззрения.

История эволюционного развития научных знаний показывает все многообразие сменяющих друг друга взглядов на объективность восприятия тех или иных явлений и методов их изучения. Дифференциация научных знаний привела к разрушению целостного восприятия изучаемого явления.

На основе эволюционной теории развития научных знаний формируется новое представление о взаимосвязи количественных параметров с качественной оценкой тех систем, которые определяют социально-экономическое развитие общества в целом.

На рис. 1.1 схематично показана взаимозависимость знаний в области теории и практики исследования систем. По вектору познания представлена эволюция исследования природных систем. Вначале наука развивалась на основе исследования свойств вещества, затем свойств информации и энергии. Синтез таких знаний определял методологию системных исследований первоначально на основе механистического подхода, затем кибернетического, а сейчас это связано с формированием синергетического подхода в исследовании систем любой природы.

Характерной чертой современной мировой экономики является усиливающееся взаимодействие ресурсов систем, которое провоцирует возникновение системных проблем. Мировая экономика переходит от операционного типа функционирования к процессуальному. Системные проблемы обусловлены тем, что долгие годы исследования социальных и экономических систем происходили на основе дифференцированного научно-предметного подхода. Этот факт создал реальные предпосылки для углубления системного кризиса в науке и практике организации мировых общественных систем, так как решение системных проблем требует всестороннего, многоаспектного их изучения.



Рис. 1.1. Эволюция взглядов на оценочный «механизм» качества систем

Согласно системному анализу понятие «кризис» в общественной системе (в переводе с греческого - решение, приговор) - это состояние неустойчивости целостного образования - общества. Такая неустойчивость объясняется наличием негармоничных связей как между элементами в самой системе, так и между системами в иерархической структуре организации мира.

Под негармоничными связями в системе понимается нарушение развития одних элементов за счет разрушения других, что приводит к деформации целостного образования. Причем если нарушаются связи между целыми системами (подсистемами), то система (подсистема) низшего уровня рассматривается лишь как элемент системы (подсистемы) высшего уровня. Систему высшего уровня принято называть внешней средой. Соотношение между понятиями «система» и «среда» должно устанавливаться с учетом принципа иерархического построения систем в природе. Информационно-логическая связь между этими понятиями определяет тип структурных отношений в сложных многоуровневых системах, характеризующихся упорядоченностью, организованностью взаимодействия элементов отдельных уровней по вертикали и горизонтали.

Структурные связи по вертикали имеют системные свойства, т.е. отражают связи между системами разного уровня. Структурные связи по горизонтали имеют тоже системный характер и отражают прямые, обратные и циклические отношения между элементами целого образования.

Под системными свойствами понимается наличие многообразия функциональных взаимосвязей (положительных, отрицательных, гармонизированных) и взаимоотношений между элементами систем, относящихся к разноуровневым, целостным структурным образованиям. Если системные свойства структурных образований нарушаются, то возникают кризисные ситуации на всех уровнях иерархической структуры. Накопление таких ситуаций в среде приводит к системному кризису в том случае, если отсутствует оперативное их разрешение.

Следовательно, кризис в общественных системах нужно рассматривать как специфическую «точку в их развитии», которая определяет необходимость проведения радикальных изменений качества системных связей и отношений между структурными образованиями во времени и в пространстве.

Системный кризис возникает в процессе накопления проблемных ситуаций в разных системах. Возникновение проблемных ситуаций, как правило, обусловлено отсутствием гармоничных информационных связей между самим человеком и природными, технико-технологическими и социально-экономическими характеристиками систем.

Гармонизацию информационных связей в социально-экономической системе нужно рассматривать как метод динамического «уравновешивания» положительных и отрицательных результатов взаимодействия множества связей и отношений в социально-экономических элементах при сохранении целостности структурного образования в природной среде.

Природная среда является той глобальной и универсальной надсистемой (средой) общества, которая ограничивает условия жизнедеятельности человека на Земле. Поэтому исследование причин возникновения глобального экологического кризиса, определяющего на рубеже XXI века весь путь развития мировой экономики, нужно искать в несовершенстве социальных и экономических теорий. Речь идет об изменении принципов организации систем и управления ими. Следствием такого несовершенства являются привычные стереотипы экономического мышления.

В социалистических системах главенствует приоритет политики над экономикой. Этот приоритет выражен в теоретическом принципе организации экономической системы на основе понятий «общественное сознание» и «общественная собственность».

В капиталистических системах – приоритет экономики над политикой определяется понятиями «частная собственность» и «капитал». Такое положение вещей характерно для классической экономической теории, но в условиях развития процесса информатизации общества происходит существенное изменение в понятийном аппарате экономических теорий.

В современных условиях формируется новая нелинейная экономическая теория, которая называется синергетической экономикой, которая изучает нелинейные аспекты эволюционного развития экономики.

Технические средства определяют содержание и формы проявлений общественных отношений на всем протяжении развития цивилизации. В техническом развитии мировая идея покорения природы человеком с помощью техники требует переосмысления и возврата к сущности категории «техника» (*techne* - мастерство). Выдающийся мыслитель XX века Мартин Хайдеггер, размышляя о роли техники в обществе, определяет «ее миссию в раскрытии потаенного знания».

Известно, что техника создавалась всегда на основе учета антропного (человекообразного) принципа и является лишь механическим или электронным подобием тех или иных «механизмов», изучаемых в явлениях природы и организме человека. С помощью технических средств можно моделировать много функций и процессов реальных явлений. Техника всегда отражает виртуальные (возможные) условия деятельности человека, но не может моделировать эмоции, чувства и интуицию, которые создают живое, реальное восприятие жизни. Поэтому техника нужна как искусство овладения новыми знаниями. Современное развитие компьютерной техники и инструментальных средств информатики позволяет моделировать элементы «виртуальной реальности».

Системный подход способствует выработке правильного метода мышления о самом процессе управления, но любая система является частью большей системы и постоянно изменяется. И, когда у исследователя нет достаточной информации о существе проблемной ситуации, тогда для того, чтобы организовать процесс принятия решений, применяется системный анализ.

В общем виде процедуры системного анализа включают методики проведения исследования и организацию процесса принятия решения. Предмет же системного анализа представляют собой «органически целостные системы, в разряд которых попадают биологические, психологические, социальные, экономические, сложные технические системы, а также комплексные климатические, географические и геологические образования».

Термин «системный анализ» (далее - СА) появился в работах корпорации РЭНД, организованной в конце сороковых годов в США для решения глобальных военных задач и ряда слабоструктурированных общих проблем и социально-экономических процессов [2].

Основу системного анализа составляет общая теория систем, которая позволяет осуществлять исследование проблем, не решаемых аналитически. Как правило, подобного рода проблемы содержат неопределенность ситуации, которая затрудняет принятие решений. Системный подход объединяет формальные знания и интуицию специалистов и стимулирует целенаправленное аналитическое мышление. Он предусматривает разбиение процесса исследования на подпроцессы, моделирует процессы целеобразования и позволяет выработать алгоритм принятия решения, направленный на устранение накопившихся проблем.

В процессе системного анализа осуществляется не только системное формулирование проблем, но и установления между ними причинно-следственных связей и определения наиболее значимых среди них для того, чтобы затем сформулировать цель и определить способы ее достижения. При этом часто логический анализ сопровождается математическими, статистическими вычислениями и вербальными оценками как проблем, так и целей, и вариантов их достижения.

Анализ (гр. *analysis* разложение, расчленение) – 1) метод научного исследования, состоящий в мысленном или фактическом разложении целого на составные части; 2) разбор, рассмотрение чего-либо.

Суть анализа (декомпозиции) – в разделении целого на части, в представлении сложного в виде простых составляющих.

Особенность системного анализа заключается в использовании формальных и неформальных процедур определения целей и функций систем управления. Этот анализ применяется для решения проблем в ситуации неопределенности, когда следует использовать экспертные методы принятия решений.

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

Цели анализа информационной системы:

1) детальное изучение системы для более эффективного использования и принятия решения по ее дальнейшему совершенствованию или замене;

2) исследование альтернативных вариантов вновь создаваемой информационной системы с целью выбора наилучшего варианта.

К задачам анализа системы относятся:

- определение объекта анализа;
- структурирование системы;
- определение функциональных особенностей системы;
- исследование информационных характеристик системы;
- определение количественных и качественных показателей системы;
- оценка эффективности системы;
- обобщение и оформление результатов анализа.

В этом процесс исследователь может избрать одно из двух направлений анализа: определение состояния системы, чтобы обозначить зоны, требующие улучшения, и стимулирование изменений либо - исследование альтернативных вариантов вновь создаваемой системы с целью выбора лучшего варианта.

Синтез является центральным звеном создания информационной систем.

Суть синтеза (агрегирования) – в соединении (мысленном или реальном) простых составляющих объекта в единое целое.

Рассмотрим аналитические и синтетические методы исследования систем.

Еще французский философ и математик Рене Декарт предлагал расчленив изучаемую задачу на столько частей, чтобы легко и удобно было ее решать. Именно так и поступают математики: когда интеграл не «берется в лоб» - его «берут» по частям.

Другой подход известен из рассуждений древних философов: все люди смертны; Каин - человек; значит - Каин смертен.

В первом случае использовались методы анализа. Во втором случае использовался синтетический метод исследования.

Основные этапы рассматриваемых методов приведены в табл. 1.1.

Агрегирование и декомпозиция, указанные в таблице, являются процедурами исследования систем и представляют собой следующее. Декомпозиция - процедура разложения целого на части. Агрегирование - процедура объединения частей в целое.

Таблица 1.1. Процедуры исследования систем

№	Анализ	№	Синтез
1	Объект разделяется на части	1	Объект рассматривается как часть большего целого
2	Объясняются части	2	Объясняется целое, содержащее исследуемую часть
3	Знание о частях агрегируется в знание о целом объекте	3	Целое декомпозируется для объяснения частей

Особенности синтетических методов заключаются в том, что вклад каждой части в общесистемный эффект зависит от вкладов других частей. Поэтому, например, если каждую часть заставить функционировать наилучшим образом, то эффект не будет наивысшим.

Например, если каждый игрок футбольной команды будет нацелен на ворота противника так, что будет стремиться забить гол, то «свои» ворота останутся неприкрытыми, и многие из игроков окажутся «вне игры».

То есть акцент делается не просто на рассмотрение отдельных частей, а на их взаимодействие.

Сложность системного анализа заключается в том, что при расчленении целого на части необходимо не утратить свойства системы (свойства целого).

Контрольные задания

1. Взаимозависимость знаний в области теории и практики исследования систем.
2. Принцип иерархического построения систем в природе.
3. Понятие системные свойства. Гармонизация информационных связей в системе.
4. Понятие системы как семантической модели.
5. Аксиомы задания системы и их содержание.
6. Содержание системного анализа. Цели и задачи анализа.
7. Содержание синтеза систем. Цели и задачи синтеза.
8. Характеристики сложных систем.
9. Классификация систем, классификационные признаки.

1.2. Определение системы и концепция риска в задачах системного анализа

Система – термин, используемый в тех случаях, когда хотят охарактеризовать исследуемый или проектируемый объект как нечто целое (единое), сложное, о котором невозможно сразу дать представление, показать его, изобразить графически или описать математическим выражением (формулой, уравнением и т.п.).

Определения системы.

Существует несколько десятков определений этого понятия. Их анализ показывает, что определение понятия система изменялось не только по форме, но и по содержанию.

Рассмотрим основные и принципиальные изменения, которые происходили с определением системы по мере развития теории систем и использования этого понятия на практике [3].

В первых определениях в той или иной форме отмечалось, что система – это элементы (части, компоненты) a_i и связи (отношения) r между ними:

$$S = \langle A, R \rangle, \text{ где } A = \{a, \dots\}, R = \{r, \dots\},$$

Так, Л. фон Берталанфи определял систему как «комплекс взаимодействующих компонентов» или как «совокупность элементов, находящихся в определенных отношениях друг с другом и со средой».

В Большой советской энциклопедии система определяется прямым переводом с греческого, что означает *susthma* – «состав», т.е. составленное, соединенное из частей.

Затем в определениях системы появляется понятие цель. Вначале – в неявном виде: в определении Ф.Е. Темникова «система – организованное множество» (в котором цель появляется при раскрытии понятия организованное); в философском словаре система – «совокупность элементов, находящихся в отношениях и связях между собой и образующих некоторое целостное единство». Потом – в виде конечного результата, системообразующего критерия, функции (см. определения В.И. Вернадского, У.Р. Гибсона, П.К. Анохина, М.Г. Гаазе-Рапопорта), а позднее - и с явным упоминанием о цели.

Символически эту группу определений представим следующим образом:

$$S = \langle A, R, Z \rangle,$$

где Z - цель, совокупность или структура целей.

$A = \{a_i\}$ - множества элементов.

$R = \{r\}$ - отношения между элементами.

В некоторых определениях уточняются условия целеобразования - среда SR , интервал времени AT , т.е. период, в рамках которого будут существовать система и ее цели, что сделано, например, в определении В.Н. Сагатовского, которое также будет положено в основу одной из методик структуризации целей (см. Методика структуризации целей и функций, основанная на концепции системы, учитывающей среду и целеполагание): система «конечное множество функциональных элементов и отношений между ними, выделенное из среды в соответствии с определенной целью в рамках определенного временного интервала»:

$$S = \langle A, R, Z, SR, AT \rangle.$$

Далее в определение системы начинают включать, наряду с элементами, связями и целями, также и наблюдателя N , т.е. лицо, представляющее объект или процесс в виде системы при их исследовании или принятии решения:

$$S = \langle A, R, Z, N \rangle.$$

На необходимость учета взаимодействия между изучаемой системой и исследователем указывал У.Р. Эшби. Но первое определение, в которое в явном виде включен наблюдатель, дал Ю.И. Черняк: «Система есть отражение в сознании субъекта (исследователя, наблюдателя) свойств объектов и их отношений в решении задачи исследования, познания»:

$$S = \langle A, Qb, R, Z, N \rangle.$$

В последующих вариантах этого определения Ю.И. Черняк стал учитывать и язык наблюдателя L_N , начиная с определения:

«Система есть отображение на языке наблюдателя (исследователя, конструктора) объектов, отношений и их свойств в решении задачи исследования, познания»:

$$S = \langle A, Q_K, R_t Z, N, L_N \rangle .$$

В определениях системы бывает и большее число составляющих, что связано с необходимостью дифференциации в конкретных условиях видов элементов, связей и т.д.

Сопоставляя эволюцию определения системы (элементы и связи, затем - цель, затем - наблюдатель) и эволюцию использования категорий теории познания, можно обнаружить сходство: вначале модели (особенно формальные) базировались на учете только элементов и связей, взаимодействий между ними, затем стало уделяться внимание цели, поиску методов ее формализованного представления (целевая функция, критерий функционирования и т.п.), а начиная с 60-х гг. XX века, все большее внимание обращают на наблюдателя, лицо, осуществляющее моделирование или проводящее эксперимент (даже в физике), т.е. лицо, принимающее решение.

С учетом этого и опираясь на более глубокий анализ сущности понятия системы, следует, по-видимому, относиться к этому понятию, как к категории теории познания, теории отражения.

Рассматривая различные определения системы и их эволюцию и не выделяя ни одно из них в качестве основного, можно не только обратить внимание на то, что сложно кратко определить такие (обычно интуитивно постигаемые) понятия, как система, но и осознать тот факт, что на разных этапах представления объекта в виде системы, в различных конкретных ситуациях можно пользоваться разными определениями. Причем по мере уточнения представлений о системе или при переходе на другую ступень ее исследования определение системы не только может, но и должно уточняться.

Определение, включающее и элементы, и связи, и цель, и наблюдателя, а иногда и его «язык» отображения системы, помогает поставить задачу, наметить основные этапы методики системного ана-

лиза. Например, в организационных системах, если не определить лицо, компетентное принимать решения, то можно и не достичь цели, ради которой создается система. Но есть системы, для которых наблюдатель очевиден. Иногда не нужно даже в явном виде использовать понятие цели.

Например, вариант теории систем Ю.А. Урманцева, созданный им для исследования относительно невысоко развитых биологических объектов типа растений, не включает понятие цели как не свойственное для этого класса объектов, а понятие целесообразности, развития отражает в форме особого вида отношений - законов композиции.

Таким образом, при проведении системного анализа необходимо прежде всего отобразить ситуацию с помощью как можно более полного определения системы, а затем, выделив наиболее существенные компоненты, влияющие на принятие решения, сформулировать «рабочее» определение, которое может уточняться, расширяться или сужаться в зависимости от хода анализа.

«Рабочее» определение системы помогает исследователю (разработчику) начать ее описание. Далее для того, чтобы правильно выбирать необходимые элементы, связи, их свойства и другие составляющие, входящие в принятое «рабочее» определение системы, нужно, чтобы лица, формирующие это первоначальное, вербальное представление системы, в одинаковом смысле использовали указанные понятия.

Выбор определения системы отражает принимаемую концепцию и является фактически началом моделирования. Поэтому с самого начала целесообразно представлять определения в символической форме, способствующей однозначному пониманию ее всеми участниками разработки или исследования системы.

Взгляд на определение системы как на средство начала ее исследования и стремление сохранить целостность при преобразовании или проектировании системы, побудили предложить определение, в котором система не расчленяется на самые элементарные частицы (т.е. не разрушается полностью), а представляется как совокупность укрупненных компонентов, принципиально необходимых для существования и функционирования исследуемой или создаваемой системы [3]:

$$S = \langle \{Z\}, \{Str\}, \{Tech\}, \{Cond\} \rangle,$$

где $\{Z\}$ - совокупность или структура целей;

$\{Str\}$ - совокупность структур (производственная, организационная и т.п.), реализующих цели;

$\{Tech\}$ - совокупность технологий (методы, средства, алгоритмы и т.п.), реализующих систему;

$\{Cond\}$ - условия существования системы, т.е. факторы, влияющие на ее создание, функционирование и развитие.

Это определение позволяет не разрушать исследуемую систему, а сохранять в ней основные ее структуры, преобразуя и развивая их в соответствии с поставленными целями, при создании же новой системы помогает получить целостную концепцию ее проектирования, реализовать целевой подход к созданию системы.

Материальна или нематериальна система?

Бессмысленность спора о материальности и нематериальности системы показал В.Г. Афанасьев (рис. 1.2): «...объективно существующие системы - и понятие системы; понятие системы, используемое как инструмент познания системы, - и снова реальная система, знания о которой обогатились нашими системными представлениями, - такова диалектика объективного и субъективного в системе...».

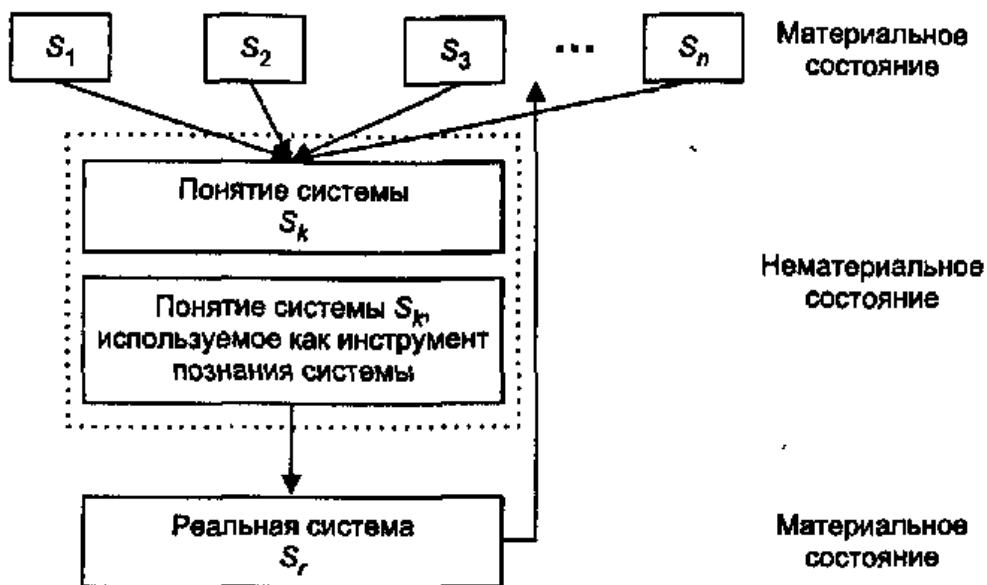


Рис. 1.2. Объективно существующие системы

В связи с обсуждаемым вопросом обратим внимание на то, что в Большой советской энциклопедии наряду с приведенным определением дается следующее: система - «объективное единство закономерно связанных друг с другом предметов, явлений, а также знаний о природе и обществе», т.е. подчеркивается, что понятие элемента (а, следовательно, и системы) можно применять как к существующим, материально реализованным предметам, так и к знаниям об этих предметах или о будущих их реализациях.

Таким образом, в понятии система (как и в любой другой категории познания) объективное и субъективное составляют диалектическое единство, и следует говорить не о материальности или нематериальности системы, а о подходе к объектам исследования, как к системам, о различном представлении их на разных стадиях познания или создания.

Например, Ю.И. Черняк показывает, что один и тот же объект на разных этапах его рассмотрения может быть представлен в различных аспектах и соответственно предлагает одну и ту же систему отображать на разных уровнях существования: философском (теоретико-познавательном), научно-исследовательском, проектном, инженерном и т.д. вплоть до материального воплощения.

Иными словами, в термин система на разных стадиях ее рассмотрения можно вкладывать разные понятия, говорить, как бы о существовании системы в разных формах.

Методика системного анализа (или модель системного исследования) может разрабатываться не обязательно с охватом всего процесса познания или проектирования системы, а для одной из ее страт (что, как правило, и бывает на практике), и чтобы не возникало терминологических и иных разногласий между исследователями или разработчиками системы нужно четко оговорить, о какой именно страте рассмотрения системы идет речь.

Виды систем

Существуют различные виды и классификации систем. Системы различают по назначению: автоматизированная система управления, информационно-поисковая система, система нормативно-методического обеспечения управления, система организационного управления, автоматизированные системы различного вида.

Классифицируют системы по специальным признакам: статическая и динамическая, закрытая и открытая, целенаправленная. Важную роль в выборе методов моделирования играет классификация систем по степени организованности: хорошо организованная, плохо организованная (диффузная) система, самоорганизующаяся (развивающаяся) система.

Концепция риска в задачах системного анализа

В задачах системного анализа присутствует риск. Допущение малой вероятности принятия ошибочного решения не исключает возможности риска. Принятие решения без риска, с предельно пессимистической позиции, как правило, не выгодно. Любой риск по возможности должен учитывать, во-первых, полно, описываться количественными характеристиками и ограничиваться, во-вторых, не превышать уровень, при котором результат достигается с достаточной надежностью. В качестве опорного принимается решение, полученное на основании минимаксного критерия, т.к. данное решение соответствует позиции крайней осторожности.

С учетом необходимости количественной оценки риска, можно предложить следующее определение понятия риска [3]: величина риска, связанная с реализацией нежелательного события или состояния, есть произведение величины последствий развития события на меру возможности его наступления.

Обозначим через A нежелательное событие или состояние, которое может произойти. Пусть данное событие характеризуется вероятностью наступления $P(A)$ и некоторыми последствиями $U(A)$. Тогда риск, связанный с наступлением события будет определяться A , будет определяться [3]:

$$R(A) = U(A)P(A).$$

Мерой возможности наступления события служит вероятность q его наступления. При угрозе материальным ценностям риск измеряют в денежном выражении. Если последствия нежелательного события одинаковы или очень велики, то для сравнения достаточно использовать соответствующие вероятности $P(A)$. При риске, связанного со

здоровьем, последствия частично могут быть оценены простым в работе, расходами на оплату подменяющего персонала. При риске, связанного с летальным исходом, количественные оценки последствий, как правило, отсутствуют. Риск событий катастрофического характера, как правило, получают более высокую оценку.

Субъективные оценки меняются со временем, из-за этого они не могут быть положены в основу технических решений. В отдельных случаях довольствуются, чтобы допустимый риск был заведомо ниже имеющего место в аналогичных ситуациях ранее. Однако это требование наталкивается на препятствия, обусловленные рядом положений: границы не должны зависеть от экономических затрат, снимается ответственность с лица принимающего решение (ЛПР) на выполнение им мероприятий по дальнейшему снижению угрозы безопасности людей, зависимость границ от времени - экономических и технических возможностей общества и др.

Решения, связанные с риском, всегда остаются для исследователя сомнительными, т.к. нельзя заранее определить затраты для четкого разделения во всех случаях оправданного и неправильного риска. Проконтролировать, был ли оправдан данный риск, удастся всегда только после наступления нежелательного события, и возможно это только при оправданных убытках.

Рассмотрим примеры формирования риска.

Технический риск. Технические объекты подвергаются опасности при возрастании нагрузки. При превышении предела прочности происходит выход объекта из строя, при превышении напряжения в сети выходят из строя электрические приборы и др. Риск целесообразно описывать вероятностью при следующих условиях:

А) если последствия выхода из строя объекта нельзя выразить экономическими показателями;

Б) если экономические соображения играют подчиненную роль;

В) если экономические последствия важны, но не поддаются экономической оценке (отказ вычислительного центра предприятия и организации);

Г) если последствия столь велики, что без особых рассуждений нужно минимизировать вероятность выхода объекта из строя.

Технический риск характеризуют вероятностью превышения предела. Если X , Y случайные переменные, причем X характеризует нагрузку (напряжение в сети), а Y - несущую способность (допустимое изменение напряжения в сети $220\text{В}^{+5\%}_{-15\%}$), то для технического риска справедливо соотношение [3]:

$$R_T = p(X > Y).$$

Если существуют плотности распределения нагрузки и несущей способности $f_X(x,t)$, $f_Y(y,t)$ от времени, то при независимости X и Y можно записать:

$$R_T = \int (\int f_X(u-v,t) f_Y(u,t) du) dv$$

Зависимость плотности распределения нагрузки $f_X(x,t)$ от времени отражает характер воздействия факторов во времени на исследуемый объект.

Зависимость плотности распределения несущей способности $f_Y(u,t)$ от времени отражает процесс старения в самом исследуемом объекте. Таким образом, задача определения технического риска сводится к определению плотности распределений нагрузки и несущей способности.

Технико-экономический риск. Рассмотрим случаи, когда последствия при конкретной нагрузке X и несущей способности Y можно описать функцией $h(x,y)$. Определим технико-экономический риск R_e при независимости нагрузки X и несущей способности Y и известных плотностях распределений $f_X(x)$ и $f_Y(y)$ ожидаемых случайных величин следующим соотношением [3]:

$$R_e = \int \int h(u,v) f_X(u) f_Y(v) du dv.$$

Угроза безопасности людей. Угроза при эксплуатации технических средств определяется двумя категориями влияний - событиями, представляющими угрозу, и попаданием в опасную зону. Эти влияния являются случайными явлениями. В предположении равномерности распределения событий во времени можно получить следующие вы-

ражения для вероятности наступления события, представляющего угрозу [3]:

$$P(A)=T_A/T$$

и вероятности попадания в опасную зону

$$P(E)=T_E/T,$$

где T_A - суммарная продолжительность события, представляющего угрозу;

T_E - продолжительность пребывания в опасной зоне;

T - рассматриваемый интервал времени, для которого принимается решение.

Если событие A , представляющее угрозу, и пребывание в опасной зоне E независимы, то вероятность совместной реализации этих двух событий можно оценить по формуле [3]:

$$P(A \cap E) = P(A)P(E).$$

Эта формула говорит, что при данных значениях $P(A)$ и $P(E)$ следует считаться с вероятностью совпадения опасностей, т.е. одновременного наступления представляющего угрозу события и попадания в опасную зону в рассматриваемом отрезке времени. Однако отсюда не следует, с какой вероятностью нужно ожидать реализации, по меньшей мере, одной угрозы. При использовании величины как вероятности угрозы возможны ошибки в интерпретации рассматриваемых ситуаций.

Контрольные задания

1. Определение системы по мере развития теории систем.
2. Споры о материальности и нематериальности системы, выводы.
3. Виды и классификации систем.
4. Риски в задачах системного анализа. Виды рисков.
5. Технический риск. Вероятностное описание риска.
6. Техничко-экономический риск. Вероятностное описание риска.
7. Угроза безопасности людей. Вероятности наступления события, представляющего угрозу.

1.3. Характеристики сложных систем. Виды и формы системных структур

В исследованиях принято различать разные виды структур как средств описания системы. Структура может быть представлена в графической, матричной форме, в форме теоретико-множественного описания, с помощью языка топологии, математических средств и т.п. Можно выделить следующие средства описания структур [1].

1) Сетевая структура представляет декомпозицию элементов, представленных во времени.

При сетевом представлении структуры системы (рис. 1.3) принято использовать такие понятия, как: вершина, ребро, путь, критический путь.

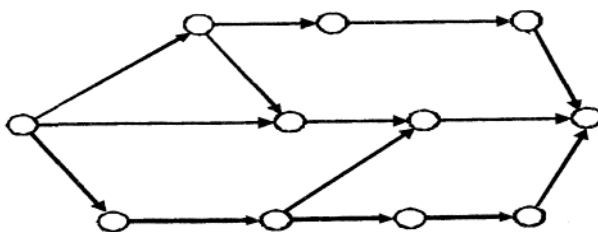


Рис. 1.3. Сетевая структура системы

Сетевые структуры систем отображают порядок операций, или действий в системе. Например, с помощью сетевого графика описываются производственные этапы деятельности, при проектировании систем отображается ее сетевая модель, при создании плана производственной деятельности - сетевой план. Сетевые модели могут быть представлены однонаправленными, обратными и циклическими связями между элементами системы. Такие связи описываются в виде пути или критического пути между элементами.

При системном анализе сетевых структур используется математический аппарат теории графов, а также теория сетевого планирования и управления, которая имеет прикладной характер.

2) Иерархическая структура (рис. 1.4) представляет собой декомпозицию системы в пространстве, устанавливая уровневые связи (отношения) между элементами (подсистемами) в целом образовании.

Элементы или компоненты системы представляются в виде вершин или узлов, а связи между элементами - в виде дуги или соединения узлов. Иерархические структуры принято называть древо-

видными структурами, типа «дерево». Чаще всего с помощью таких структур представляются целеполагания и цели управления системой, о которых будет рассказано дальше.

3) Многоуровневые иерархические структуры принято изображать в виде страт, слоев, эшелонов.

Страты - это способ описания сложных структур с помощью замены их наиболее простыми моделями. При этом способе каждая страта описывает свой уровень абстракции, сохраняя особенности входных и выходных параметров (рис. 1.5).

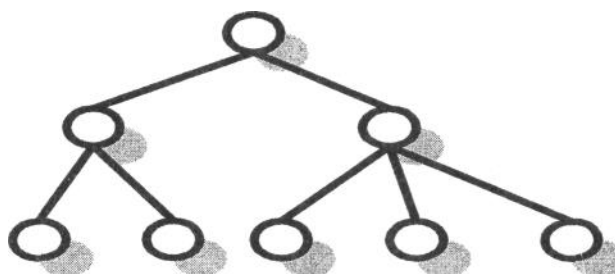


Рис. 1.4. Простейшая иерархическая структура системы



Рис. 1.5. Представление системы в виде страт

Слои - это способ описания последовательности решаемых проблем с целью поиска наилучшего метода их решения. Причем при решении многослойных проблем предусматривается учет допустимых ограничений на моделирование нижележащих объектов, без утери общего замысла решения в следующей проблеме (рис. 1.6).

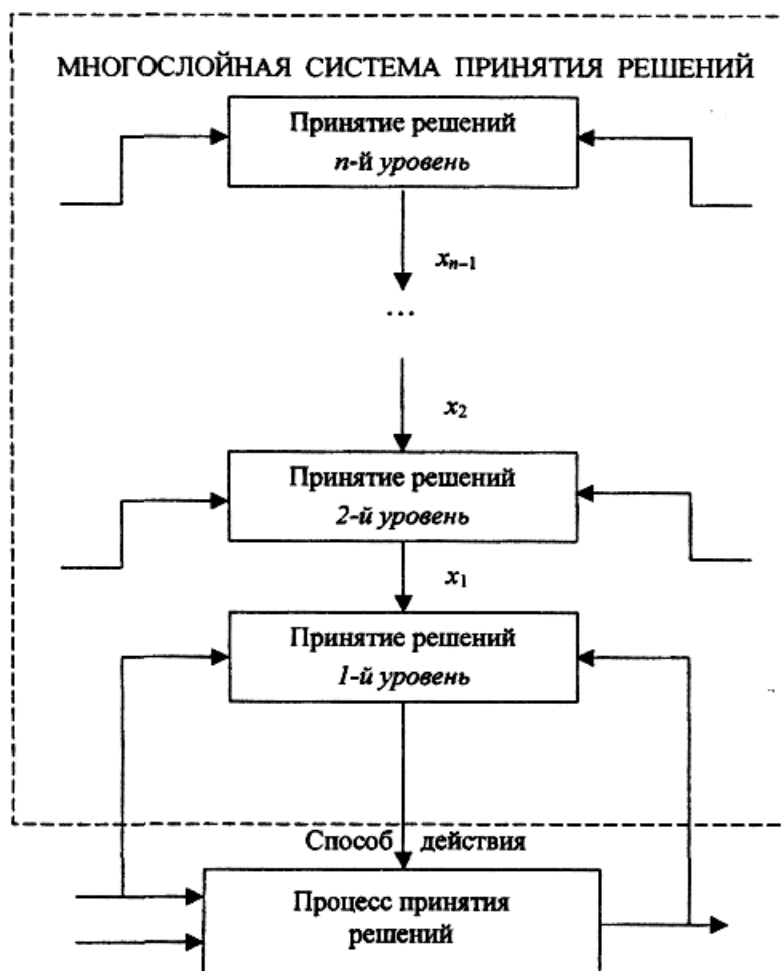


Рис. 1.6. Многослойная структура системы принятия решений

Эшелон – это способ описания иерархической структуры в виде относительно зависимых, взаимодействующих между собой подсистем (объектов). Такие многоэшелонные структуры описывают относительно независимые уровни управления. На каждом уровне управления подсистемы имеют определенную степень свободы выбора управленческого решения. На рис. 1.7 представлена структура подсистем управления, которая выполнена в виде эшелонов. Каждый эшелон представляет собой определенный уровень подсистемы управле-

ния. Связь между уровнями управления представлена в виде координации процесса принятия решений в каждой подсистеме. Такую структурную организацию связей между подсистемами управления принято называть многоцелевой иерархической структурой управления. Поэтому многоэшелонные структуры часто называют многоцелевыми.

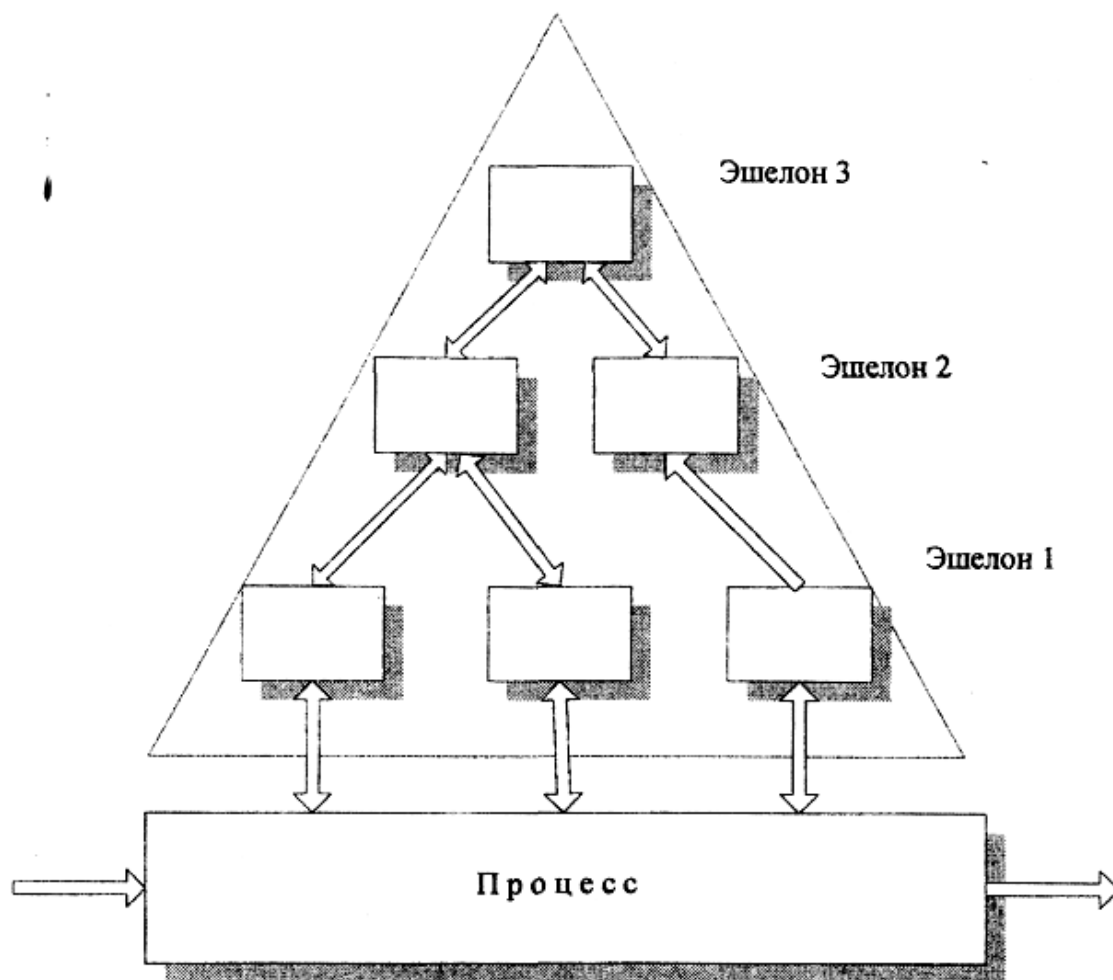


Рис. 1.7. Иерархическая структура системы управления, представленная в виде эшелонов

4) Матричные структуры представляют взаимоотношения между уровнями иерархической структуры. Они могут быть описаны в виде древовидной иерархической структуры связей, двумерной матрицы со «слабыми» и «сильными» связями и многомерной матрицы (рис. 1.8).

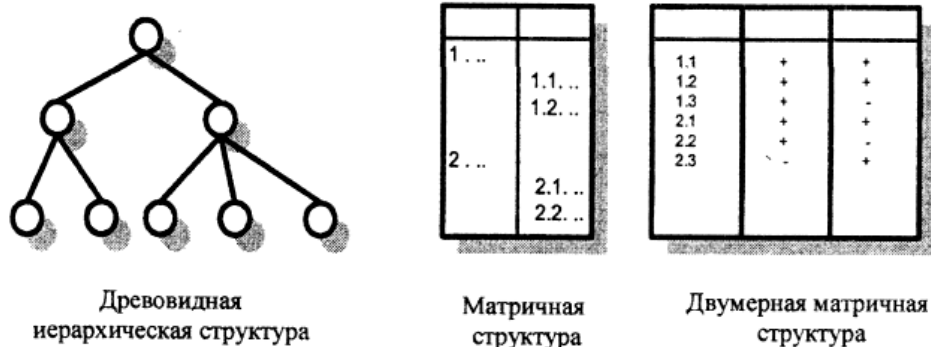


Рис. 1.8. Примеры матричных структур системы

5) Смешанные иерархические структуры с вертикальными и горизонтальными связями. Примером такой системы может послужить государственная система управления.

6) Структуры с произвольными связями используются, как правило, на начальном этапе исследования системы для определения важных и необходимых элементов и установления лишь тех связей и отношений, которые оказывают наибольшее влияние на принятие управленческих решений.

На рис. 1.9 представлена система, состоящая из четырех элементов, которая представлена произвольными связями между ними.

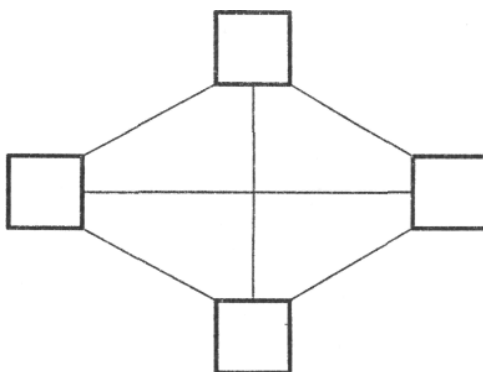


Рис. 1.9. Структура системы с произвольными связями

Такое графическое представление системы, как правило, используется на первом этапе исследования, когда еще не установлены закономерности связей и отношений между элементами. Описание систем в виде структуры с произвольными связями чаще всего - используется на уровне формирования авторской концепции системного исследования выделяемого объекта из окружающей среды.

Классификация систем

В основе любой классификации систем лежит определение наиболее существенного признака или их сочетания, который (которые) описывает некоторую общность свойств систем. К таким признакам можно отнести классификацию систем:

- по происхождению (естественные и искусственные);
- степени объективности существования (материальные и абстрактные);
- содержанию (социальные, физические, экономические, технические и т.п.);
- степени взаимосвязи с окружением (открытые, закрытые, относительно обособленные);
- состоянию во времени (статические и динамичные);
- обусловленности функционального действия (детерминированные и вероятностные);
- обусловленности процессов управления (управляемые и самоуправляемые);
- уровню сложности структуры (суперсложные, большие и сложные, подсистемы, элементы);
- степени внутренней организации (хорошо организованные, диффузные и самоорганизованные);
- методам формализованного описания объекта в качестве системы (адекватное, теоретико-множественное представление, информационное описание, имитационно-динамическое, структурно-лингвистическое представление и т. п.);
- методам моделирования процесса развития (управляемые, адаптивные, самообучаемые, самовосстанавливающиеся, самовоспроизводящиеся и т. п.).

В теории систем принято все исследуемые системы делить на три основных класса: абстрактные, естественные и искусственные. Такое деление имеет важное методологическое значение для исследования систем. Первые системы являются основой для эволюции научных теорий познания. Вторые - основой для выявления закономерностей и формулирования законов природы всех явлений. Третьи - для развития отраслевых научных знаний.

Абстрактные системы – это системы теоретико-методологического характера, позволяющие описывать общие и специфические свойства организационной структуры элементов, связей и отношений в целостном образовании для познания, изучения и проектирования состояния, поведения и развития исследуемого сложного объекта в качестве системы. Абстрактные системы необходимы для разработки логических моделей представления о материальных системах. Абстрактные системы классифицируются по способу познания и методам формального описания (рис. 1.10).

Логически-описательные модели, или вербальные (словесные) модели, создаются на основе использования дедуктивного (теоретического построения гипотез, рассуждения, умозаключения от общего к частному) и индуктивного (способ научного познания от частного к общему) методов описания исследуемого объекта-системы в качестве системы научных понятий и определений об основных закономерностях структуры, организации, состояния и поведения материальных систем.



Рис. 1.10. Классификация способов представления абстрактных систем

Символические модели – это модели, которые в графическом или математическом виде позволяют описать структурно-функциональные особенности исследуемого объекта-системы в формализованном виде. Представление объекта-системы в графическом виде позволяет выделить основные элементы системы (количество элементов и их основные параметры), описать характер связей (пря-

мые, обратные, циклические) и отношений (уровни иерархического соподчинения). Графические модели могут создаваться как промежуточный этап для разработки математической модели. Часто создание математической модели затруднено из-за того, что отсутствует образное представление системы как целого объекта исследования. Графические модели могут быть представлены в виде плоскостных моделей (алгоритмы линейного, разветвленного и циклического построения) или объемных, в которых хорошо просматриваются варианты возможных связей между элементами при взаимодействии разных факторов внутренней и внешней среды.

Математические модели могут быть представлены тремя основными классами:

- статические модели, описывающие статическое состояние системы в качестве системы уравнений;
- динамические модели, которые описывают формально процессы функционирования элементов или всей системы;
- квазистатические модели, которые описывают переходные процессы состояний от статики к динамике или, наоборот, в элементах или системе в целом.

Абстрактные модели позволяют на теоретико-логическом уровне представить обоснование научной гипотезы исследования объекта-системы, которую в дальнейшем необходимо довести до практической реализации, т.е. использовать ее для выявления определенных параметрических закономерностей состояния или процессов в виде математических моделей материальных систем.

Материальными системами принято называть все объективно существующие системы в пространстве и времени. Материальные системы принято разделять по происхождению на естественные и искусственные.

К естественным системам принято относить те системы, которые имеют естественно-природное происхождение. Например, природные ресурсы экономики, человек как системный объект исследования в социальных и образовательных системах, природные явления как системный объект в исследовании физических, химических, биологических и других наук.

Естественные системы изучаются на основе законов и закономерностей естественных отраслевых наук физики, химии, биологии и т.п. Их формальное описание осуществляется на базе естественно-математических методов моделирования. Естественные системы - это системы, в которых компонентами являются те или иные природные элементы явлений, структур или процессов природного окружения. Любая естественная система всегда является достаточно сложной для ее изучения с точки зрения системного подхода. Это объясняется тем, что в рамках предметного исследования очень сложно выделить число дискретных элементов и описать достаточно адекватно связи между ними. Например, математик Г. Н. Поваров делит все системы в зависимости от числа элементов, в нее входящих, на четыре класса;

- малые ($10 - 10^3$ элементов);
- сложные ($10^3 - 10^7$ элементов);
- ультрасложные ($10^7 - 10^{30}$ элементов);
- суперсложные ($10^{30} - 10^{200}$ элементов).

К искусственным системам относятся все остальные, которые были созданы самим человеком для обеспечения всех потребностей своего существования на Земле. Все существующие общественно-организационные системы можно считать искусственными. Например, такие системы, как социально-культурная, образовательная, экономическая, техническая, технологическая и т.д. можно определить в качестве искусственных. Каждая из них имеет специальное целевое назначение для организации общественной жизни человека на Земле.

Социально-экономические системы представляют собой достаточно сложные многоуровневые, многофакторные и многокритериальные открытые системы. Причем, эти системы имеют комплексную организацию, так как взаимодействие между социальными и экономическими параметрами элементов такой системы всегда носит нелинейный, динамичный и резонансный характер. Это обстоятельство необходимо учитывать при проектировании информационных систем в экономике.

На рис. 1.11 показаны основные элементы реализации системного подхода в исследовании материальных систем с учетом принципов теории систем.



Рис. 1.11. Необходимые элементы исследования материальных систем

Представленная на рисунке 1.11 схема показывает основные способы, принципы и методы описания материальных систем в качестве объекта-системы. Выше мы уже приводили пример классификации систем по способу представления на простые (малые) и большие и сложные. В специальной литературе существует много понятий по поводу определений больших и сложных систем.

Большие и сложные системы

Большая часть авторов склонна считать, что сложная система может быть и не большой, а большая - не всегда сложной. Поэтому следует дать определение понятиям «большая» и «сложная».

Большие системы - это такие системы, в которых число состояний, определяемых состоянием элементов или взаимосвязями между элементами, комбинаторно велико или несчетно. Это обстоятельство существенно характеризует специфику свойств большой системы и накладывает ряд ограничений в процессе ее исследования.

Понятие «комбинаторно» следует определять, как наличие в системе многообразия комбинаций связей и вариантов отношений между элементами, которые могут динамично изменять их состояние.

Сравнение таких вариантов на основе перебора часто оказывается принципиально невозможным. Поэтому для исследования больших систем требуются специфические методы исследования на основе синтеза. Одним из таких методов является метод декомпозиции системы, разбиение ее на достаточно определенные подсистемы и установление тех элементов, которые определяют взаимосвязь посредством хотя бы одного общего ресурса (средства) обмена информацией или веществом.

Сложные системы - это такие системы, в которых все функциональные процессы имеют динамичный характер и не могут быть описаны на языке классической математики с использованием формул и аналитических структур. Они могут быть лишь представлены имитационными моделями с той или иной степенью адекватности. Исследование сложных систем и динамичных процессов, протекающих в них, сталкивается с двумя видами сложности: внутренней и внешней. Внутренняя сложность связана с необходимостью учета синергетических свойств как в элементах, так и в самой системе. Внешняя сложность заключается в том, что необходимо учитывать влияние всех факторов внешней среды на систему, которые могут вызывать случайные отклонения от заданной цели развития или существования. Результат взаимодействия внешних и внутренних факторов может иметь не только детерминированный, но и вероятностный или стохастический характер.

Понятие «детерминированный» определяет предсказуемый характер процесса, который можно описать в виде четкого алгоритма поведения системы в зависимости от управляющих воздействий.

Понятие «стохастичность» определяет вероятностный (непредсказуемый) характер поведения системы в зависимости от случайных факторов, которые могут вызывать нестабильность отдельных параметров системы в целом.

В современных системных исследованиях появился новый класс сложных систем, которые определяются в качестве адаптивных, самоорганизующихся и самоуправляемых систем.

Термин «адаптация» (от лат. *adaptatio* - приспособление) означает, что объект-система обладает рядом свойств приспособления, которые позволяют ей изменять свое состояние, структуру и поведение в процессе взаимодействия с внешней средой.

Например, для социально-экономических систем часто используется новое понятие «адаптивная организационная структура», которое следует понимать, как организационную структуру, способную гибко изменять свои цели, задачи, функции, свойства и поведение в зависимости от динамично изменяющихся условий внешнего окружения.

Средства адаптации в сложных системах могут быть различными. Это и система самообучения, которая использует закономерности биологических, физических и психологических «механизмов» обучения человека. Методологической основой развития теории адаптивных социально-экономических систем становятся принципы и закономерности адаптации живого организма в окружающей среде. Исследование адаптивных систем развивается на основе синергетических идей и использования методов теории бифуркации, теории особенностей, теории катастроф. В основе этих теорий лежит изучение закономерностей качественных изменений, которые происходят в структуре элементов на параметрическом уровне.

Контрольные задания

1. Виды и формы системных структур
2. Классификация систем
3. Большие и сложные системы

Глава 2. ЭТАПЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

2.1. Сущность и принципы системного подхода.

Декомпозиция – метод изучения сложных систем

Теория систем и системного анализа (ТССА), как отрасль науки, может быть разделена на две, достаточно условные части:

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

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

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

Плачевный опыт попыток решения системных вопросов с игнорированием этого принципа, попыток использования «местечкового» подхода достаточно хорошо изучен. Локальные решения, учет недостаточного числа факторов, локальная оптимизация - на уровне отдельных элементов почти всегда приводили к неэффективному в целом, а иногда и опасному по последствиям, результату.

Основные принципы ТССА:

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

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

- Весьма важным атрибутом системы является ее эффективность. Теоретически доказано, что всегда существует функция ценности системы в виде зависимости ее эффективности (почти всегда это

экономический показатель) от условий построения и функционирования. Кроме того, эта функция ограничена, а значит можно и нужно искать ее максимум. Максимум эффективности системы может считаться третьим ее основным принципом.

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

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

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

Сущность системного подхода:

1) Проблемы согласования целей

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

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

А дальше надо системой управлять - точнее решать вопрос об алгоритме или тактике управления для достижения наибольшей эффективности. Скорее всего, именно в этой области и лежит поле профессиональной деятельности в вашей будущей профессии, решения задач организационно-управленческого характера.

Вроде бы все очень просто - имеется система (предприятие), выделены его подсистемы (отделы), определены функции каждой подсистемы и каждого элемента в них, описаны связи внутри системы и по отношению к внешней среде. Так пусть каждый элемент функционирует оптимально - наиболее эффективно делает свое дело.

Но здесь почти всегда возникают противоречия, суть которых можно определить с помощью примера, ставшего классическим.

Рассмотрим деятельность некоторой фирмы, производящей определенные виды продукции и, естественно, стремящейся получить максимальную прибыль от ее продажи. Пусть решается простой вопрос - сколько готовой продукции хранить на складе предприятия и сколько разновидностей ее должно производиться? Посмотрим на «частные» интересы различных отделов фирмы и сразу же обнаружим их несовпадение.

Да, каждый из отделов заинтересован в достижении глобальной цели - максимуме прибыли фирмы (если это не так, то системный подход здесь бессилён). Но!

- Производственный отдел будет заинтересован в длительном и непрерывном производстве одного и того же вида продукции. Только в этом случае будут наименьшими расходы на наладку оборудования.

- Отдел сбыта, наоборот, будет отстаивать идею производства максимального числа видов продукции и больших запасов на складах.

- Финансовый отдел, конечно же, будет настаивать на минимуме складских запасов — то, что лежит на складе, не может приносить прибыли!

- Даже отдел кадров будет иметь свою локальную целевую функцию производить продукцию всегда (даже в периоды делового

спада) и в одном и том же ассортименте, так как в этом случае не будет проблем текучести кадров.

Вот и представьте себе сложность задачи управления такой большой системой с достижением глобальной цели - максимума прибыли.

Ясно, что придется ставить и решать задачи согласования целей отдельных подсистем и хорошо еще, если показатели эффективности подсистем имеют ту же размерность, что и показатель (критерий) эффективности системы в целом. Ведь вполне может оказаться, что эффективность работы некоторых подсистем приходится измерять не в денежном выражении, а с помощью других, не числовых, показателей.

2) Проблемы оценки связей в системе

Рассмотрим теперь вопрос о связях системы - между отдельными элементами подсистем, подсистемами разных уровней и связях с внешней средой. Хотя бы умозрительно можно полагать наличие каналов, по которым эти связи производятся. Но чем же «наполнены» такие каналы? Скорее всего, в экономических системах можно обнаружить и выделить только три типа наполнителей:

- продукция;
- деньги;
- информация.

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

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

Вторая проблема оценки связей в системе станет понятной, если мы примем условное деление систем на естественные и искусственные. Никто не станет отрицать, что в природе все взаимосвязано - все «имеет свой конец, свое начало». И, тем не менее, все согласятся с

тем, что «поведение» природы (а тем более - человека) невозможно предсказать со 100% уверенностью.

Таким образом, вторая проблема оценки связей при системном анализе заключается в том, что количества продукции, суммы денег и показатели информационных потоков в каналах связи системы имеют стохастичную, вероятностную природу - их значения в данный момент времени нельзя предсказать абсолютно надежно.

Поэтому при системном анализе часто приходится иметь дело не с конкретными значениями величин, не с заранее определенными событиями, а с их оценками по прошлым наблюдениям или по прогнозам на будущее. Отсюда возникает необходимость использования специальных, большей частью прикладных методов математической статистики.

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

Без риска ошибки в реальном, окружающем нас мире просто жить, а уж тем более действовать, - практически невозможно. Надо осознать, что даже самое точное следование рекомендациям науки не дает гарантии получить именно то, что мы задумали, проектировали, планировали. В утешение лишь скажем, что можно рисковать без попыток просчитать возможные последствия и можно рисковать в условиях, когда использованы все научные методы оценки этих последствий.

Это совершенно противоположные подходы, но нельзя считать, ни один из них «юридически законным» или вытекающим из каких ни будь законов природы, нельзя считать стиль управления системой на основе системного анализа «правильным», «современным», «культурным». Другое дело - не знать о возможности применения систем-

ного подхода к вопросам управления - вот это неправильно, некультурно.

3) Моделирование как метод системного анализа

Одной из проблем, с которой сталкиваются почти всегда при проведении системного анализа, является проблема эксперимента в системе или над системой. Очень редко это разрешено моральными законами или законами безопасности, но сплошь и рядом связано с материальными затратами и (или) значительными потерями информации.

Опыт всей человеческой деятельности учит - в таких ситуациях надо экспериментировать не над объектом, интересующим нас предметом или системой, а над их моделями. Под этим термином надо понимать не обязательно модель физическую, т.е. копию объекта в уменьшенном или увеличенном виде. Физическое моделирование очень редко применимо в системах, хоть как-то связанных с людьми. В частности, в социальных системах (в том числе - экономических) приходится прибегать к математическому моделированию.

Обращаясь к примеру системного анализа обучения, можно заметить, что там нечего вычислять по формулам - где же их взять. Это так и есть, не существует методов расчета в такой сфере как «прием-передача» знаний и сомнительно, чтобы эти методы когда-либо появились.

Так что же? Если нет математических моделей - не выдумывать же их самому? Ответ на этот вопрос самый простой: всем это уметь и делать - не обязательно, а вот тому, кто взялся решать задачи системного анализа - приходится и очень часто. Иногда здесь возможна подсказка природы, знание технологии системы; в ряде случаев может выручить эксперимент над реальной системой или ее элементами (т.н. методы планирования экспериментов) и, наконец, иногда приходится прибегать к методу «черного ящика», предполагая некоторую статистическую связь между его входом и выходом.

Конечно, возможны ситуации, когда все процессы в большой системе описываются известными законами природы и когда можно надеяться, что запись уравнений этих законов даст нам математическую модель хотя бы отдельных элементов или подсистем. Но и в

этих, редких, случаях возникают проблемы не только в плане сложности уравнений, невозможности их аналитического решения (расчета по формулам). Дело в том, что в природе трудно обнаружить примеры «чистого» проявления ее отдельных законов - чаще всего сопутствующие явление факторы «смазывают» теоретическую картину.

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

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

Из хорошо себя зарекомендовавших на практике можно упомянуть модели: межотраслевого баланса; роста; планирования экономики; прогностические; равновесия и ряд других.

Завершая вопрос о моделировании при выполнении системного анализа, резонно поставить вопрос о соответствии используемых моделей реальности.

Это соответствие или адекватность могут быть очевидными или даже экспериментально проверенными для отдельных элементов системы. Но уже для подсистем, а тем более системы в целом существует возможность серьезной методической ошибки, связанная с объективной невозможностью оценить адекватность модели большой системы на логическом уровне.

Иными словами - в реальных системах вполне возможно логическое обоснование моделей элементов. Эти модели мы как раз и стремимся строить минимально достаточными, простыми настолько, насколько это возможно без потери сущности процессов. Но логически осмыслить взаимодействие десятков, сотен элементов человек уже не в состоянии. И именно здесь может «сработать» известное в математике следствие из знаменитой теоремы Гёделя - в сложной си-

стеме, полностью изолированной от внешнего мира, могут существовать истины, положения, выводы вполне «допустимые» с позиций самой системы, но не имеющие никакого смысла вне этой системы.

То есть, можно построить логически безупречную модель реальной системы с использованием моделей элементов и производить анализ такой модели. Выводы этого анализа будут справедливы для каждого элемента, но ведь система - это не простая сумма элементов, и ее свойства не просто сумма свойств элементов.

Отсюда следует вывод - без учета внешней среды выводы о поведении системы, полученные на основе моделирования, могут быть вполне обоснованными при взгляде изнутри системы. Но не исключена и ситуация, когда эти выводы не имеют никакого отношения к системе - при взгляде на нее со стороны внешнего мира.

Здесь приходит на помощь особый способ моделирования - метод статистических испытаний (Монте Карло). Суть этого метода проста — имитируется достаточно долгая «жизнь» модели. При этом моделируются и регистрируются случайно меняющиеся внешние (входные) воздействия на систему. Для каждой из ситуаций по уравнениям модели просчитываются выходные (системные) показатели. Затем производится обратный расчет — по заданным выходным показателям производится расчет входных. Конечно, никаких совпадений мы не должны ожидать - каждый элемент системы при входе «Да» вовсе не обязательно будет «Да» на выходе.

Но существующие современные методы математической статистики позволяют ответить на вопрос - а можно ли и, с каким доверием, использовать данные моделирования. Если эти показатели доверия для нас достаточны, мы можем использовать модель для ответа на поставленные выше вопросы.

4) Декомпозиция - метод изучения сложных систем

Декомпозиция (структуризация) - расчленение системы на части при ее исследовании или проектировании. Термин декомпозиция первоначально в теории систем был более широко распространен, чем термин структуризация, и применялся для расчленения любых объектов при представлении их в виде систем.

Однако в 70-е гг. XX в. С.П. Никаноров предложил различать эти понятия и в настоящее время термин декомпозиция применяется в основном для расчленения технических объектов и систем, в отношении которых известен алгоритм (конструкция, технология) возникновения, т.е. новых свойств у целого, собранного изделия, и выполняется закономерность аддитивности.

Закономерность аддитивности - закономерность теории систем, двойственная по отношению к закономерности целостности.

Свойства физической аддитивности проявляются у системы, как бы распавшейся на независимые элементы; тогда становится справедливым соотношение

$$Q_t = \sum y_i,$$

где Q_t - свойства системы;

y - свойство i -го элемента.

В этом крайнем случае и говорить-то о системе нельзя.

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

Реальная развивающаяся система всегда находится между двумя крайними состояниями - абсолютной целостности и аддитивности, и важно оценивать степень целостности системы. Уровень декомпозиции (аддитивности) зависит от круга тех вопросов, на которые исследователь системы хочет получить ответ с помощью модели, и в какой - то степени определяется выбором математической схемы.

Под основаниями декомпозиции понимается совокупность элементов системы (частей), вглубь которых не проникает описание, т.е. они являются условно неделимыми [2].

Известно, что качество построенных структур зависит от применяемой методики декомпозиции. При этом набор частей должен быть, с одной стороны, полным, а, с другой стороны, не должен быть избыточным.

Основанием всякой декомпозиции, таким образом, является модель состава рассматриваемой системы.

Вопрос о полноте декомпозиции - это вопрос завершенности модели: частей должно быть столько, сколько элементов содержит модель, взятая в качестве основания.

Иногда полезно в качестве оснований декомпозиции не только перебирать разные модели целевой системы, но и брать сначала модели надсистемы, затем - самой системы и, наконец, модель подсистемы. Часто достаточно организовать простой перебор формальных типов моделей (фреймов): «черного ящика», состава, структуры, структурной схемы, модель жизненного цикла, модель масштаба и т.д.

Проблема полноты моделей заключается в том, что содержательная модель строится по образцу формальной. Важно отыскать компромисс между полнотой и простотой.

Набор полных моделей (фреймов), по большому счету, только открывает перед исследователем поле возможных вариантов изучения систем и направлен на то, чтобы вызвать определенные ассоциации по поводу исследуемой системы.

Существуют несколько видов декомпозиции сложных систем и процессов: структурная, функциональная, информационная и др.

Структурная декомпозиция системы используется для раскрытия внутренней организации системы, связей составляющих систему элементов. Она определяет существование системы как целого и ее качественные особенности. Структура определяет упорядоченность элементов системы - это относительно устойчивый, упорядоченный способ связи элементов, придающий их взаимодействию в рамках внутренне расчлененного объекта целостный характер.

Сущностью структурной декомпозиции является определение статических характеристик системы по ее структуре, она проводится с целью исследования статических характеристик системы путем выделения в ней подсистем и элементов различного уровня и связей между ними.

Функциональная декомпозиция проводится с целью определения динамических характеристик системы путем исследования процессов изменения ее состояний с течением времени на основе принятых алгоритмов (способов, методов, принципов, концепций) управле-

ния. Можно сказать, что функциональная декомпозиция направлена на детальное исследование процессов управления. Объектами функциональной декомпозиции 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.

Объектом информационной декомпозиции системы управления являются информационные процессы, протекающие в системе управления. Сущностью информационного декомпозиции 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. Информационная декомпозиция проводится с целью исследования количественных и качественных характеристик информации, используемой в системе управления.

Алгоритм декомпозиции как способ упрощения сложного заключается в следующем [2]:

1. Определение объекта анализа (все, что угодно - система, процесс, любое высказывание, раскрытие смысла которого требует структурирования).
2. Определение целевой системы (определить - зачем нужно то, что мы собираемся делать; в качестве целевой выступает система, в интересах которой осуществляется анализ).
3. Выбор формальных моделей (набор фреймов и правил перебора).
4. Определение модели основания (строится с помощью классификаторов на основании изучения целевой системы).
5. Очередной объект декомпозиции анализируется.
6. Осуществляется процедура декомпозиции.
7. Анализируются полученные фрагменты.
8. Проверка очередного фрагмента на элементарность.
9. Проверка использования всех фреймов.
10. Проверка: все ли основания детализированы.

11. Отчет: окончательный результат в форме структуры (графа, схемы, диаграммы и др.).

В реализации приведенного алгоритма компромисс достигается с помощью понятий существенного (необходимого), элементарного (достаточного), а также постепенной нарастающей детализацией базовых моделей и итеративности алгоритма декомпозиции.

Контрольные задания

1. Содержание системного подхода при исследовании систем.
2. Принципы системного подхода.
3. Проблемы согласования целей.
4. Проблемы связей в системе и их решение.
5. Использование моделей при анализе систем. Адекватность и правдивость моделей.
6. Применение декомпозиции при изучении сложных систем.
7. Виды декомпозиции сложных систем.
8. Объекты информационной декомпозиции системы управления.
9. Содержание алгоритмов декомпозиции.

2.2. Описание системы как «черного ящика»

Центральной концепцией теории систем, кибернетики, системного подхода, всей системологии является понятие «система». Поэтому очень многие авторы анализировали это понятие, развивали определение системы до различной степени формализации.

Первое определение системы

Начнем с рассмотрения искусственных, т.е. создаваемых человеком систем [4]. Как уже отмечалось, любая деятельность человека носит целенаправленный характер. Цели, которые ставит перед собой человек, редко достижимы только за счет его собственных возможностей или внешних средств, имеющихся у него в данный момент. Такое стечение обстоятельств называется «проблемной ситуацией». Проблемность существующего положения осознается в несколько «стадий»: от смутного ощущения что «что-то не так», к осознанию

потребности, затем к выявлению проблемы и, наконец, к формулировке цели.

Цель – это субъективный образ (абстрактная модель) несуществующего, но желаемого состояния среды, которое решило бы возникшую проблему. Вся последующая деятельность, способствующая решению этой проблемы, направлена на достижение поставленной цели, т.е. как работа по созданию системы. Другими словами: система есть средство достижения цели. В инженерной практике момент формулирования цели — один из важнейших этапов создания систем. Обычно цели уточняются итеративно, с многократными изменениями и дополнениями.

Между целью (абстрактной и конечной моделью) и реальной системой не может быть однозначного соответствия: для достижения заданной цели могут быть избраны разные средства — системы. С другой стороны, заданную реальную систему можно использовать и для других целей, прямо не предусмотренных при ее создании.

Перейдем от определения системы к его визуальному эквиваленту. Во-первых, приведенное определение ничего не говорит о внутреннем устройстве системы. Поэтому ее можно изобразить в виде непрозрачного «ящика», выделенного из окружающей среды. Подчеркнем, что уже эта, максимально простая, модель по-своему отражает два следующих важных свойства системы: целостность и обособленность от среды.

Под «чёрным ящиком» понимается объект исследования, внутреннее устройство которого неизвестно [5]. Понятие «чёрный ящик» предложено У. Р. Эшби. В кибернетике оно позволяет изучать поведение систем, то есть их реакций на разнообразные внешние воздействия и в то же время абстрагироваться от их внутреннего устройства.

Манипулируя только лишь с входами и выходами, можно проводить определенные исследования. На практике всегда возникает вопрос, насколько гомоморфизм «чёрного ящика» отражает адекватность его изучаемой модели, то есть, как полно в модели отражаются основные свойства оригинала.

Описание любой системы (например, управления) во времени характеризуется картиной последовательности её состояний в процессе движения к стоящей перед нею цели. Преобразование в системе

может быть либо взаимно-однозначным и тогда оно называется изоморфным, либо только однозначным, в одну сторону. В таком случае преобразование называют гомоморфным.

«Чёрный» ящик» представляет собой сложную гомоморфную модель кибернетической системы, в которой соблюдается разнообразие. Он только тогда является удовлетворительной моделью системы, когда содержит такое количество информации, которое отражает разнообразие системы. Можно предположить, что чем большее число возмущений действует на входы модели системы, тем большее разнообразие должно иметь управляющее устройство.

В настоящее время известны два вида «чёрных ящиков». К первому виду относят любой «чёрный ящик», который может рассматриваться как автомат, называемый конечным или бесконечным. Поведение таких «чёрных ящиков» известно. Ко второму виду относятся такие «чёрные ящики», поведение которых может быть наблюдаемо только в эксперименте. В таком случае в явной или неявной форме высказывается гипотеза о предсказуемости поведения «чёрного ящика» в вероятностном смысле. Без предварительной гипотезы невозможно любое обобщение, или, как говорят, невозможно сделать индуктивное заключение на основе экспериментов с «чёрным ящиком». Для обозначения модели «чёрного ящика» Н. Винером предложено понятие «белого ящика». «Белый ящик» состоит из известных компонентов, то есть известных X , Y , δ , λ . Его содержимое специально подбирается для реализации той же зависимости выхода от входа, что и у соответствующего «чёрного ящика». В процессе проводимых исследований и при обобщениях, выдвижении гипотез и установления закономерностей возникает необходимость корректировки организации «белого ящика» и смены моделей. В связи с этим при моделировании исследователь должен обязательно многократно обращаться к схеме отношений «чёрный» – «белый ящик».

Модель «чёрного ящика»

Перейдем от определения системы к его визуальному эквиваленту. Во-первых, приведенное определение ничего не говорит о внутреннем устройстве системы. Поэтому ее можно изобразить в виде

непрозрачного «ящика», выделенного из окружающей среды. Подчеркнем, что уже эта, максимально простая, модель по-своему отражает два следующих важных свойства системы: целостность и обособленность от среды.

Во-вторых, в определении системы косвенно говорится о том, что хотя «ящик» и обособлен, выделен из среды, но не является полностью от нее изолированным.

Иначе говоря, система связана со средой и с помощью этих связей воздействует на среду. Эти связи называются выходами системы. Подчеркнем еще раз, что выходы системы в данной графической модели соответствуют слову «цель» в словесной модели системы (в первом определении). Кроме того, система является средством, поэтому должны существовать и воздействия на нее, т.е. такие связи со средой, которые направлены извне в систему, которые называются входами системы.

В результате мы построили модель системы, которая получила название «черного ящика» (рис. 2.1).

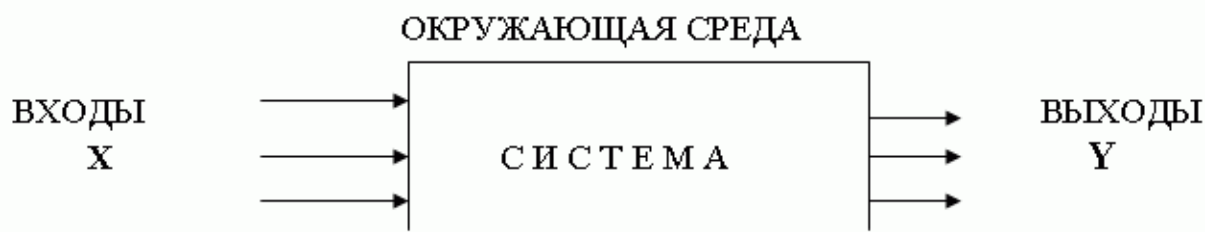


Рис. 2.1. Модель «черного ящика»

Это название образно подчеркивает полное отсутствие сведений о внутреннем содержании системы. В модели задаются только входные и выходные связи системы со средой, т.е. множество X и Y входных и выходных переменных. Такая модель, несмотря на внешнюю простоту и на отсутствие сведений о внутреннем строении системы, часто оказывается очень полезной. Отметим, однако, что построение модели «черного ящика» не является тривиальной задачей, так как на вопрос о том, сколько и какие именно входы и выходы следует включать в модель, ответ не прост и не всегда однозначен.

Модель состава системы

При рассмотрении любой системы обнаруживается, что ее целостность и обособленность, отображенные в модели черного ящика, выступают как внешние свойства. Внутренность же «ящика» оказывается неоднородной, что позволяет различать составные части самой системы. При более детальном рассмотрении некоторые части системы могут быть, в свою очередь, разбиты на составные части и т.д. Те части системы, которые мы рассматриваем как неделимые, называются элементами. Части системы, состоящие более чем из одного элемента, называют подсистемами. При необходимости можно ввести обозначения или термины, указывающие на иерархию частей. В результате получается модель состава системы, описывающая из каких подсистем и элементов она состоит (см. рис. 2.2).

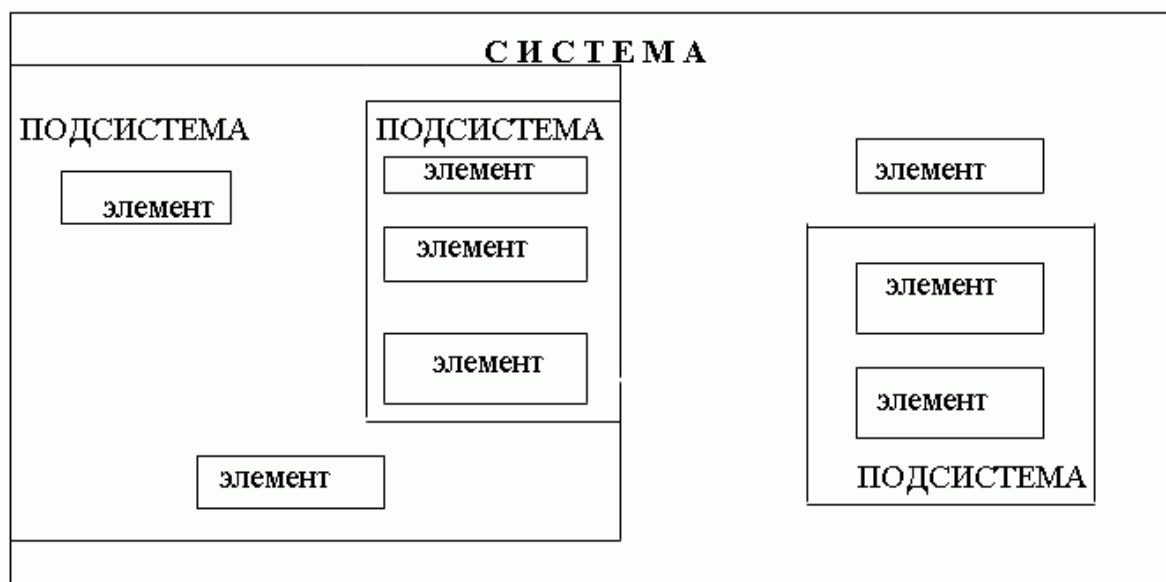


Рис. 2.2. Модель состава системы

Таблица 2.1. Пример модели состава системы

Система	Подсистема	Элементы
Система телевидения «Орбита»	Подсистема передачи	Центральная телестудия
		Антенно-передающий центр
	Канал связи	Среда распространения радиоволн
		Спутники ретрансляторы
	Приемная подсистема	Местные телецентры
		Телевизоры потребителей

Модель структуры системы

Несмотря на полезность рассмотренных выше моделей систем, существуют проблемы, решить которые с помощью таких моделей нельзя. Например, чтобы получить велосипед, недостаточно иметь отдельные его детали (хотя состав системы налицо). Необходимо еще правильно соединить все детали между собой, или, говоря общо, установить между элементами определенные связи — отношения.

Совокупность необходимых и достаточных для достижения цели отношений между элементами называется структурой системы.

Когда мы рассматриваем некую совокупность объектов как систему, то из всех отношений мы выбираем важные, т.е. существенные для достижения цели. Точнее, в модель структуры (в список отношений) мы включаем только конечное число связей, которые существенны по отношению к рассматриваемой цели. Например, при расчете механизмов не учитываются силы взаимного притяжения его деталей, хотя, согласно закону всемирного тяготения, такие силы объективно существуют. Зато вес деталей учитывается обязательно.

Второе определение системы. Структурная схема системы

Объединяя все выше изложенное можно сформулировать второе определение системы: система есть совокупность взаимосвязанных элементов, обособленная от среды и взаимодействующая с ней как целое.

Очевидно, что представленные определения охватывают модели «черного ящика», состава и структуры. Все вместе они образуют еще одну модель, которую будем называть структурной схемой системы. В структурной схеме указываются все элементы системы, все связи между элементами внутри системы и связи определенных элементов с окружающей средой (входы и выходы системы).

Рассмотрим систему «синхронизируемые часы». Считаем, что в состав такой системы входят три элемента: датчик, индикатор и эталон времени. Структура часов определяется следующими отношениями между парами элементов:

Пара элементов	Связь между ними
Датчик и индикатор	Однозначное соответствие
Эталон и датчик	Приблизительное соответствие
Индикатор и эталон	Периодическое сравнение и устранение расхождения

Описанные связи указаны стрелками 1-3 между элементами на рис. 2.3. Вход 4 изображает поступление энергии извне, вход 5 соответствует регулировке индикатора, выход 6 — показание часов.

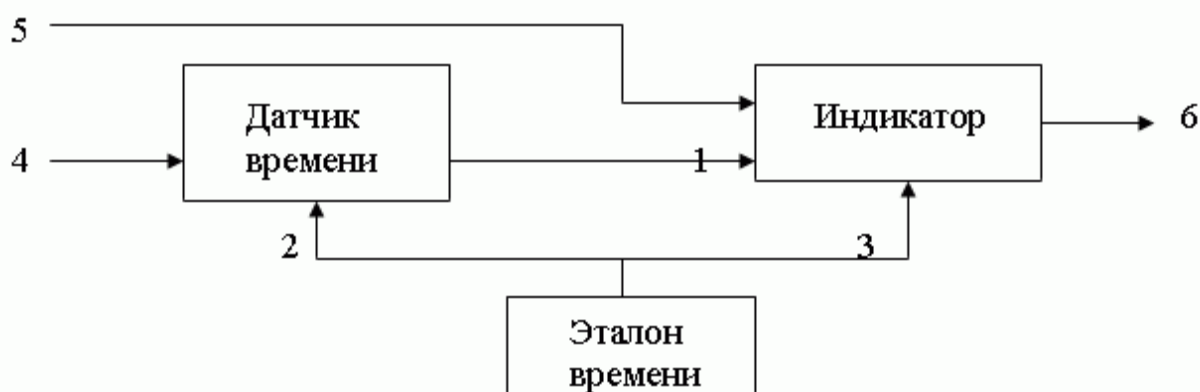


Рис. 2.3. Структурная схема системы синхронизируемые часы

Все структурные схемы имеют нечто общее и это побудило математиков рассматривать их как объект математических исследований. Для этого пришлось абстрагироваться от содержательной стороны структурных схем. В результате получилась схема, в которой обозначается только наличие элементов и связей между ними. Такая схема называется графом.

Граф состоит из обозначений элементов произвольной природы, называемых вершинами, и обозначений связей между ними, называемых ребрами (либо дугами). На рис. 2.4 изображен граф: вершины обозначены в виде кружков, ребра в виде линий.

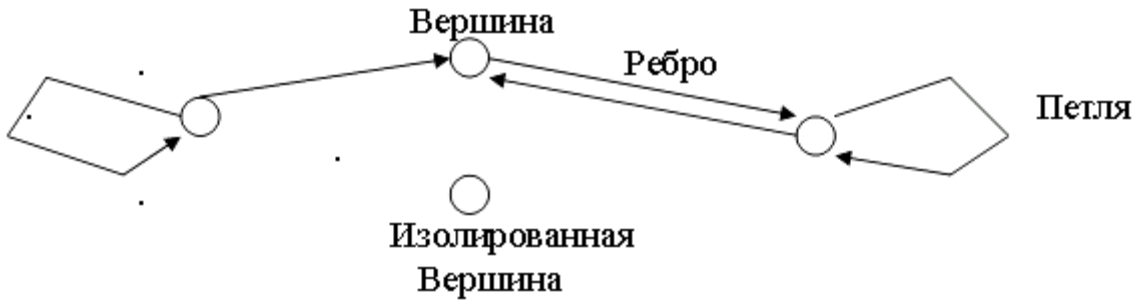


Рис. 2.4. Пример графа

Если направления связей не обозначаются, то граф называется неориентированным, при наличии стрелок — ориентированным. Данная пара вершин может быть соединена любым количеством ребер; вершина может быть соединена сама с собой (тогда ребро называется петлей). Если в графе требуется отразить другие различия между элементами или связями, то либо приписывают ребрам различные веса (взвешенные графы), либо раскрашивают вершины или ребра (раскрашенные графы).

В организационных системах часто встречаются (рис. 2.5) линейные, древовидные (иерархические) и матричные структуры; в технических системах чаще встречаются сетевые структуры; особое место в теории систем занимают структуры с обратными связями, которые соответствуют кольцевым путям в ориентированных графах.

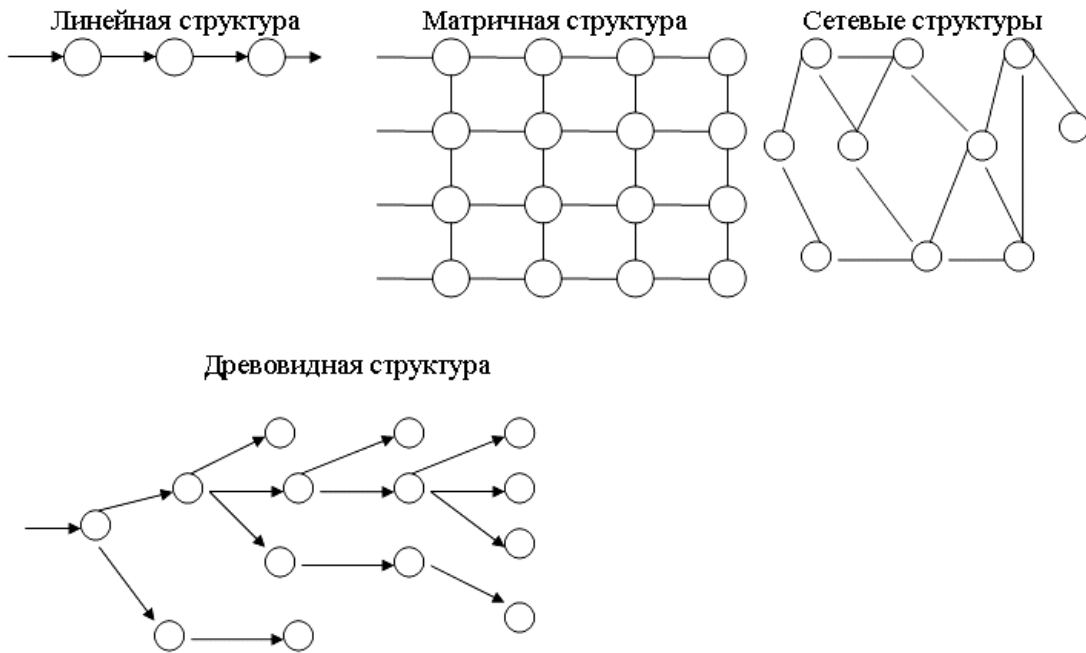


Рис. 2.5. Линейные, древовидные, матричные и сетевые структуры

Структурная схема системы является наиболее подробной и полной моделью любой системы на данном этапе нашего познания. При этом всегда остается актуальным вопрос об адекватности этой модели, разрешаемый только на практике.

Динамические модели систем

До сих пор основное внимание было уделено понятию системы, ее составу и устройству. Были рассмотрены модели, которые являются как бы «фотографиями» системы, отображают ее в некоторый момент времени. В этом смысле рассмотренные варианты моделей могут быть названы статическими моделями. Следующий шаг в исследовании систем состоит в том, чтобы понять и описать, как система «работает», что происходит с ней самой и окружающей средой в ходе реализации поставленной цели.

Системы, в которых происходят изменения со временем, называются динамическими, а модели, отображающие эти изменения, - динамическими моделями систем.

Для разных объектов и систем разработано большое количество динамических моделей, описывающих процессы с различной степенью детализации. Однако всегда развитие моделей происходит в той же последовательности, как это было изложено выше: от «черного ящика» к «белому».

Функционирование и развитие

Уже на этапе «черного ящика» различают два типа динамики системы: функционирование и развитие. Под функционированием подразумевают процессы, которые происходят в системе, стабильно реализующей фиксированную цель. Функционируют, например, часы, городской транспорт, радиоприемник и т.д.

Развитием» называют то, что происходит с системой при изменении ее целей. Характерной чертой развития является тот факт, что существующая структура перестает соответствовать новой цели. Для обеспечения новой функции приходится изменять структуру, а иногда и состав системы, т.е. перестраивать всю систему. Возможны и такие системы, для функционирования которых какие-то ее подсистемы должны быть постоянно в развитии.

Типы динамических моделей

При математическом моделировании некоторого процесса его конкретная реализация описывается в виде соответствия между элементами множества входов системы X «возможных значений» x и элементов упорядоченного множества T «моментов времени» t , т.е. в виде отображения

$$T \rightarrow X: x(t) \in X^T, t \in T.$$

С помощью этих понятий строятся математические модели систем.

Рассматривая выход $y(t)$ системы как ее реакцию на входы $x(t) = u(t), v(t)$ (управляемые $u(t)$ и не управляемые $v(t)$), можно представить модель «черного ящика» как совокупность двух процессов (рис. 2.6):

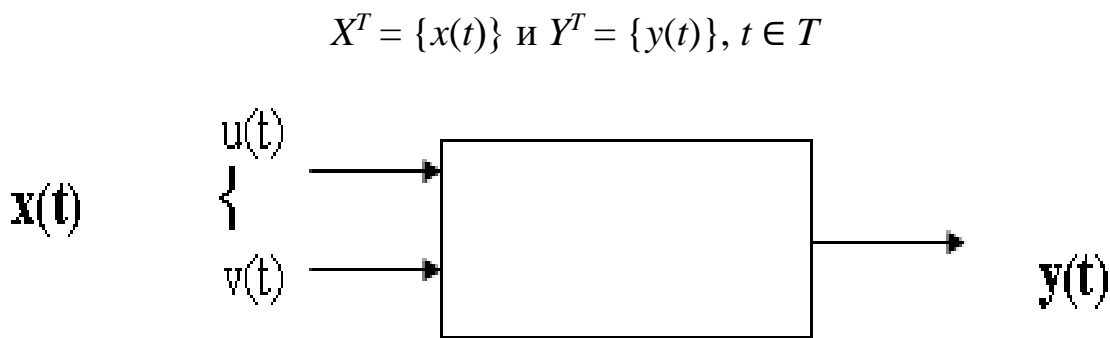


Рис. 2.6. Динамическая модель «черного ящика»: задание процесса на входах и выходах системы

Если даже считать $y(t)$ результатом некоторого преобразования Φ процесса $x(t)$, т.е. $y(t) = \Phi(x(t))$, то модель «черного ящика» предполагает, что это преобразование неизвестно. В том случае, когда имеем модель «белого ящика» соотношение между входом и выходом должно быть описано. Способ описания зависит от того, что нам известно и в какой форме можно использовать эти знания. На практике наблюдая входы и выходы системы можно восстановить функцию $y = \Phi(x)$. По существу, это задача о переходе от модели «черного ящика» к модели «белого ящика» по наблюдениям входов и выходов при условии безинерционности системы.

Внешнее описание

Тип математического описания, с которым чаще всего приходится иметь дело ученому-экспериментатору, – это связь «вход-выход». Во многих отношениях такое описание диаметрально противоположно частному, локальному описанию, поскольку оно не содержит деталей и единственным доступным источником информации является закономерность (отображение), связывающая выходы системы с ее входами. При этом ничего не известно о внутреннем механизме преобразования входов в выходы. По этой причине связь вход-выход часто называют «внешним описанием» системы в отличие от «внутреннего» (или локального) описания (рис. 2.7).

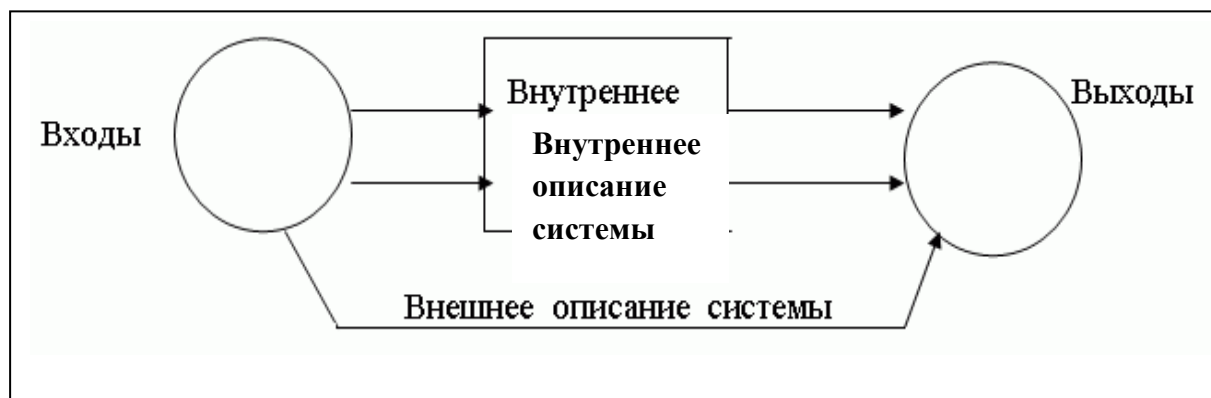


Рис. 2.7. Внешнее и внутреннее описание системы

Внутреннее и внешнее описания позволяют рассматривать систему как устройство, образующее входы и выходы в соответствии с правилами, определенными внутренним описанием. Иными словами, система является информационным процессом в некотором обобщенном смысле.

Очевидно, что внутреннее описание говорит нам гораздо больше о способе действия системы, поскольку каждое такое описание порождает внешнее описание. Тем не менее построение модели системы часто связано с решением диаметрально противоположного вопроса: может ли внутренняя модель «объяснить» каждое внешнее описание? Ответом на этот вопрос по существу является решение так называемой «задачи реализации», которая представляет собой один из важнейших аспектов теории систем.

Наиболее «сырая» возможная ситуация, при которой возникает необходимость в описании типа «вход-выход», имеет место, когда мы располагаем всего лишь таблицей элементов (часто чисел), характеризующих реакцию (выходы) системы на различные внешние воздействия (входы). В этом случае внешнее описание системы эквивалентно отображению

$$f: X \rightarrow Y,$$

где через X обозначено множество возможных входов, а через Y множество возможных выходов системы.

Как отмечалось во многих задачах (в частности, психологии, экономики и общественных наук) множества X и Y представляют собой конечный набор элементов, связь между которыми описывается с помощью функции f .

Исследование поведения «черного ящика»

Рассмотрим, как изучается и исследуется поведение «черного ящика» второго вида [5]. Предположим, что дана некоторая система управления, внутреннее строение которой неизвестно. Система управления имеет входы $X (x_1 , x_2 , x_3 , \dots , x_n)$ и выходы $Y (y_1 , y_2 , y_3 , \dots , y_m)$.

Способ исследования поведения данного «черного» ящика заключается в проведении эксперимента, результаты которого можно представить в виде табл. 2.2.

Такой способ исследования «черного» ящика называется протокольным. Значения входных величин в моменты времени (t_1 , t_2 , \dots , t_k) могут выбираться произвольно.

Таблица 2.2. Способ исследования «черного ящика»

Состояние входов	Состояние выходов	Время
$x_1(t_1), x_2(t_1), \dots, x_n(t_1)$	$y_1(t_1), y_2(t_2), \dots, y_m(t_1)$	t_1
.....		t_2

Другой способ исследования заключается в подаче на входы некоторых стандартных последовательностей. Этот способ особенно привлекателен, потому что позволяет сравнивать поведение нескольких «черных ящиков» с условием выбора таких, которые будут соответствовать предъявляемым требованиям.

Исследование систем управления связано с понятиями «вероятностный автомат», «вероятностная система», что требует изучения их вероятностных свойств. Для этих целей можно построить матрицу вероятностей, в которой для каждого входа x_i и каждого выхода y_j указывается условная вероятность $p(i, j)$, что y_j возникает ответ на вход x_i .

Разработка методов построения математических моделей «черного ящика» является одной из важных кибернетических проблем. При условии наличия математической модели «черного ящика» появляется возможность отнести его к какому-либо одному классу, все системы которого изоморфны по поведению.

Создание математического описания «черного ящика» является своего рода искусством. В некоторых случаях удастся сформировать алгоритм, в соответствии с которым «черный ящик» реагирует на произвольный входной сигнал. Для большинства же случаев делаются попытки установить дифференциальные уравнения, которые связывают реакцию «черного ящика» с его входами или, как говорят, с его входными стимулами.

Для науки метод «чёрный ящик» имеет весьма большое значение. С его помощью в науке были сделаны очень многие выдающиеся открытия. Например, ученый Гарвей еще в XVII веке предугадал строение сердца. Он моделировал работу сердца насосом, позаимствовав идеи из совершенно другой области современных ему знаний – гидравлики.

Практическая ценность метода «чёрный ящик» заключается во-первых, в возможности исследования очень сложных динамических систем, и, во-вторых, в возможности замены одного «ящика» другим. Окружающая действительность и биология дают массу примеров выявления строения систем методом «чёрного ящика».

Тестирование программного обеспечения по стратегии «чёрного ящика»

Тестирование «чёрного ящика» или поведенческое тестирование – стратегия (метод) тестирования функционального поведения объекта (программы, системы) с точки зрения внешнего мира, при котором не используется знание о внутреннем устройстве тестируемого объекта [6]. Под стратегией понимаются систематические методы отбора и создания тестов для тестового набора. Стратегия поведенческого теста исходит из технических требований и их спецификаций.

Тестирование методами «Черного ящика» и «Белого ящика»

Итак, в чем же отличие между тестированием методами «чёрного и белого ящиков»?

Разность этих подходов заключается в наличии доступа к исходному коду тестируемого программного обеспечения (ПО). Как можно догадаться из названий методов - при использовании «чёрного ящика» тестировщик использует только внешние рычаги взаимодействия с программой: с помощью пользовательского интерфейса или подключившись к тестируемой системе. При работе с «белым ящиком» тестировщик имеет доступ к коду, тем самым тестируя внутреннюю структуру программы.

Немного поподробней о каждом из методов.

Чёрный ящик (*blackbox*).

Используя этот метод, тестировщику не нужно знать внутреннее устройство программы. Объектами тестирования в этом случае являются потоки входных и выходных данных. Это позволяет определять «правильность» работы ПО в соответствии с функциональными требованиями к продукту. Таким образом, критериями тестирования «чёрным ящиком» являются:

- Тестирование функций программы.
- Тестирование потока входных данных.
- Тестирование потока выходных данных.
- Тестирование области допустимых значений.
- Тестирование длины набора данных.
- Тестирование порядка входных данных.

Белый ящик (*whitebox*).

Работая этим методом, разработчик (тестирование «белым ящиком», в основном, осуществляется разработчиком, а не тестировщиком, т.к. необходимо знание внутреннего устройства программы, принципов разработки, программирования и т.д.) проверяет внутреннюю структуру программного обеспечения. Объектами тестирования в этом случае являются данные, полученные путем анализа логики программы. Критериями тестирования «белым ящиком» являются:

- Покрытие операторов.
- Покрытия решений и условий.
- Покрытие комбинаций условий.

Таким образом, тестирование «белым ящиком» позволяет определять «правильность» работы ПО с точки зрения технических решений.

На основе этих методов существует также тестирование «серым ящиком» (*greybox*). При работе этим методом подразумевается, что тестировщик имеет доступ к внутреннему устройству программы, но тестирование производит с точки зрения конечного пользователя.

Суть этих методов не сложная, но эффективность тестирования с помощью каждого из них требует хороших знаний и навыков.

Контрольные задания

1. Что понимается под «чёрным ящиком»?
2. Модель состава системы.
3. Модель структуры системы.
4. Изображение структуры с помощью графов.
5. Динамические модели систем. Типы динамических моделей.
6. Исследование поведения «черного ящика».
7. Практическая ценность метода «чёрный ящик».
8. Тестирование программного обеспечения по стратегии «чёрного ящика».

Глава 3. МЕТОДЫ АНАЛИЗА ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

3.1. Структурный анализ 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 [7].

Цели анализа системы управления:

1) детальное изучение системы управления для более эффективного использования и принятия решения по ее дальнейшему совершенствованию или замене;

2) исследование альтернативных вариантов вновь создаваемой системы управления с целью выбора наилучшего варианта.

К задачам анализа системы управления относятся:

- определение объекта анализа;
- структурирование системы;
- определение функциональных особенностей системы управления;
- исследование информационных характеристик системы;
- определение количественных и качественных показателей системы управления;
- оценка эффективности системы управления;
- обобщение и оформление результатов анализа.

Кратко рассмотрим содержание названных составляющих системного анализа.

Решение задач анализа систем управления. Определение объекта анализа

При решении этой задачи нужно выполнить следующие действия:

1. Выделить анализируемую систему управления;
2. Определить цели и задачи управления;
3. Произвести первичную декомпозицию системы с выделением управляющей подсистемы (органов управления), объектов управления (исполнителей) и окружающей среды.

Как отмечалось ранее, исследователь может избрать одно из двух направлений анализа: первое – определение состояния системы управления (в менеджменте – определение точки отсчета), чтобы обозначить зоны, требующие улучшения, и стимулирование изменений; другое – исследование альтернативных вариантов вновь создаваемой системы с целью выбора лучшего варианта. В менеджменте выделяют следующие группы определения точки отсчета:

1. Работа конкурентов – систематический анализ их работы позволяет улучшать собственную работу;
2. Лучшая практика – поиск лучшей практики, связанный с методами работы компании;
3. Качество работы – оценка качества работы компании и ее отделов;
4. Установление стандарта – создание инструкции для выработки адекватных или повышенных рабочих стандартов.

Логика, лежащая в основе определения точки отсчета, четкая – как ты можешь поставить перед собой разумные цели совершенствования, если не знаешь, что делает конкурент и как клиенты оценивают твои усилия? Определение точки отсчета помогает установить задачи, которые дадут компании возможность достигнуть устойчивого преимущества в соревновании с конкурентами.

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 взаимодействия элементов,

сложностью алгоритмов выбора тех или иных управляющих воздействий и большими объемами перерабатываемой при этом информации.

Одними из основных черт систем управления считаются иерархичность и сложные структурные и функциональные взаимоотношения между элементами системы.

В зависимости от задачи исследования в понятие структуры системы управления включаются различные вопросы. Так, в автоматизированной системе управления отраслью под структурой понимается определение множества узлов системы и связей между ними, распределение задач, возлагаемых на технические средства АСУ, по уровням и узлам системы и выбор комплекса технических средств, обеспечивающих их эффективное решение.

Под структурой управления технологическими процессами в АСУ понимается схема, задающая, во-первых, распределение технологических процессов комплекса по подсистемам 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 структурирования является детальное изучение системы управления, установление связей и отношений между ее элементами.

Различные варианты структур анализируемой системы позволяют 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. 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, быстродействие и пропускная способность, способность к перестройке и др.

Определение количественных и качественных показателей системы

После уяснения поставленной задачи, определения объекта анализа и составления его многоуровневого описания производятся:

1. предварительный выбор перечня показателей каждого уровня;
2. разработка моделей и методов определения показателей различных уровней;
3. уточнение условий определения показателей, включающих предполагаемые воздействия надсистемы, возможность интегрирования 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.

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 реального (или имитационного) функционирования системы. Это экспериментальные показатели функционирования. Другой вариант – это теоретические оценки возможных значений экспериментально определяемых показателей – 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, дающего соответствующие теоретические оценки, возможностью нескольких вариантов течения процесса функционирования и др. Точность 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:

1. Краткое описание структуры, процессов функционирования и информационных потоков системы;
2. Обобщенное значение показателей и результатов оценки эффективности системы (приводятся значения показателей);
3. Обобщенные выявленные недостатки и предварительные рекомендации по дальнейшему использованию системы, совершенствованию или ее замене.

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. Она определяет существование системы как целого и ее качественные особенности. Структура определяет упорядоченность элементов системы. Таким образом, 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 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:

- 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 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 структуры включает следующие этапы:

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

Исходные данные включают:

- модель исследуемой структуры, задаваемую в графической, матричной или аналитической форме;
- перечень определяемых обобщенных показателей эффективности (характеристик) структуры q_p , $p = 1, 2, \dots, L$;
- перечень определенных показателей (характеристик) элементов h_{ij} , $i, j = 1, 2, \dots, n$;
- значения характеристик (x) воздействий окружающей среды, условий функционирования системы управления, частных техниче-

ских, 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

$$h = f(x) \setminus h_v(x), i, j = 1, 2, \dots, n.$$

Затем определяются значения показателей эффективности

$$q_l = F(h(x), x)$$

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

$$q_l < q_{ol}, l = 1, 2, \dots, L,$$

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

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

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

Основные характеристики структуры системы управления

Создание ИС отождествляется не только с автоматизацией функций управления, но и с критическим анализом и выбором принципов управления, структуры и функций системы.

Одна и та же система может быть представлена разными структурами в зависимости от стадии познания объектов или процессов, от аспекта их рассмотрения, цели создания. При этом по мере развития исследований и в процессе проектирования структура системы может изменяться. Структуры могут быть представлены в матричной форме, в форме теоретико-множественных описаний, с помощью языка топологии, алгебры и других средств моделирования систем.

От вида структур зависит важная характеристика любой системы - степень ее целостности и устойчивости.

Для сравнительного анализа структур используются информационные оценки степени целостности α и коэффициента использования компонентов системы β , которые могут интерпретироваться как оценки устойчивости организационной структуры или предоставления свободы элементов или как оценки степени централизации-децентрализации управления в системе.

Эти оценки получены из соотношения, определяющего взаимосвязь системной C_c , собственной C_o и взаимной C_v сложности системы:

$$C_c = C_o + C_v. \quad (3.1)$$

Собственная сложность C_o представляет собой суммарную сложность элементов системы вне связи их между собой. Системная сложность C_c представляет содержание системы как целого. Взаимная сложность C_v характеризует степень взаимосвязи элементов в системе, т.е. сложность ее устройства, схемы, структуры.

Разделив (3.1) на C_o получаем две важные сопряженные оценки:

$$\alpha = - C_v / C_o, \quad (3.2)$$

$$\beta = C_c / C_o, \quad (3.3)$$

причем $\beta = 1 - \alpha$.

Первая из них (3.2) характеризует степень целостности, связности, взаимозависимости элементов системы. Для организационных систем α может быть интерпретирована как характеристика устойчивости, управляемости, степени централизации управления.

Вторая β (3.3) - как самостоятельность, автономность частей целого, степень использования возможностей элементов. Для организационных систем β удобно называть коэффициентом использования элементов в системе.

Характеристики многоуровневых иерархических структур ИС

Различают две группы характеристик структур ИС [8]:

- 1) характеристики связаны с иерархичностью системы;
- 2) характеристики, оценивающие качество функционирования ИС заданной структуры.

К первой группе относятся: число уровней иерархии; число подсистем на каждом уровне иерархии; степень централизации; норма управляемости; мера равномерности связей; степень специализации подсистем; характер взаимосвязи между подсистемами и уровнями иерархии и т.д.

Ко второй группе характеристик относятся: эффективность; надежность; живучесть; гибкость структуры; быстроедействие; достоверность обработки данных; загрузка технических средств и узлов и т.д.

Ряд из перечисленных характеристик имеет количественную меру, другие - качественную меру. Число уровней иерархии и число подсистем на каждом уровне характеризуют соответственно «высоту» организационной структуры и «ширину» каждого ее уровня.

Одной из важнейших характеристик организационной структуры системы является степень централизации и норма управляемости (размах контроля). Степень централизации служит мерой разделения полномочий между уровнями системы.

Для каждой пары смежных уровней $(n-1)$, n ; $n=2, 3, N$ степень централизации вычисляется по формуле

$$\alpha_n = \frac{W_n}{W_{n-1}},$$

где W_n , W_{n-1} - число задач, решаемых на уровнях.

Объем решаемых задач может быть оценен через количество перерабатываемой информации на уровне n .

Тогда степень централизации всей ИС рассчитывается по формуле

$$\alpha = \sum_{i=2}^N \beta_n \cdot \alpha_n,$$

где β_n - весовые коэффициенты, учитывающие специфику системы.

Чем больше значение α , тем выше степень централизации системы. Смещение основной массы решений в сторону высшего уровня иерархии отражает повышение степени централизации. Это повышение отождествляется с повышением управляемости подсистем и увеличением переработки информации на верхних уровнях. Повышение степени децентрализации соответствует увеличению самостоятельности подсистемы и уменьшению информации, перерабатываемой на верхних уровнях.

Степень централизации тесно связана с нормой управляемости, характеризующей объем задач, решением которых эффективно управляет руководитель. На практике норма управляемости определяется количеством работников, подчиненных одному руководителю и для различных уровней и подсистем ИС неодинакова.

Мера равномерности вертикальных связей характеризует степень отклонения связей в анализируемой системе по сравнению с равномерной линейной иерархической структурой. В равномерной структуре каждый элемент n -го уровня имеет одинаковое число вертикальных связей или подчиненных ему элементов $(n - 1)$ уровня.

Равномерность для n уровня R_n определяется по формуле

$$R_n = (\prod_{i=1}^k a_i) / a_{cp}^k,$$

где a_i - число связей i элемента n уровня с элементами $(n - 1)$ уровня;

a_{cp} - среднее число связей;

k - число элементов на n уровне.

Для многоуровневой системы мера равномерности вертикальных связей вычисляется по формуле

$$R = \frac{1}{m-1} \sum_{n=2}^m R_n,$$

где m - число уровней системы.

Для равномерных вертикальных связей $R=1$.

Степень специализации управляющих подсистем можно выразить отношением числа однородных задач, выполняемых подсистемой, к общему числу задач этого же типа, решаемых всей системой управления. Степень специализации i -подсистемы по управлению l -го вида оценивается по формуле

$$\lambda_i^{(l)} = \frac{V_i^{(l)}}{\sum_i V_i^{(l)}},$$

где $V_i^{(l)}$ - число однородных задач типа l , выполняемых подсистемой $i=1,2,..k$ (могут быть трудозатраты на решение).

Неравномерность функциональной специализации можно определить следующим образом. Пусть имеется k структурных элементов, которые должны выполнить L функций или управленческих задач. Для выполнения l -ой функции ($l=1,2,..L$), исходя из ее трудоемкости или других соображений, назначается k_l элементов, причем

$$\sum k_l = k \text{ и } k_l > 0.$$

При ограниченном числе структурных элементов, выполняющих каждую функцию, число возможных вариантов распределения k элементов по L функциям может быть рассчитано по формуле

$$D = \frac{k!}{k_1! \cdot k_2! \cdot \dots \cdot k_L!}.$$

При большом k выше записанную формулу можно аппроксимировать зависимостью

$$D = -\sum_{l=1}^L \frac{k_l}{k} \ln \frac{k_l}{k}$$

Значение D максимально в случае равномерной специализации, когда каждую функцию выполняет одинаковое число структурных элементов, т.е. $k_1 = k_2 = \dots k_L = k/L$; при этом $D_{\max} = \ln L$.

Неравномерность функциональной специализации F можно характеризовать отношением числа возможных вариантов распределения структурных элементов по функциям управления в исследуемой структуре (для принятых значений k_l) к D_{\max} :

$$F = \frac{D}{D_{\max}} = -\frac{1}{\ln L} \sum_{l=1}^L \frac{k_l}{k} \ln \frac{k_l}{k}.$$

Эффективность ИС во многом зависит от степени совершенства ее организации и функциональной структуры. Тогда можно говорить о некоторой эффективности структуры, обеспечивающей максимальную эффективность системы в целом. Однако связь между структурой и эффективностью системы управления чрезвычайно трудно выявить и тем более формализовать.

Контрольные задания

1. Цели анализа системы управления.
2. Задачам анализа информационных систем.
3. Направления анализа систем управления.
4. Назначение оценки эффективности системы.
5. Сущность структурного анализа.
6. Основные характеристики структуры системы управления.
7. Информационные оценки степени целостности и коэффициента использования компонентов системы.
8. Характеристики, связанные с иерархичностью системы.
9. Характеристики, оценивающие качество функционирования ИС заданной структуры.

3.2. Функциональный анализ систем управления

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

Рассматривая структуру и функцию, первичным считают изменение функции. Однако правильнее рассматривать их изменения в процессе эволюции в диалектической взаимосвязи и взаимообусловленности (изменение среды требует изменения функции, а она, в свою очередь, влияет на изменение структуры).

Функциональный анализ осуществляется одновременно с исследованием структуры системы управления.

Сущностью функционального анализа является определение динамических характеристик системы 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 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.

Функциональный анализ может включать следующие основные этапы:

- определение и описание общего процесса управления, реализуемого исследуемой системой;
- декомпозиция 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 оценка 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 над результатами 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, обработку и анализ информации;
- определение возможных вариантов воздействий;
- выбор рационального варианта воздействий;
- разработку программы (плана, алгоритма) реализации воздействий, предусматривающей последовательность 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 от-

ветных воздействий (реакций), передаваемых в управляющую систему по обратным связям (информационным).

Контроль над результатами 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 этапов управления, в соответствии с общей и частными целями управления;
- сопоставление соответствия выделенных функций элементам (исполнителям, руководителям, органам, техническим устройствам) анализируемой системы и оценка их реализации;
- выявление дублирующих, бесполезных, малоэффективных функций и выработка рекомендаций по совершенствованию системы управления.

В ходе функционального анализа необходимо определить 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 процессе 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 процесса управления - отсутствие перерывов между последовательно выполняемыми этапами (фазами) или другими действиями, приводящими к снижению качества управления. Непрерывность процесса нарушается, если между двумя последовательно выполняемыми этапами возникает незапланированная пауза, приводящая к снижению качества выполнения последующих этапов анализа (например, из-за потери ценности информации), несвоевременному достижению поставленной цели или срыву всего процесса управления.

Оперативность процесса управления - завершение цикла управления в требуемые сроки.

Точность - обеспечение максимального соответствия реального движения (или конечного состояния) требуемому (эталонному) движению (или конечному состоянию) объекта управления. Степень точности зависит 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 процесса управления - способность сохранять и восстанавливать свое качество в условиях внешних и внутренних возмущений.

Скрытность процесса управления - способность утаивать от конкурентов или других противодействующих систем планируемые и выполняемые действия.

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, 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:

- 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 структуры процесса управления целесообразно учитывать следующие характеристики сетевых структур организационных систем:

- связанность 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:

- 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 характеристика 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.

Существуют определенные принципы оценивания, благодаря которым возможны адекватная оценка реальной действительности, глубокое понимание ситуаций, проблем, результатов или тенденций [9, 7]. Принцип независимости предусматривает, что оценка должна быть отделена, насколько это возможно, от личностных отношений, служебной зависимости, амбиций и самолюбия. Она должна быть защищена от влияния заинтересованных лиц, доброжелателей или недоброжелателей.

Специфика оценивания проблем управления заключается в том, что все они в конечном итоге связаны с деятельностью человека и его человеческими качествами. Многие параметры управления невозможно измерить достаточно точно, а некоторые даже вообще выделить и каким-либо образом отграничить. Поэтому многие оценки необходимо строить на статистическом анализе либо использовать социометрические методы тесты и экспертные оценки.

Требование функциональной определенности заключается не только в ясной принадлежности показателя к функции управления, но и в определенности роли показателя в процессе управления, его собственной функции-агрегации информации, средство анализа, рычаг воздействия при мотивировании, контроле, регулировании и т.д.

В исследовании управлении используется множество различных показателей. Они должны быть увязаны друг с другом, представлять собой целостность по критериям объекта управления и цели его функционирования. Следовательно, должно действовать и требование системности. Это важное требование «увязки» показателей, обеспечения их совместимости, соответствие интегрирующему назначению цели. Это исключение дублирования и неоправданного пересечения

показателей, которые, как правило, запутывают понимание ситуации и проблемы.

Показатели системы управления, различны. Их совокупность, а также качество не всегда могут соответствовать целям исследования. Поэтому большое значение имеет выбор необходимых показателей или, при отсутствии подходящих, их конструирование.

Показатели состояния характеризуют наличие тех или иных функций, связей, подразделений, свойств, квалификационных признаков, технических средств, информационных массивов и пр. К этой группе показателей относится и структура системы управления.

Показатели состояния не обязательно должны быть натуральными. Они могут отражать и экономическое положение фирмы. Так или иначе, это показатели статики, показатели, фиксирующие мгновение в разнообразных процессах функционирования и развития системы управления.

Существует другая группа показателей, отражающих изменения, происходящие в управлении. Такие изменения могут быть повторяющимися, воспроизводимыми и невозпроизводимыми, характеризующими возникновение нового качества. Это показатели динамики, показатели функционирования и развития.

Предмет управления отражает множество показателей: экономические, материально-технические, информационные, социологические, организационные. Это показатели, выделяемые по составу ресурсов, основным характеристикам цели и условиям ее достижения.

Принятие решения о необходимости совершенствования функционирования системы управления

В оценке эффективности систем управления (СУ) большую роль играет сочетание экономических и натуральных показателей. Выделяют две категории проблем в системах управления: стабилизации и развития, решение которых направлено на совершенствование СУ.

Стабилизацией называются такие решения, которые направлены 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 те-

кущей 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 ним совокупность мер по управлению основным и вспомогательным производствами, материально-техническим снабжением и сбытом, а также по их текущему планированию.

Развитием и совершенствованием систем называют такие решения, которые направлены 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.

А.Г. Венделин выделяет две категории проблем: проблемы улучшения деятельности и проблемы нахождения принципиально нового решения.

Сталкиваясь с необходимостью улучшения какого-либо вида деятельности, прежде всего, пытаются определить саму проблему, ищется то звено, элемент или подсистема, которые не отвечают предъявляемым к ним требованиям, вызывают «ненормальности» в работе.

При подходе к решению проблемы, как к созданию чего-то принципиально нового, процесс решения становится значительно сложнее. Здесь нельзя ограничиться 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.

Обобщая различные способы классификации проблем, можно привести их к следующим трем видам принятия решений:

оперативные решения - 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;

совершенствование и развитие систем - решения, которые направлены 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 решения - 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.

Методические принципы совершенствования управления

В условиях информационной экономики совершенствование системы управления предприятием должно базироваться на внедрении эффективных процессов и технологий, связи с глобальными информационными рынками, синхронизации процессов «поставщик - потребитель» на основе использования современных ИТ и, как следствие, устранить бизнес-процессы, не создающие добавленной стоимости [10]. Таким образом, целью внедрения ИТ является достижение динамичного управления бизнесом в условиях непрерывно изменяющейся конкурентной среды.

Информационные технологии реорганизуют процесс управления, обеспечивая мощные новые возможности помощи менеджерам в

стратегии, планировании, организации, принятии управленческих решений и контроле над их выполнением.

Основные направления реорганизации структур управления в условиях информационной экономики сводятся к их децентрализации для достижения гибкости, адаптации (приспособления) к меняющимся условиям внешней среды, выравнивания. Основными критериями оптимизации организационных структур на основе ИТ являются: скорость принятия решений, гибкость, сложность, надежность, способность к быстрой интеграции, решительность. Процесс совершенствования системы управления предприятием на основе ИТ может быть сведен к процессам глобальной интеграции как внутри фирменной сети поставщиков, так и в связи элементов сети «поставщик - потребитель», т.е. ИТ должны обеспечить трансформацию корпоративных структур в сетевые структуры. Сетевые структуры должны легко встраиваться в виртуальную цепочку «поставщик - потребитель», входить в деловые альянсы и выходить из них.

На основе исследования данной проблемы в экономической литературе выделяют две стратегии внедрения ИТ в систему управления предприятия.

1. Информационные технологии приспособляются к организационной структуре и осуществляют локальную модернизацию сложившихся процессов управления (реинжиниринг), коммуникация не развивается, выполняется автоматизация рабочих мест менеджеров, происходит слияние процессов сбора информации (физический поток информации) с функцией принятия решения (информационный поток решения). Например, технологии *ERP* и *CRM*.

2. Организационная структура трансформируется для овладения моделями электронного бизнеса *B2B* и *B2C*, основой стратегии является разработка и развитие коммуникаций, а также новых организационных взаимодействий. В этой ситуации ИТ обеспечивают, кроме реализации стандартных функций на основе систем *ERP* и *CRM*, обмен информацией (электронными данными) на основе системы *EDI*, проведение электронных торгов, формирование единой цепочки «поставщик - потребитель», систему электронных платежей *Internet-banking* и др.

Таким образом, ИТ являются мощными инструментами организационных изменений, позволяющими предприятию улучшать свою структуру, коммуникации, продукты, услуги и др. В зависимости от степени вхождения в глобальное информационное пространство можно выделить следующие виды ИТ:

- глобальные сети - международное разделение труда. Дистанция фирм расширена до глобальной. Снижение затрат глобальной координации. Снижение операционных затрат;

- сети предприятия - совместная, бригадная работа. Координация работы вне границ структурных подразделений. Снижение затрат на управление. Изменение деловых процессов;

- распределенное вычисление - рабочие группы располагают необходимыми знаниями. Деловые процессы рационализированы. Стоимость управления снижена. Централизация и децентрализация сбалансированы;

- переносное вычисление - виртуальные организации. Работа не привязана к географическому месторасположению. Работа становится передвижной. Знания и информация могут быть доставлены туда, где они необходимы и в любое время. Снижение организационных затрат из-за снижения потребности в недвижимости предприятия, используемой работниками;

- графические интерфейсы пользователя - облегчается доступ к корпоративным знаниям, которые могут быть дополнены всеми служащими. Снижение организационных затрат, так как трудовые процессы движутся от бумаг к цифровым изображениям, документам и голосу.

В западных странах внедрение ИТ в основном осуществляется по второй стратегии, в России - по первой, но простое уменьшение размеров компании, сокращение численности персонала не приводит к существенному увеличению экономической эффективности ее деятельности. Традиционные способы управления предприятием опираются на узкую функциональную специализацию, требующую увеличения как числа уровней управления, так и усилий по их координа-

ции. Необходимо искать и использовать новые организационные структуры управления, радикально отличающиеся от традиционных.

В основе построения и взаимодействия «новых» компаний, функционирующих в условиях информационной экономики, лежит не узкая функциональная специализация, а интеграционные процессы в управленческой деятельности, обеспечивающие взаимодействие не только по вертикали, но и по горизонтали - между сотрудниками различных подразделений одного уровня иерархии. Эти процессы порождают новые структуры, характеризующие предприятия «без внутренних перегородок», предприятия «без границ».

Новые корпоративные модели управления базируются на расширении связей между потребителями, поставщиками и конкурентами, применяют современные информационно-коммуникационные технологии, автоматизированные системы производства и управления, современную вычислительную технику. Такой подход к построению систем управления преобразует предприятия из закрытых систем, использующих такие традиционные структуры управления, как бюрократические, иерархические и механистические, в открытые, основанные на сетевых методах управления.

В зависимости от этапа организационной зрелости компании различна степень использования информации и информационных технологий в бизнес-процессах. Развитие невозможно без организации целевого управления и эффективного использования всех ресурсов организации.

Если проследить жизненный цикл любой организации, то можно заметить, что в своем развитии она проходит несколько фаз: от слабо-развитой и слабо организованной структуры до эффективной системы, которая характеризуется правильным подходом к управлению ресурсами организации и процессами, протекающими в ней.

В научных публикациях существует достаточное число моделей взаимодействия развития систем управления и использования информационных технологий. Так, например, в литературе приводятся модели Нолана, Эрла, Бхабута, Хиршхайма. Общими для этих моделей является выделение трех этапов в развитии информационных технологий: сначала предприятие планирует ИТ для получения текущей информации о состоянии бизнеса, затем развитие и становление ИТ

связано с поддержкой процессов принятия решений, и в конце своего развития ИТ ориентированы на стратегическое планирование конкурентного преимущества, адаптацию к изменяющимся условиям внешней и внутренней среды, мониторингу спроса и др.

Исходя из изложенного выше можно выделить следующие направления совершенствования систем управления на основе ИТ:

- трансформация организационной структуры предприятия;
- внедрение стратегического планирования на основе прогнозов будущего состояния национальных, международных, глобальных рынков;

- децентрализация управления;

- мотивация персонала ростом личной компетентности.

Основными методическими принципами модификации компаний и структур управления ими на основе ИТ являются следующие.

1. Информационная интеграция, освоение интегрированных моделей управления (*Integrated Management/Information Technology - IM/IT*).

2. Трансформация организационных структур предприятий из пирамидальных в плоские с минимальным числом уровней между высшим руководством и непосредственными исполнителями, так как управление по горизонтали более действенно, чем по вертикали.

3. Сокращение числа иерархических уровней, более предпочтительными являются не крупные централизованные компании, а ряд мелких с гибкими специализированными формами труда сети компаний.

4. Сетевые формы связи между самой компанией и другими предприятиями, например, путем создания внутренних рынков.

5. Инновационная деятельность, создание в рамках крупных компаний инновационных венчурных фирм, ориентированных на производство и самостоятельное продвижение на рынках новых изделий и технологий (бренд-компаний).

6. Стандартизация бизнес-процессов, продуктов, услуг, учета, отчетности и др., уход от узкой функциональной специализации в содержании и характере самой управленческой деятельности, в стиле управления.

7. Децентрализация функций управления, прежде всего производственных и сбытовых. С этой целью в рамках компаний создаются полуавтономные или автономные отделения, стратегические бизнес-единицы, полностью отвечающие за прибыли и убытки.

8. Бенчмаркинг (освоение стратегии «от лучшего к лучшему и великому»).

9. Повышение компетентности персонала.

Реализация приведенных выше принципов требует организации единого информационного пространства, которое способствовало бы информационному взаимодействию субъектов, участвующих в производстве однотипных продуктов.

Особенности анализа эргатических систем управления

Эргатические системы управления (ЭСУ) — это системы, которые включают в качестве элементов как технические системы, так и людей, взаимодействующих с этими системами [7].

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 объектами управления являются предприятия, отрасли народного хозяйства, министерства, ведомства, т.е. коллективы людей, 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.

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.

Более содержательное обобщение особенностей ЭСУ представлено в табл. 3.1.

Таблица 3.1. Особенности эргатических систем управления

Группы особенностей	Особенности и их сущность
Функциональные	<p>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.</p> <p>Устойчивость к внешним и внутренним помехам и наличие самоорганизации и адаптации к различным воздействиям.</p> <p>Надежность системы в целом, построенной из неабсолютно надежных компонентов.</p> <p>Способность к развитию, выражающаяся в способности изменять функции и структуру</p>
Структурные	<p>Большое количество взаимодействующих частей или элементов, составляющих систему – целостное образование.</p> <p>Возможность выделения групп взаимодействующих элементов-подсистем, имеющих свое специальное назначение и цель функционирования</p> <p>Наличие иерархической структуры связей подсистем и иерархии критериев качества функционирования всей системы.</p> <p>Высокая степень неоднородности состава элементов.</p> <p>Большая территориальная рассредоточенность подсистем (элементов). Динамичность структуры</p>

Группы особенностей	Особенности и их сущность
Изготовления	<p>Значительные затраты на разработку и изготовление. Многообразие возможных допустимых вариантов построения и функционирования системы.</p> <p>Необходимость привлечения для проектирования, создания системы многих научных дисциплин.</p> <p>Несоответствие проектных решений, определенных в документации, реализованным проектным решениям из-за расхождения моделей разработчиков на этапах проектирования.</p> <p>Необходимость ввода в строй одновременно всех элементов</p>
Эксплуатационные	<p>Большой объем циркулирующей в системе информации, эффективная обработка которой вручную практически невозможна.</p> <p>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.</p> <p>Необходимость развитой инфраструктуры, обеспечивающей ремонт и восстановление компонентов ЭСУ.</p> <p>Многочисленное частичное изменение структуры и состава системы в процессе ее функционирования, связанной с непрогнозируемыми изменениями внешней среды, уточнением параметров самой системы и целей ее функционирования</p>
Эргономические	<p>Основной функцией человека в ЭСУ является управление.</p> <p>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.</p> <p>Способность переходить от одних технологий управления к другим в зависимости от конкретных управленческих ситуаций.</p> <p>Непредсказуемость поведения, настроения, работоспособности человека</p> <p>Субъективный характер принимаемых человеком решений, особенно в условиях острого дефицита времени и отсутствия достаточно полной информации, возможность случайных и преднамеренных ошибок при обработке информации или формировании информационных сообщений.</p> <p>Низкая вычислительная мощность человека, неспособность воспринимать большое число вариантов исходов, прогнозировать результаты принятых решений</p>

Задачи анализа ЭСУ решаются, как правило, на стадиях их эксплуатации, транспортировки, снятия с эксплуатации и списания. Анализ используется также для исследования вариантов вновь создаваемых ЭСУ с целью выбора лучшего варианта [7].

Функциональный анализ ЭСУ направлен на решение следующих основных задач: 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 их 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.

Параметрический анализ ЭСУ связаны 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, довольно сложна, 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.

Из большого количества показателей качества работы людей в ЭСУ наиболее часто используют быстроедействие, напряженность, экономичность, надежность.

Быстроедействие оператора характеризуется длительностью рабочего цикла

$$T_{\text{ц}} = \tau_{\text{пр}} + \sum_{i=1}^n \tau_3^{(i)},$$

где $\tau_{\text{пр}}$ — время производства работ, $\tau_{\text{пр}} = \tau_{\text{ож}} + \tau_p$;
 $\tau_{\text{ож}}$, 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

$$\tau_p = \frac{a + l}{R_0},$$

при $a = 0,2$ с; $l/R_0 = 0,15 + 0,35$ с/бит, т.е. в предположении, что в среднем начало работ запаздывает относительно момента выдачи задания на 0,2 с, при средней производительности оператора, равной 1/0,15 — 1/0,35 бит/с.

Быстродействие конкретного оператора может быть определено с использованием тренажера или хронометрирования на реальном рабочем месте.

Напряженность работы оператора определяется степенью функционального напряжения его организма, нервного или физического, по формуле

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{y_i}{y_{i_{\text{max}}}} \right)^2},$$

где y_i , $y_{i_{\text{max}}}$ — физиологические количественные показатели напряженности работы в реальных и экстремальных условиях соответственно.

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 работоспособность, 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 служит вероятность безотказной работы, определяемая как

$$P_{on}(t) = K_{on}P_{\sigma}(t) + P_n(t)$$

где P_{σ} , P_n - вероятности биологической и психологической надежности оператора соответственно;

K_{on} - коэффициент готовности оператора

$$K_{on} = \frac{1 - T_o}{T},$$

где 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

$$P(t) = P_{техн} \times P_{on}(t) \times P_{CB}(t),$$

где $P_{техн}(t)$ - вероятность безотказной работы машины;

$P_{CB}(t)$ - вероятность своевременного выполнения работы.

Выделенные показатели качества работы 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 из-за неправильных действий операторов (человеческого фактора), (например, в строительстве — больше 70%, в авиации — больше 80%). Таким образом, очень часто ошибочные действия операторов приводят к лавинообразному развитию аварийных ситуаций, к порче и потере дорогостоящей техники, а также к гибели людей.

При анализе сложных эргатических систем управления наиболее ответственным этапом является процесс принятия решения о целесообразности того или иного нововведения. Основной целью на этом этапе является снижение неопределенности и степени риска, связанных с внедрением дорогостоящих нововведений. Под нововведением понимается деятельность, направленная на изменение ЭСУ, приводящая к разнообразным последствиям в различных видах окружения ЭСУ.

Принятие решения о внедрении нововведения связано со знанием противоречий, которые необходимо разрешить в процессе внедрения.

Содержание нововведений зависит от глубины реорганизации системы или создания более перспективных систем (табл. 3.2).

Табл. 3.2. Содержание нововведений в зависимости от глубины реорганизации ЭСУ

Уровень реорганизации	Содержание нововведения
Параметрическая реорганизация системы	Изменение свойств, параметров системы или ее элементов
Функциональная реорганизация системы	Изменение функций, содержания решаемых задач, состава целей, оперативных направлений для отдельных элементов существующей системы
Структурная реорганизация системы	Изменения организационного или пространственного построения элементов существующих систем (варьирование структуры, направления, характера и количества связей; пересмотр мест дислокации и базирования и т.д.)
Полная реорганизация системы проектирования	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 противоречий в ЭСУ можно представить в виде последовательности формирования ответов на вопросы, стоящие перед исследователем (табл. 3.3).

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 кажущейся или мнимой, то фиксируется отрицательный ответ.

При положительном ответе на первый вопрос исследователь переходит ко второму вопросу.

Таблица 3.3. Основные вопросы, решаемые в процессе исследования

1. Выявление необходимости нововведения		Нужно ли оно в перспективе?	
		Да	Нет
Нужно ли оно сейчас?	Да Нет	Устойчивая потребность Перспективная потребность	Кажущаяся потребность Мнимая потребность
2. Выявление возможности нововведения		Возможно ли оно в перспективе?	
		Да	Нет
Возможно ли оно сейчас?	Да Нет	Устойчивая возможность Перспективная возможность	Кажущаяся возможность Мнимая возможность
3. Оценка последствий нововведений		Каковы последствия в перспективе?	
		Позитивные	Негативные
Каковы последствия в ближайшем будущем?	Позитивные	Устойчивые позитивные последствия	Перспективно-негативные последствия
	Негативные	Позитивные последствия в перспективе	Устойчиво-негативные последствия

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 случае - отрицательный ответ. При положительном ответе на второй вопрос исследователь переходит к третьему вопросу.

Третий вопрос - каковы возможные последствия 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 характер нововведений отрицательный.

При положительных ответах на поставленные вопросы исследователь может перейти к уточнению характеристик нововведения и к ответам на вопросы:

- какие конечные цели могут быть достигнуты посредством внедрения нововведений в ЭСУ;
- какую роль будет играть 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 созданием ЭСУ.

Ответы на эти вопросы позволят исследователю перейти к формированию проблематики и комплексной программы исследований по выбранным направлениям.

Контрольные задания

1. Сущность функционального анализа.
2. Содержание общего процесса управления.
3. Содержание комплексных характеристик процесса управления.
4. Критерии и оценка эффективности функционирования системы управления.
5. Проблем в системах управления, связанные со стабилизацией и развитием систем управления.
6. Структурные характеристики процесса управления.
7. Частные характеристики процесса управления.
8. Принятие решения о необходимости совершенствования функционирования системы управления.
9. Определение направления развития и принятие решений по совершенствованию системы управления.
10. Методические принципы совершенствования управления предприятием.
11. Стратегии внедрения ИТ в систему управления предприятия.
12. Направления совершенствования систем управления на основе ИТ.
13. Особенности управления эргатическими системами.
14. Специфика анализа эргатических систем управления.

15. Показатели качества работы людей в эргатических системах управления.

16. Решения о целесообразности того или иного нововведения в эргатических системах управления.

3.3. Информационный анализ систем управления

Четыре «закона» теории информации:

1. Информация, которая у вас есть, не та, которую вам хотелось бы получить.

2. Информация, которую вам хотелось бы получить, не та, которая вам на самом деле нужна.

3. Информация, которая вам на самом деле нужна, вам недоступна.

4. Информация, которая в принципе вам доступна, стоит больше, чем вы можете за нее заплатить.

«Законы информации Спенсера»

Обмен информацией был и является одной из отличительных особенностей человеческой деятельности. Общение людей друг с другом, их взаимоотношения с внешним миром, их производственная, научная и общественная деятельность тесно связаны с информационными процессами - процессами восприятия, передачи, обработки, поиска, хранения и отображения информации. Без обмена информацией невозможно управление различными объектами, организация производственной, научной и общественной жизни человека.

Объектом информационного анализа в лекции являются информационные процессы, протекающие в системе управления.

Информационное описание и моделирование систем

Главное отличие подхода к изучению любого объекта как системы состоит в том, что исследователь не ограничивается рассмотрением и описанием только вещественной и энергетической его сторон, но и (прежде всего) проводит исследование его информационных аспектов: целей, информационных потоков, управления, организации и т.д. Создание новых и совершенствование существующих объектов

(систем) зависят от решения вопросов, позволяющих анализировать имеющуюся информацию, отсеивать ее избыточную часть, выделять основную, производить оценку и обеспечивать формирование альтернатив для принятия решений.

Любая более или менее сложная экономическая система в процессе своего существования потребляет и вырабатывает большой объем информации. Более того, сегодня можно однозначно утверждать, что объем информации, необходимый для нормального функционирования экономических объектов, и требования к скорости восприятия информации экономической системой неуклонно возрастает. Предприятия производят обмен информацией как внутри себя, так и во вне (в «горизонтальном» и «вертикальном» направлении). Ни для кого не секрет, что в рамках достаточно крупного промышленного предприятия годовой оборот документированных данных может достигать двухмиллионного рубежа и содержать совершенно фантастическую цифру показателей — более ста миллионов единиц. Однако сразу отметим, что количество данных в отчетах не адекватно содержащейся в них информации. Обычно под информацией понимают только те данные, которые способствуют решению задач, поставленных перед исследователем. Из литературных источников известно, что только 10-30% данных, циркулирующих в экономических системах, непосредственно используются при решении задач. Остальные данные не используются вообще [11].

Рыночные условия хозяйствования и современные компьютерные технологии потребовали от экономических систем новых форм организации информационных потоков. В качестве примера можно привести систему маркетинговой информации, которая сама по себе представляет постоянно меняющуюся сложную систему из четырех подсистем: внутренней отчетности, исследований, сбора текущей внешней информации, анализа информации.

Информационное описание должно давать представление об организации и управлении системой.

В теории информации рассматривают синтаксический, семантический и прагматический аспекты информации.

На синтаксическом уровне рассматриваются внутренние свойства текста (структура), т.е. отношение между знаками (алфавита), отражающие структуру данной знаковой системы.

На семантическом уровне анализируются отношения между знаками и обозначаемыми ими предметами, действиями, качествами, т.е. смысловое содержание текста.

На прагматическом уровне рассматриваются отношения между текстом и тем, кто его использует, т.е. ценность информации для потребителя. При этом информацию оценивают, как и любой продукт, по тем потребительским свойствам, которыми она обладает (например, содержательностью информации, удобством для восприятия, своевременностью). Кроме того, ценность информации характеризуется ее актуальностью, надежностью, достоверностью.

Часто ценность информации выражается через приращение вероятности достижения цели: если до получения информации вероятность достижения цели была p_0 , а после получения информации — p_1 , то величина ценности информации определяется по формуле Харкевича:

$$I_0 = \log_2(p_1/p_0).$$

Очевидно, что она может быть и отрицательной, если $p_1 < p_0$

Информация со временем снижает свою ценность. Возможны две причины:

1) обесценение информации в конечном источнике по мере ее использования;

2) старение информации, из-за задержки при ее передаче и переработке.

При информационном подходе исследуемая система в наиболее абстрактном виде может быть представлена иерархической структурой, на нижнем уровне которой находятся участки технологического процесса, а на более высоких — узлы управления, связанные с объектами управления и между собой каналами связи.

Первый информационный уровень — это уровень непосредственного управления технологическими операциями, который осу-

ществляют рабочие и автоматы (роботы). На следующих уровнях образуются производственно-технологические подразделения (участки, цехи) и предприятия.

В зависимости от поставленных задач исследователь сам определяет количество уровней в системе, существо каждого элемента структуры системы и их количество.

Информация, циркулирующая в системе, может проявляться в трех формах:

- осведомляющая — движущаяся преимущественно от объектов управления к соответствующим узлам управления (как правило, осведомляющая информация передается по каналам обратной связи);

- управляющая — движется в обратном направлении и содержит указания, директивы и т.п.;

- преобразующая - определяет закономерности поведения узла управления и алгоритмы функционирования его отдельных элементов.

Узлы управления преобразуют осведомляющую информацию в управляющую с помощью преобразующей информации, заключенной в структуре и алгоритмах узла управления.

По мере движения вверх по иерархии информация постепенно обобщается, преобразуется в различных узлах управления и поступает в находящийся на вершине иерархии главный узел управления.

Этот узел, используя полученную осведомляющую информацию, генерирует управляющую информацию, которая двигаясь вниз детализируется в нижележащих узлах. Чем меньше требуется информации от вышестоящих узлов для формирования информации управления в некотором i -ом узле, тем более автономен этот узел.

Для достижения цели и подцелей управления (реализации дерева целей) весьма важно, чтобы в соответствующие узлы управления стекалась только ценная информация, и чтобы ее было достаточно. Поэтому в процессе управления сложными системами на первый план выступают смысловые и ценностные характеристики информации.

Осведомляющая и управляющая информация может генерироваться и потребляться как внутри системы управления, так и вне ее,

образуя информационные потоки, связывающие систему управления с внешней средой.

Фактически информационные потоки системы являются отображением функциональной и структурной организации изучаемого объекта в ракурсе механизма принятия решений внутри системы.

К параметрам информационных потоков относят:

- 1) общее время реагирования;
- 2) интенсивность;
- 3) избыточность;
- 4) дублирование;
- 5) нестабильность;
- 6) погрешность;
- 7) формы представления.

Для количественной оценки информационных потоков в экономических системах известны следующие характеристики:

1. Коэффициент трансформации x/y , где x - число входных показателей, а y - число выходных показателей, имеющих размерность потока за определенное время - час, день, месяц, год. В вертикальных связях данный коэффициент получил название коэффициента сжатия.

2. Коэффициент комплексности $\sum k_i/x$, где k_i - число участий входного показателя i в разработке других показателей.

3. Коэффициент стабильности c/x , где c - число оставшихся неизменными за определенный период показателей (показывает степень устойчивости информационных массивов).

При информационном описании систем принято также использовать понятие количество разнообразия. При одном единственном состоянии системы разнообразие отсутствует, оно появляется, как минимум, при наличии двух возможных состояний изучаемой системы. В общем случае объект наблюдения A может с некоторой вероятностью находиться в одном из k различных состояний.

Количество разнообразия или неопределенность, характеризующую объект, принято оценивать средневзвешенной величиной логарифмов вероятностей различных состояний (исходов). Мету неопределенности, $H(p)$, или энтропию (по аналогии с известным понятием термодинамики) ввел К. Шеннон:

$$H(p) = \sum p_i \text{Log}(1/p_i),$$

где p_i - вероятность i -го состояния системы.

Информация противоположна энтропии, являющейся мерой неопределенности состояний изучаемого объекта. Информация ограничивает разнообразие, снижает энтропию, устраняет неопределенность частично или полностью. По Шеннону, показатель информации о событии равен уменьшению энтропии в системе, вызванной неопределенностью наступления события. Однако не следует забывать, что теория информации разрабатывалась Шенноном для решения задач передачи информации по каналам связи в технических системах, а, следовательно, ее применение при информационном описании сложных экономических систем весьма проблематично и в каждом отдельном случае требует отдельного доказательства.

Информация для узла управления проявляется в двух видах - как задающая цель и как изменяющая или задающая алгоритм управления. Все это приводит к тому, что информационная структура управления сложной системой является графом с преимущественно упорядоченными вершинами, который лишь в частном случае сводится к иерархическому дереву.

В ходе информационного анализа в системе выделяют уровни иерархии управления, отдельные узлы управления (информационные элементы) и связывающие их потоки информации. Вся система представляется в виде направленного графа, вершинами которого служат узлы управления, а ребрами - информационные потоки. Направление ребер соответствует направлению информационных потоков. Поскольку потоки управляющей и осведомляющей информации имеют, как правило, противоположную направленность, то в общем случае строятся два графа.

Движение информации в экономической системе носит довольно сложный характер и полностью отражает иерархическую структуру экономического объекта (рис. 3.1).

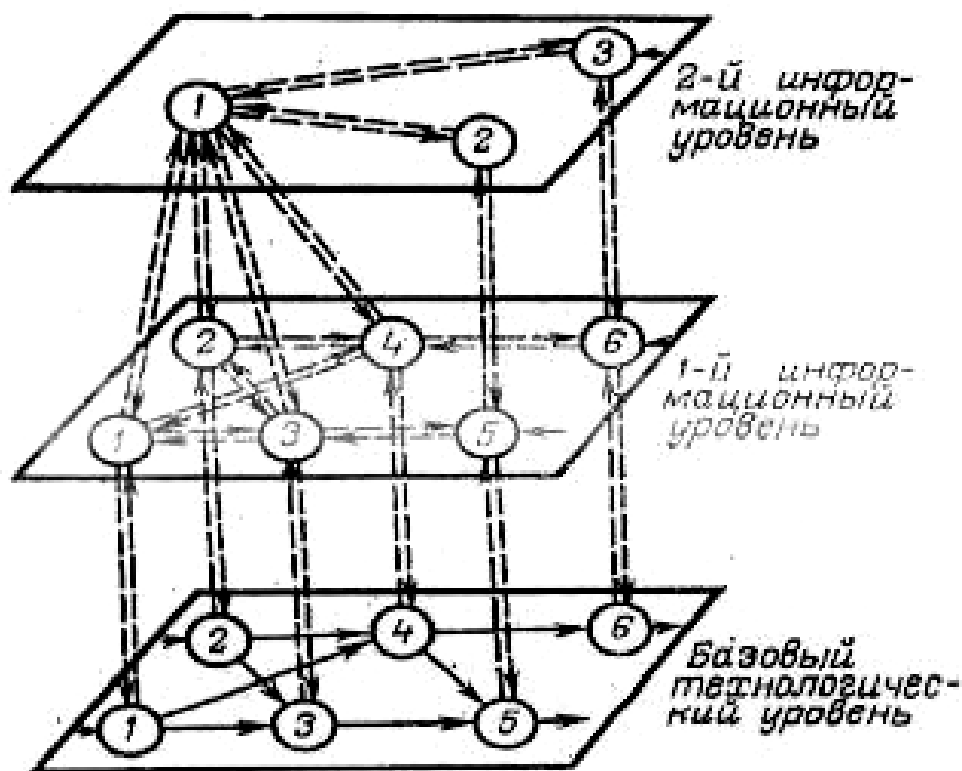


Рис. 3.1. Движение информации в экономической системе

Результатом информационного описания системы является:

- 1) определение состава информационных элементов,
- 2) состава и структуры информационных потоков между ними,
- 3) количество и ценность информации, поступающей (исходящей) в (из) информационных элементов;
- 4) алгоритмов преобразования информации в соответствующих информационных элементах.

Совокупность функционального, морфологического и информационного описаний позволяет отразить главные свойства систем.

Функциональные процессы в системе тесно связаны с информационными. Источником информации для функционирования системы является внутренний ресурс и среда, а носителем - вещество (морфологическая информация) и энергия (сигналы). Восприятие и использование информации из среды также требует внутренней информации.

Пример 3.1. При износе механической детали или отказе электронного блока в ЭВМ теряется информация (потери могут быть либо незначительными, либо вовсе отсутствовать). Заменить деталь или

блок исправным означает восполнить информационную потерю системы (в данном случае при помощи системы более высокого порядка – человеком). Априорная информация заключена в остальных деталях (блоках) ЭВМ, которые предполагаются исправными и без которых новая деталь или блок бесполезны.

Пример 3.2. Живые существа воспринимают морфологическую информацию через пищу и используют ее для восстановления и развития организма. Информация, определяющая функции пищеварения и усвоения морфологической информации, сосредоточена главным образом в ДНК, РНК и ферментах пищеварительных органов.

Несмотря на все многообразие ИП, протекающих в системах управления, с точки зрения технологии обработки информации они имеют много общего. Это позволяет представить обобщенную схему обработки информации в системах управления (рис. 3.2).

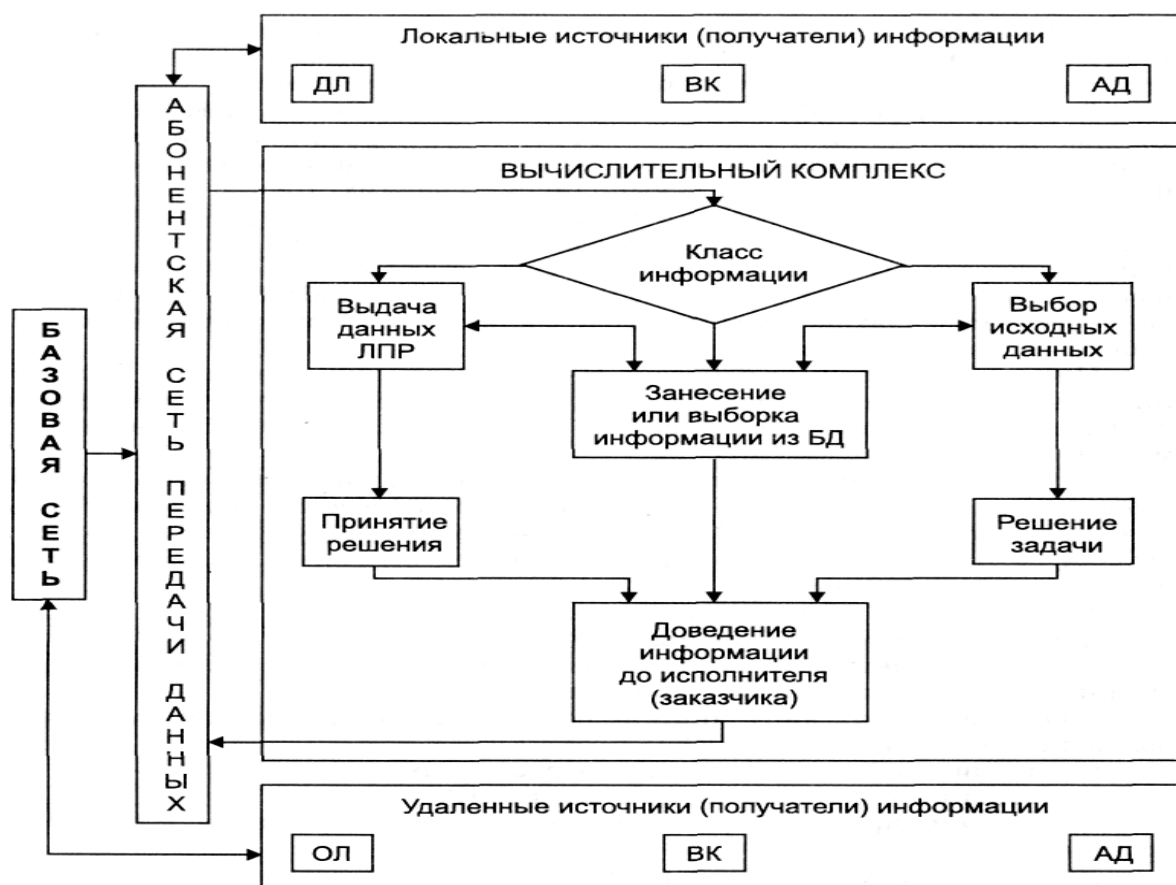


Рис. 3.2. Обобщенная схема обработки информации в системах управления

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:

- сбор данных (вручную или автоматически);
- формирование сообщения (запроса);
- передача данных по каналам связи с использованием средств автоматизации или традиционными способами;
- выдача данных лицу, принимающему решения, или для их ввода в вычислительный комплекс (ВК);
- решение информационных или расчетных задач в ВК;
- выдача результатов решения задач лицу, принимающему решения (ЛПР);
- доведение принятого 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 назначения системы, технической реализации ее отдельных элементов, их приоритетов, характера сведений, передаваемых в информационных сообщениях, и т.д.

Структура информационного процесса

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

Любая информационная единица (I), обладающая потребительской стоимостью (качеством), характеризуется содержанием (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:

- 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. 3.3).

$$I' = Q(I, C, R),$$

где I, I' - кванты информации.

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

Операции по преобразованию информации могут быть разных типов (F), которые определяются типом оператора $Q \rightarrow (|S|F|L|T|)$, сложностью (U), зависящей от типа оператора и цели преобразования $U = \langle Y, C \rangle$, времени (T) ее реализации $T = \langle U, I \rangle$ и ресурсоемкости (R).

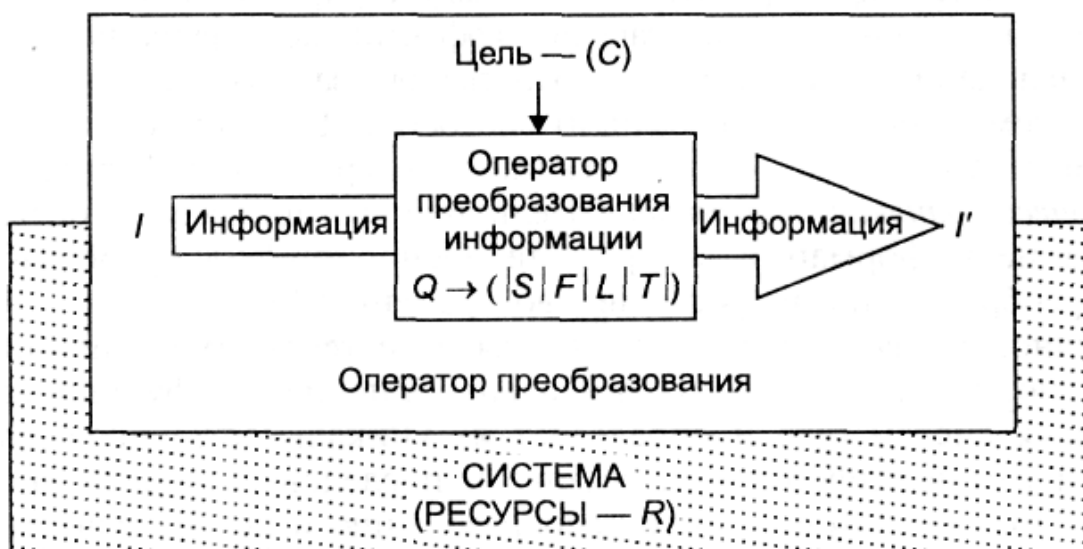


Рис. 3.3. Структура операции преобразования информации

Информационный процесс структурно можно представить множеством подпроцессов. В зависимости от того, какие виды преобразования информации доминируют (т.е. являются основными в системе достижения цели), можно выделить следующие подпроцессы:

1. Формирование (подготовка) информации для преобразования. Доминирующим видом преобразования является преобразование формы (F).

2. Передача информации от источника к потребителю. Очевидно, что основным видом преобразования здесь является преобразование информации в пространстве (L).

3. Семантическая (смысловая) обработка информации – центральный подпроцесс ИП в системе управления. В результате осуществления семантической обработки информации появляется новая информация, на основе которой формируются управляющие воздействия. Именно по этому процессу можно полностью идентифицировать всю систему с управлением и именно от качества обработки информации зависит эффективность функционирования системы. Цель данного процесса – выработка адекватных управляющих воздействий оптимальным (рациональным) способом. Доминирующий вид преобразования в этом случае – преобразование содержания информации (S).

4. Процесс хранения информации. Цель данного процесса – обеспечить существование информации во времени. Основным видом 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 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. На рис. 3.4 представлен фрагмент структуры ИП, который обычно присущ большим системам управления.



Рис. 3.4. Фрагмент структуры ИП

Управленческие (информационные) процессы можно реализовать на ЭВМ, если их удастся формализовать. Под формализацией понимается точное описание изучаемого объекта. Формализация процесса управления включает выделение управленческих функций и задач, разработку алгоритмов формализации и проведение 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.

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, исполь-

зуемой в системе управления. Объектами исследования являются информационные процессы, протекающие в системе управления.

К настоящему моменту методология информационного анализа не является жестко формализованной и не имеет строгих канонов [12, 13]. Кроме того, конкретные исследовательские приемы зависят от поставленных задач и не бывают стандартными. Общие принципы рождаются на стыке трех типов компетенций:

- Навыков экономического и управленческого анализа.
- Навыка поиска и обработки информации.
- Технических компетенций.

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.

В наиболее общем виде алгоритм проведения информационного анализа выглядит следующим образом:

1. Идентификация проблемы.
2. Декомпозиция проблемы, определение задач исследования.
3. Формулирование рабочей гипотезы.
4. Определение релевантного информационного массива.
5. Поиск необходимых данных.
6. Анализ данных.

7. Проверка гипотезы (возврат к пункту «3» или переход к «8»).

8. Подготовка отчета.

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.

Безопасность информационной работы

Владение информационными ресурсами и рациональное их использование создают условия оптимального управления обществом [14]. И напротив, искажение информации, блокирование ее получения, использование недостоверных данных ведут к ошибочным решениям. Одним из главных факторов, обеспечивающих эффективность в управлении различными сферами общественной жизни, является правильное использование информации различного характера. Особенно актуальна проблема использования экономической информации в сфере управления материальным производством, где рост информационного потока находится в квадратичной зависимости от промышленного потенциала страны. В свою очередь, быстрое развитие процессов автоматизации, использование компьютеров во всех сферах современной жизни, помимо несомненных преимуществ, повлекли появление ряда специфических проблем. Одна из них - необходимость обеспечения эффективной защиты информации. Исходя из этого создание правовых норм, закрепляющих права и обязанности граждан, коллективов и государства на информацию, а также защита этой информации становятся важнейшим аспектом информационной политики государства. Защита информации, особенно в экономической сфере, - очень специфический и важный вид деятельности. Достаточно сказать, что в мире средняя величина ущерба от одной банковской кражи с применением электронных средств оценивается в 9 тыс. долл. Ежегодные потери от компьютерных преступлений в США и Западной Европе достигают 140 млрд. долл. По мнению американских специалистов, снятие систем защиты информации с компьютерных сетей приведет к разорению 20% средних компаний в течение нескольких

часов, 40% средних и 16% крупных компаний потерпят крах через несколько дней, 33% банков лопнут за 2-5 часов, 50% банков - через 2-3 дня.

Представляют интерес сведения о проблемах защиты данных, приведших к материальным потерям в компаниях США [14]:

- сбои в работе сети (24%);
- ошибки программного обеспечения (14%);
- компьютерные вирусы (12%);
- неисправности в компьютерах (11%);
- хищение данных (7%);
- саботаж (5%);
- несанкционированное внедрение в сеть (4%);
- прочие.

Бурное развитие и распространение компьютерных систем и информационных сетей, обслуживающих банки и биржи, сопровождается ростом правонарушений, связанных с кражами и неправомерным доступом к данным, хранящимся в памяти компьютеров и передаваемым по линиям связи. Возрастающая опасность компьютерной преступности, прежде всего в финансово-кредитной сфере, определяет важность обеспечения безопасности автоматизированных информационных систем.

Типичны следующие виды безопасности:

- Внешняя (в ходе общения с посторонними). Различные неприятности могут возникнуть при общении с обычными людьми и структурами, но многое здесь можно предвидеть и избежать, используя банальный принцип трех "не": не раздражать, не связываться, не выделяться.

- Внутренняя (при контактировании в своей среде и группе). Контакты в собственной среде нельзя рассматривать как гарантированно безопасные. Помните, что "наибольший вред обычно получается от двух условий: от разглашения тайны и доверия вероломным". Сохранение тайны личности. Сохранение тайны дела.

- Локальная (в различных ситуациях и действиях). Лучшей гарантией успеха является обычно подстраховка, и потому любые действия желательно осуществлять с учетом всех возможных неприятностей со стороны противника или случайно подвернувшихся свидетелей.

Анализ информации – превращение данных в аналитические выводы

После сбора информации из различных источников необходимо разобраться, что именно из этого нужно для первоначального анализа потребностей в соответствии с поставленной задачей [15]. В зависимости от объема поставленной задачи этот этап исследований может оказаться довольно затратным, так как включает в себя, по меньшей мере, временные затраты внутренних, а иногда и внешних, ресурсов и, возможно, некую дополнительную проверку правильности результатов анализов посредством дальнейших интервью.

Формат предоставления результатов после выполнения задачи по анализу информации имеет для конечных пользователей немаловажное значение. Как правило, у людей, ответственных за принятие решений, нет времени на поиск ключевых результатов анализа в большом объеме полученных ими данных. Основное содержание необходимо перевести в легкий для восприятия формат с учетом их требований. В то же время следует обеспечить удобный доступ к дополнительным фоновым данным для тех, кто заинтересуется и захочет «копнуть глубже». Эти основные правила применяются независимо от формата предоставления информации, будь то программное обеспечение с базой данных, информационный бюллетень, презентация *PowerPoint*, личная встреча или семинар.

Методы и способы анализа, которые обсуждаются ниже, оптимально подходят для компаний, у которых уже имеются структурированные бизнес-процессы, например, процесс выработки стратегии. Компаниям, управление которыми не так четко структурировано, возможно, придется проявить некоторую креативность при использовании подходов методики проведения анализа с учетом действующих у них схем управления. Тем не менее, основные принципы, которые здесь рассматриваются, подойдут для любой компании.

Оценка потребностей в анализе информации: почему это так важно?

С учетом того, что понимание ключевых требований к анализу информации в самом начале этого процесса оказывает более сильное

влияние на качество конечных результатов. Пристальное внимание к оценке потребностей во многих случаях позволяет существенно повысить ценность и применимость конечных результатов данного процесса. Ниже рассматриваются конкретные способы улучшения качества оценки потребностей.

Нередко считается, что руководство знает, какая информация нужна компании. Однако на самом деле высшее руководство, как правило, имеет представление лишь о части информационных потребностей своей организации и даже в этом случае, возможно, находится не в самом лучшем положении, чтобы точно определить, какая информация нужна, не говоря уже о том, где ее можно найти.

В результате постоянно повторяется ситуация, когда для выполнения задач по анализу информации нет ни четко сформулированного представления о проблеме, ни ее бизнес-контекста. Те, кто лучше всего знаком с источниками информации и методами анализа, тратят время на беспорядочную обработку данных и не видят картины в целом, а также тех подходов, которые имеют наиболее существенное значение для компании. В результате люди, ответственные за принятие решений, получают гораздо больше информации, чем им нужно, что в принципе контрпродуктивно, поскольку вскоре они начинают игнорировать не только бесполезную, но и важную информацию. Им нужен не большой объем информации, а более качественная и точная информация.

В то же время у людей, ответственных за принятие решений, могут быть нереалистичные ожидания по поводу доступности и точности информации, так как перед постановкой задачи они не проконсультировались со специалистами в области анализа информации. Следовательно, в идеале специалисты в области анализа информации и люди, ответственные за принятие решений, должны находиться в постоянном контакте друг с другом и вместе работать над тем, чтобы обе стороны имели одинаковое представление о первоочередных информационных потребностях. Умение управлять этим процессом требует от аналитиков, работающих в этом направлении, целого ряда навыков:

- Аналитик должен понимать, как выявлять и определять информационные потребности людей, ответственных за принятие решений.

- Аналитик должен развивать навыки эффективного общения, проведения интервью и презентаций.

- В идеале аналитик должен разбираться в психологических типах личности, чтобы учитывать различную направленность людей, ответственных за принятие решений.

- Аналитик должен знать организационную структуру, культуру и среду, а также ключевых опрашиваемых лиц.

- Аналитик должен сохранять объективность.

Работа в рамках цикла анализа информации и устранение «узких мест» в процессе

Сложности выполнения аналитической задачи в рамках цикла анализа информации можно описать, пользуясь стандартным треугольником управления проектом, т.е. необходимо выполнить задачу и выдать результат при трех основных ограничениях: бюджете, сроках и объеме работ. Во многих случаях эти три ограничения конкурируют между собой: в стандартной задаче по анализу информации увеличение объема работ потребует увеличения сроков и бюджета; жесткое ограничение по срокам, вероятно, будет означать увеличение бюджета и одновременное сокращение объема работ, а ограниченный бюджет, скорее всего, означает как ограничение объема работ, так и сокращение сроков на реализацию проекта.

Поскольку ресурсы ограничены, в первую очередь следует устранить наиболее критичные «узкие места». Достаточно ли у группы по анализу информации возможностей для его проведения? Необходимо ли дополнительное обучение? Или проблема скорее заключается в том, что аналитикам не хватает ценной информации, с которой можно работать — другими словами, наиболее критичным «узким местом» является сбор информации? А может быть, группе по анализу информации просто не хватает времени, то есть группа не в состоянии своевременно реагировать на срочные запросы?

Повысить эффективность выполнения аналитической задачи в рамках цикла анализа информации можно в двух направлениях. «Производительность» цикла, т.е. тщательность, с которой группа по анализу информации может обрабатывать аналитические задачи на каждом этапе, и скорость ответа на вопрос. На рис. 3.5 показана разница между этими подходами и в целом различие между задачами по стратегическому анализу и запросами на проведение исследований, требующими оперативного реагирования.

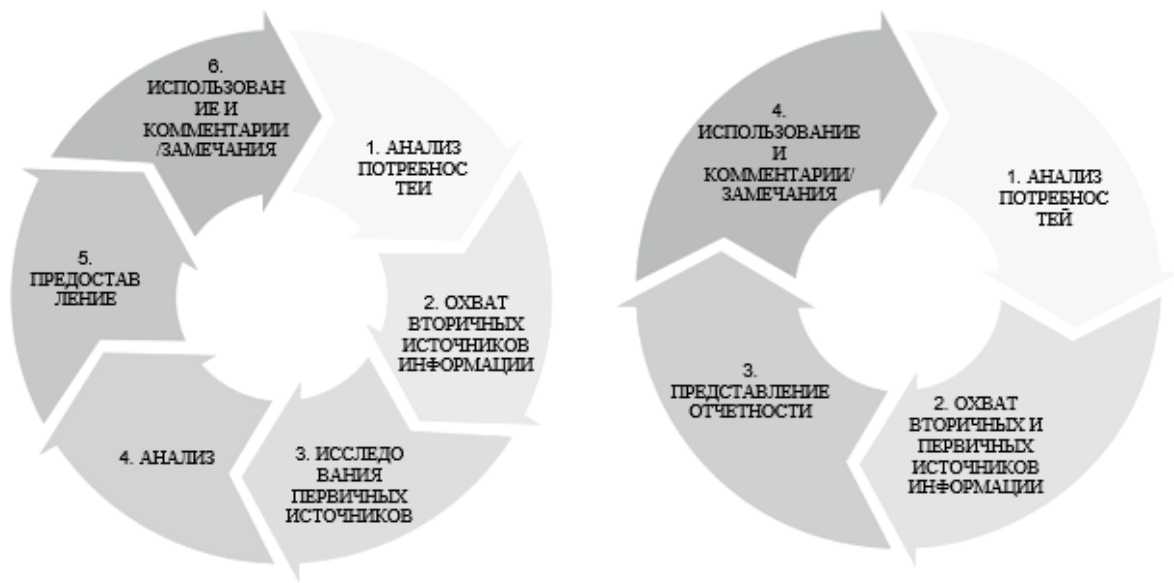


Рис. 3.5. Циклы анализа информации

Задача по проведению исследований, требующая оперативного реагирования, проходит через усовершенствованный цикл анализа информации (рисунок левый). В проекте стратегического анализа группа по исследованию рынка тратит больше времени и усилий на большинстве этапов процесса сбора информации (рисунок правый). Хотя и тот, и другой подход предполагают прохождение аналитической задачи через все этапы цикла анализа информации, группа по анализу информации, перед которой поставлена задача оперативно провести исследования, будет работать над изучением вторичных и первичных источников параллельно (иногда один телефонный звонок специалисту может дать необходимые ответы на вопросы, поставленные в запросе на проведение исследований). Кроме того, во многих

случаях анализ и предоставление информации объединены, например, в кратком обзоре, который аналитик передает руководителю, запросившему данную информацию.

Производительность цикла анализа информации можно повысить, добавив либо внутренние (нанятые), либо внешние (приобретенные) ресурсы там, где они необходимы, что позволит добиться более качественных результатов и расширить возможности по обслуживанию все большего количества групп пользователей в пределах организации.

На рис. 3.6 показаны два типа итоговых результатов цикла анализа информации, то есть стратегический анализ и исследования, требующие оперативного реагирования.



Рис. 3.6. Конечные результаты анализа информации подразделяются на четыре зоны обслуживания и пять типов продуктов

Несмотря на то что задачи по проведению исследований, требующих оперативного реагирования, обычно связаны с бизнес-процессами, уровень их анализа не очень высок из-за банальной нехватки времени для проведения такого анализа. С другой стороны, задачи по стратегическому анализу, как правило, связаны с высоким уровнем совместного творчества на этапе анализа и предоставления информации, что ставит их практически на вершину треугольника,

где осуществляется интерпретация и применение полученной информации.

Наиболее активная деятельность ведется на этапах планирования и реализации. Успешное внедрение цикла анализа информации, объединившего внутренние заинтересованные стороны (для оценки потребностей) и многочисленные источники информации в рамках четко определенного процесса предоставления результатов анализа, означало, что реализованная аналитическая программа оказала определенное влияние на разработку стратегии и упреждающее принятие решений.

Контрольные задания

1. Что дает информационное описание системы?
2. При информационном подходе как представляется исследуемая система?
3. Формы представления циркулирующей информации в системе.
4. Количественная оценка информационных потоков в экономических системах.
5. Характер движения информации в иерархической структуре экономической системы.
6. Что является результатом информационного описания системы?
7. Обобщенная схема обработки информации в системах управления.
8. Содержание подпроцессов: формирования (подготовки) информации для преобразования; передачи информации от источника к потребителю; семантическая (смысловая) обработка информации.
9. Сущностью информационного анализа систем.
10. Цель информационного анализа систем управления.
11. Процедура информационного анализа.
12. Алгоритм проведения информационного анализа.
13. Безопасность информационной работы.
14. Формат предоставления результатов после выполнения задачи по анализу информации.

3.4. Морфологический анализ систем управления

Термином морфология в биологии и языкознании определяется учение о внутренней структуре исследуемых систем (организмов, языков) или сама внутренняя структура этих систем.

Идея морфологического способа мышления восходит к Аристотелю и Платону, к известной средневековой модели Р. Луллия. Однако в систематизированном виде методы морфологического анализа сложных проблем были разработаны астрономом Ф. Цвикки, и долгое время морфологический подход к исследованию и проектированию сложных систем был известен под названием метода Цвикки [16].

В описании метода морфологического анализа исходят из понимания того, что непосредственным результатом исследовательской работы является эффективное решение проблемы. Проведение исследования сводят к анализу вариантов решений по определенному набору их параметров. Это и характеризует морфологический метод исследования.

Его можно реализовать посредством составления так называемых морфологических карт, которые содержат, с одной стороны, перечень необходимых параметров, отражающих предполагаемый и ожидаемый результат, с другой стороны, варианты решений, среди которых надо делать выбор, чтобы достичь результата.

Например, такими параметрами могут быть своевременность исполнения, равномерность загрузки, инновационность деятельности, качество работы. Все это параметры управления. Какие факторы определяют их достижение или реализацию? Контроль исполнения, ясность распоряжений, учет загрузки, нормы загрузки, информационное обеспечение, планирование работ, распределение персонала, обучение персонала, мотивирование исполнения, критерии качества, мотивирование качества и др. Все эти факторы определяют возможные решения. Но решения могут быть ключевыми и второстепенными, промежуточными и окончательными. Сделать выбор и обосновать решения позволяет морфологическая карта. Решение должно соединять все эти факторы, отражать комплекс действий, способных изменить положение.

Соединение метода классификации и метода обобщения дает метод морфологического анализа (иногда он называется методом морфологического ящика). Он построен на декомпозиции проблемы по составляющим ее элементам, поиске в этой схеме наиболее перспективного относительно всей проблемы элемента ее решения.

Морфологический анализ предполагает не простую декомпозицию, т.е. разложение целого на составляющие его части, но выделение элементов по принципам функциональной значимости и роли, т.е. влияния элемента или подпроблемы на общую проблему, а также прямую или опосредованную связь с внешней средой (иногда это называют надсистемой).

Исходной позицией морфологического анализа является постановка проблемы. Далее проводится ее декомпозиция, т.е. разделение на составляющие проблемы. В качестве примера можно назвать проблемы структуры системы управления, профессионализма персонала, мотивации деятельности, трудоемкости функции, учета загрузки. Могут быть названы и другие проблемы.

Далее проводится декомпозиция каждой из представленных проблем в отдельности. При этом не исключено, что проблемы переводятся с одного иерархического уровня на другой.

Но декомпозицию проблем надо делать не только сверху вниз, но и снизу вверх. Ведь распределение функций зависит не только от внутреннего состояния системы управления, но и от внешних факторов ее функционирования: конкуренции, экономической обстановки, рынка специалистов, системы обучения, государственного регулирования и др.

Таким образом, строится морфологическая схема, и на ее основе проводится анализ каждой из них, чтобы найти главную, связать ее с другими. При анализе можно использовать и другие методы исследования, такие как мозговой штурм, синектика и пр.

Пределом развития морфологической схемы снизу вверх и сверху вниз является возможный переход в другой класс проблем, который сделает эту схему бесконечной. На этом переходе следует остановиться

Для того чтобы морфологическая схема была построена корректно, следует использовать ряд операторов, посредством которых можно проверять принадлежность проблемы к той или иной иерархической ступени или переходить с одной ступени на другую при декомпозиции проблем.

Эти операторы существуют в форме ключевых вопросов, ответ на которые дает возможность переводить проблему на новую ступень морфологической схемы.

Любую проблему можно сформулировать в виде исходного действия. Например, изменить распределение функций. Это исходная проблема (ИП).

Первый оператор морфологического анализа: «Зачем это нужно?» Целевые установки (ЦУ): создать инновационный климат, повысить профессионализм деятельности, обеспечить ритмичность работы.

Второй оператор морфологического анализа: «Как это можно сделать?» Механизм решения проблемы (МР): издать общее распоряжение, изменить структуру лидерства (перераспределить персонал), использовать компьютерные программы, изменить структуру системы управления, обучить персонал.

Важно включить в морфологический анализ и декомпозицию причин возникновения проблем, причем с дифференциацией причин на внешние и внутренние. Вопрос: почему возникла проблема? (ВП). В нашем примере это могут быть изменение структуры информации, целей развития, стиля управления, возникновение отрицательных традиций, нерациональное использование техники управления, снижение профессионального уровня. Внешние причины могут заключаться в социально-психологических перегрузках урбанизированной жизни, в дефиците или высокой стоимости компьютерной техники, общем изменении менталитета.

Морфологический анализ помогает глубже понять содержание проблемы и не просто найти ее решение, но и выбрать наиболее удачное решение, учитывая средства и методы, причины и последствия.

Морфологический подход

Основная идея морфологического подхода - систематически находить наибольшее число, а в пределе - все возможные варианты решения поставленной проблемы или реализации системы комбинированием основных (выделенных исследователем) структурных элементов системы или их признаков.

Кроме этих общих положений Ф. Цвикки предложил ряд отдельных способов (методов) морфологического моделирования: метод систематического покрытия поля (МСПП), метод отрицания и конструирования (МОК), метод морфологического ящика (ММЯ), метод экстремальных ситуаций (МЭС), метод сопоставления совершенного с дефектным (МССД), метод обобщения (МО). Наибольшую известность получили три первых метода [9].

Метод систематического покрытия поля предполагает, что существует некоторое число «опорных пунктов» знания в любой исследуемой области. Этими пунктами могут быть теоретические положения, эмпирические факты, известные на данный момент компоненты сложной системы, открытые законы, в соответствии с которыми протекают различные процессы, и т.п. Исходя из ограниченного числа опорных пунктов знания и достаточного числа принципов мышления (в том числе различных мер близости), с помощью МСПП ищут возможные варианты решения поставленной проблемы.

Метод отрицания и конструирования основывается на соображениях, которые Ф. Цвикки сформулировал следующим образом: «На пути конструктивного прогресса лежат догмы и компромиссные или диктаторские ограничения. Следовательно, есть смысл их отрицать. Однако одного этого недостаточно. То, что получается из отрицания, необходимо конструктивно переработать». В соответствии с этим МОК реализуется с помощью трех этапов:

1) формирование ряда высказываний (положений, утверждений, аксиом и т.п.), соответствующих современному уровню развития исследуемой области знаний;

2) замена одного, нескольких или всех сформулированных высказываний на противоположные;

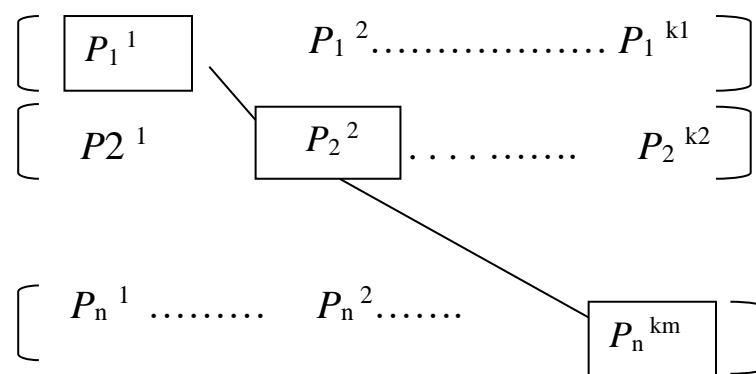
3) построение всевозможных следствий, вытекающих из такого отрицания, и проверка непротиворечивости вновь полученных и оставшихся неизменными высказываний. МОК может быть реализован в форме одного из методов МА - метода «судов».

Метод морфологического ящика [16] основан на формировании и анализе морфологической таблицы - морфологического ящика (МЯ). Построение и исследование МЯ по Цвикки проводится в пять этапов:

1) формулировка поставленной проблемы;

2) определение параметров (классификационных признаков) P_n , от которых зависит решение проблемы (процедура анализа может быть итеративной, с изменением набора P по мере уточнения представлений об исследуемом объекте или процессе принятия решений);

3) деление параметров P_n на их значения p_n^{ki} (формирование классификаторов по выбранным признакам P_n и представление их в виде матриц-строк:



Набор значений (по одному из каждой строки) различных параметров представляет собой возможный вариант решения моделируемой задачи: например, вариант $\langle P_1^1, P_2^2 \dots P_n^{km} \rangle$.

Общее число вариантов, содержащихся в МЯ, $R = k_1 * k_2 * \dots * k_m$, где $k_i (i = 1, 2, \dots, m)$ - число значений i -го параметра;

4) оценка всех имеющихся в МЯ вариантов;

5) выбор наилучшего варианта решения задачи.

С математической точки зрения идея морфологического перебора базируется на получении размещений с повторениями из k по

n , число которых в общем случае подсчитывается, как уже показано, а в частном случае при одинаковом числе значений каждого из параметров (т.е. при $k_1 = k_2 = \dots = k_m = k$) определяется с помощью известной теоремы комбинаторики

$$R_{nk} = kn$$

где n - число строк МЯ;

k - число элементов в каждой строке.

Для сокращения перебора этапы 3 и 4 могут быть совмещены, а явно неприемлемые варианты можно сразу исключить из рассмотрения в пункте 5.

Следует отметить, что, строго говоря, речь об оптимизации идти не может. Идею поиска наилучшего варианта (вариантов) решения лучше квалифицировать как постепенно ограничиваемый перебор, который с самого начала сокращается благодаря формированию МЯ, поскольку число размещений с повторениями меньше числа сочетаний, по мере увеличения объемов МЯ разрыв увеличивается и ограничение перебора сказывается в большей степени. Затем область выбора решения ограничивается в результате исключения явно неприемлемых вариантов, а дальнейшее ограничение области возможных решений можно организовать путем введения и учета количественных, а затем (при прочих равных условиях) и качественных критериев.

Возможны следующие пути выбора решений из МЯ (рис. 3.7):

- применение одного критерия, полностью исключающего все варианты решений, кроме одного (рис. 3.7, А);
- последовательное применение нескольких критериев A, B, C , постепенно исключающих все варианты, кроме одного (рис. 3.7, Б);
- расчленение проблемы на подпроблемы (или задачи - на подзадачи) и последовательное применение нескольких критериев для выбора по одному варианту решения по каждой из подпроблем (подзадач), которые, вместе взятые, и составляют искомое решение (рис. 3.7, В).

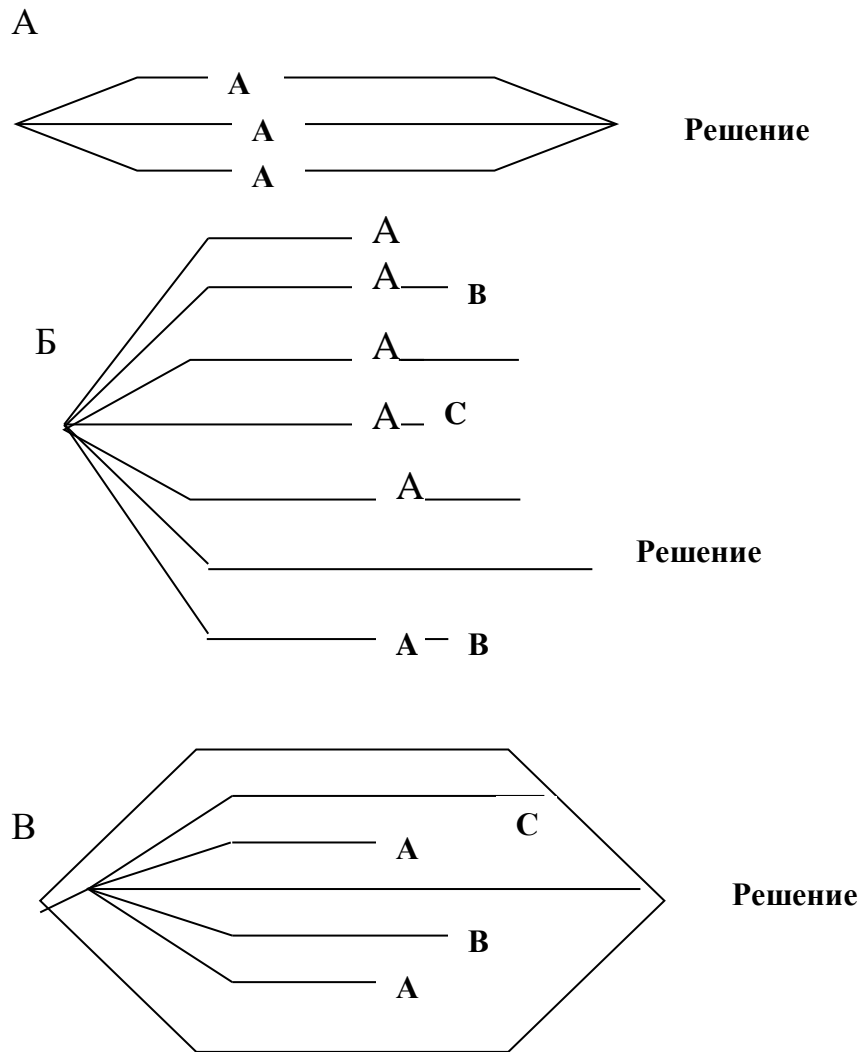


Рис. 3.7. Пути выбора решений из МЯ

В последнем случае может быть получено не одно решение, составленное из решений подпроблем, а несколько таких решений, и тогда для уменьшения числа этих вариантов дальнейшее сужение области допустимых решений может осуществляться введением дополнительных критериев (как правило, качественных).

Следует также оговорить, что решения по подпроблемам, из которых формируется общий вариант решения, могут быть взаимозависимыми (в частности, при размещении по линиям сборки один и тот же заказ не может в соответствующем плановом периоде помещаться на разные взаимозаменяемые линии сборки).

Ф. Цвикки и его последователи разрабатывали и исследовали МЯ различного вида. Например, известен вариант МЯ, в котором значения одного и того же параметра откладывались и по горизонтальной, и по вертикальной оси двухмерной матрицы-«ящика», и варианты решений получались на пересечении различных значений параметров, т.е. как элементы этой матрицы.

МЯ могут быть также не только двухмерными. Трехмерные МЯ и МЯ большей размерности находят, например, применение при разработке прогнозов и при макропроектировании вариантов новой техники.

Предложенные Ф. Цвикки методы нашли широкое применение как средство активизации изобретательской деятельности. А при моделировании задач автоматизации проектирования, задач планирования, например, распределения заказов по плановым периодам, размещения их по производствам, линиям сборки и т.п., удобным средством оказался ММЯ.

Обратим внимание на тот факт, что при формировании морфологической таблицы (морфологического ящика) другие методы морфологического моделирования могут использоваться как вспомогательные.

Морфологический анализ предполагает не простую декомпозицию, т.е. разложение целого на составляющие его части, но выделение элементов по принципам функциональной значимости и роли, т.е. влияния элемента или подпроблемы на общую проблему, а также прямую или опосредованную связь с внешней средой (иногда это называют надсистемой).

Это лучше всего можно объяснить на примере [9]. Возьмем проблему распределения функций. Менеджер заметил, что в процессах управления очень часто встречаются задержки в принятии решений, или подготовке документов, или реагировании на распоряжения. Многие объясняют такое положение неудачным распределением функций и полномочий между подразделениями, неравномерной загрузкой.

Можно исправлять положение, опираясь на эти разумные объяснения, но менеджер должен понимать, что причина может быть глубже и включать множество факторов эффективной деятельности персонала. Надо решать проблему комплексно, опираясь на глубокий и всесторонний анализ существующего положения дел. Для этого надо провести морфологический анализ проблемы распределения функций.

В качестве следующего примера рассмотрим морфологический анализ рабочего процесса тепловозного дизеля с целью повышения его эффективности. Выделим четыре морфологических признака: способ распыла топлива; способ подачи топлива; способ подачи воздуха в камеру сгорания; способ распределения топлива в камере сгорания. Для каждого из этих признаков определим варианты осуществления и изобразим все в виде морфологической табл. 3.4.

Таблица 3.4. Морфологическая таблица анализа рабочего процесса тепловозного дизеля с целью повышения его эффективности

Способ распыла топлива
Механический пропуск через отверстия различной формы. Распыл с помощью эффекта гидродинамического излучателя, акустического излучателя. Распыл за счет вихревого потока. Распыл за счет электроискрового способа. Распыл за счет взаимодействия с воздушным потоком. Распыл за счет микровзрывов эмульгированного топлива. Наложение электростатического поля на процесс распыливания. Наложение электромагнитного поля на процесс распыливания. Наложение акустического поля на процесс распыливания
Способ подачи топлива
Открытой форсункой. Закрытой форсункой с запорной иглой и колодцем перед сопловыми отверстиями. Подача топлива с завихрениями перед распыливающими отверстиями. Подача топлива в виде пара. Подача топлива в виде топливно-водяной эмульсии. Подача топлива в смеси с кислородом. Подача дизельного топлива с добавкой водорода. Омагничивание топлива перед подачей его в форсунку. Предварительный нагрев топлива
Способ подачи воздуха в камеру сгорания
С помощью воздуходувки. С помощью турбовоздуходувки. С помощью винтового компрессора в виде вихря, пересекающего факел топлива обогащенного кислородом; обогащенного водородом; с добавлением выхлопных газов с парами топлива; с водяным паром ионизированного; активированного электромагнитным полем; активированного электростатическим полем; активированного радиоактивным излучением
Способ распределения топлива в камере сгорания
Равномерная подача по объему камеры сгорания через симметрично расположенные отверстия в виде концентрированной струи. Равномерная подача по всему объему в виде пара. В виде нескольких струй с различными направлениями. В виде нескольких противоположно направленных струй. В виде вихреобразного потока. В виде нескольких вихреобразных струй

Комбинируя эти варианты, можно получить тысячи вариантов рабочего процесса. Установив критерии цели с помощью ЭВМ, можно определить эффективные решения, которые используются при проектировании и модернизации дизелей. Но решение такой задачи даже с ЭВМ очень сложно, так как при этом необходимо производить анализ очень большого количества комбинаций.

Поэтому целесообразно решать ее по частям для каждого морфологического признака, разбив его на более мелкие. Для этой цели составляется морфологическая таблица на систему подачи воздуха.

Для анализа и оценки вариантов решения был проведен патентный анализ, на основании которого выбраны существующие изобретения, которые показали возможность достижения эффекта и в то же время отсутствие конкретных данных и противоречивость результатов.

Комбинируя эти варианты, можно получить тысячи вариантов рабочего процесса. Установив критерии цели с помощью ЭВМ, можно определить эффективные решения, которые используются при проектировании и модернизации дизелей. Но решение такой задачи даже с ЭВМ очень сложно, так как при этом необходимо производить анализ очень большого количества комбинаций. Поэтому целесообразно решать ее по частям для каждого морфологического признака, разбив его на более мелкие части. Для этой цели составляется морфологическая таблица на систему подачи воздуха (табл. 3.5).

Расширению практического применения МЯ существенно способствует автоматизация морфологического моделирования. При этом важно автоматизировать не только получение вариантов решения, т.е. собственно перебор, но и получение оценок этих вариантов, и даже формирование МЯ.

Таблица 3.5. Морфологическое исследование системы подачи воздуха в камеру сгорания дизеля

Название способа	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З
1.Способ подачи воздуха в камеру	От центрального компрессора	От винтового компрессора	От поршневого компрессора	Прямым всасыванием	—	Х	Х	Х
2.Способ предварительной активизации воздуха	Магнитное воздействие	Электростатическое воздействие	Термическое воздействие	Акустическое воздействие	—	В поле конденсатора	Облучение электромагнитными волнами	Искровой разряд
3. Способ снижения аэродинамического сопротивления	Волновая поворачиваемость всасывающей системы	Завихрение потока в зоне трения	Структурирование потока	Повышение чистоты стенки				

Некоторой разновидностью морфологического анализа является другой метод исследования – метод «букета проблем» [17].

Он состоит в том, 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. Частная задача может быть обобщена не единственным образом. Существует простой алгоритм, позволяющий получить обобщенные формулировки при разных уровнях обобщения. Для его реализации делят исходную формули-

ровку на смысловые группы, затем для каждой из смысловых групп пытаются подобрать более общее понятие.

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 в данном случае представляют аналоги, найденные в областях, достаточно далеких от исходной.

ПВ – Проблема в рамках Взаимодействия. Данная проблема, как правило, находится в комплексе других проблем. Важно выяснить ее роль и характер взаимодействия с другими проблемами. Возможно, что решение данной проблемы может быть достигнуто не само по себе, а через решение другой проблемы.

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. Он основан на поиске такой формулировки проблемы, которая в большей мере способствует нахождению ее решения. Дело в том, что решение любой проблемы зависит от того, как она поставлена, как сформулированы вопросы, отражающие суть этой проблемы. Корректная постановка вопроса всегда отражает знание пути его решения. На этом и построен метод «букета проблем». Технология использования этого метода включает несколько этапов (рис. 3.8) [18]:

1. Постановка проблемы в таком виде, в каком она представлена в реальной практике управления. Например, как использовать компьютер в деятельности менеджера?

2. Обобщить эту проблему, представить ее в общем виде. Здесь может быть множество формул обобщения, так же, как и уровней. В нашем примере: повысить производительность управленческой деятельности, обеспечить профессионализм управления, поднять автори-

тет менеджера и пр. Обобщение позволяет определить класс проблемы, ее истоки, главное в выборе ее решения.

3. Постановка проблемы в таком виде, в каком она представлена в реальной практике управления. Например, как использовать компьютер в деятельности менеджера?

4. Обобщить эту проблему, представить ее в общем виде. Здесь может быть множество формул обобщения, так же, как и уровней. В нашем примере: повысить производительность управленческой деятельности, обеспечить профессионализм управления, поднять авторитет менеджера и пр. Обобщение позволяет определить класс проблемы, ее истоки, главное в выборе ее решения

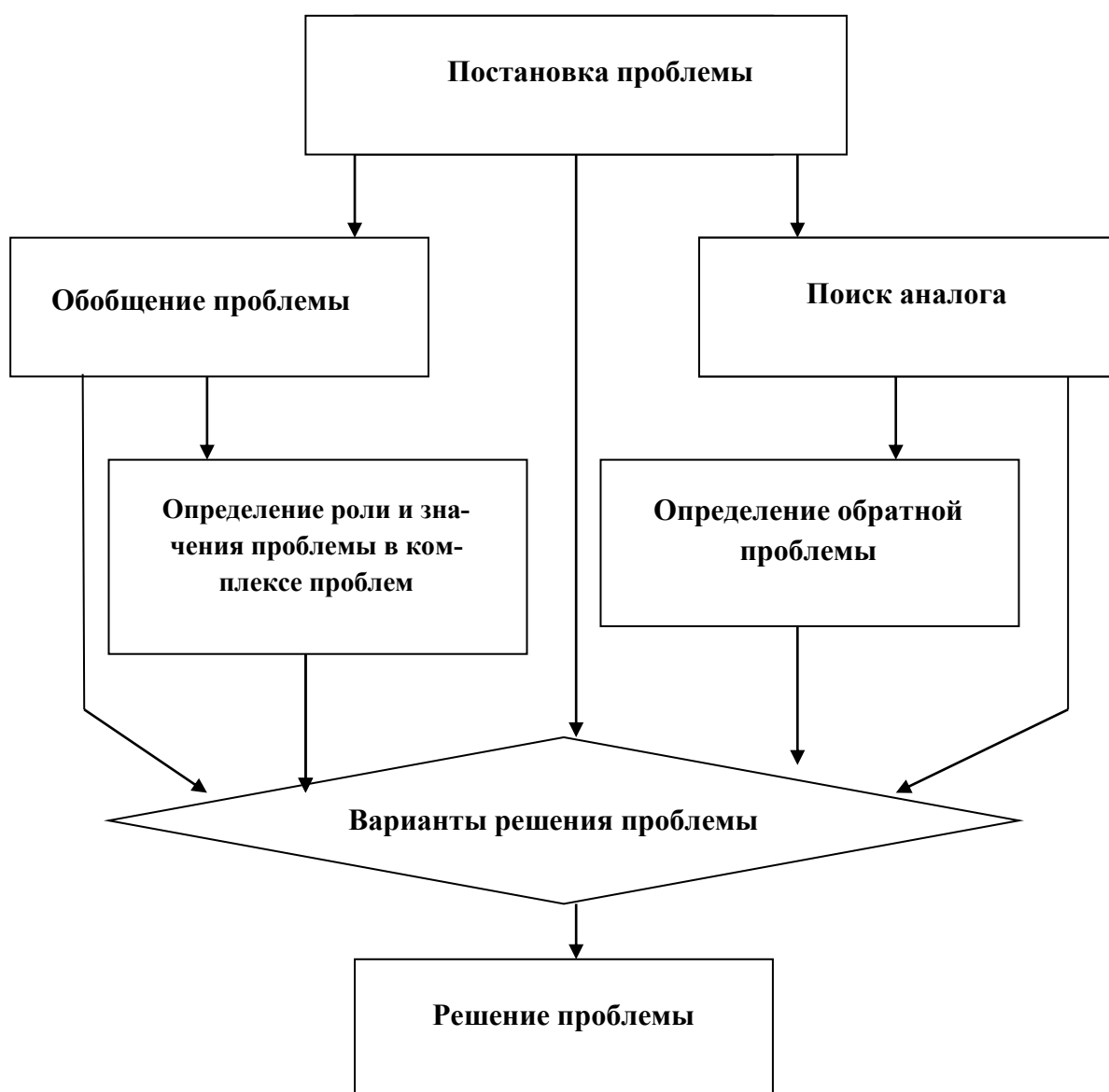


Рис. 3.8. Технология использования метода морфологического анализа

5. Обобщить эту проблему, представить ее в общем виде. Здесь может быть множество формул обобщения, так же, как и уровней. В нашем примере: повысить производительность управленческой деятельности, обеспечить профессионализм управления, поднять авторитет менеджера и пр. Обобщение позволяет определить класс проблемы, ее истоки, главное в выборе ее решения.

6. Определить проблему-аналог. Эти действия заключаются в поиске сходной (похожей) проблемы в других областях деятельности или сферах природы. Можно по поставленной первоначально нами проблеме так сформулировать аналог «отрастить вторую голову», «увеличить скорость мысли», «обеспечить выживание» и т.д. Это звучит парадоксально, но в исследовании не надо бояться парадоксов. Они могут подсказать удачные решения, убедить в необходимости решения проблемы, показать важность ее, они определяют отношение к проблеме, позволяют увидеть исходную проблему в новом ракурсе.

7. Установить роль и взаимодействия проблемы в комплексе других проблем. Может быть, можно решить проблему не саму по себе, а через решение другой проблемы: может быть, решение проблемы произойдет как следствие. Например, по нашей исходной проблеме это может быть замена менеджера другим лицом, владеющим компьютером, изменение распределения функций и полномочий в системе управления так, чтобы менеджер не нуждался в индивидуальном владении компьютером, создать должность личного помощника менеджера, владеющего компьютерной техникой, разработать предельно простые программы использования компьютера, доступные несведущему человеку.

8. Сформулировать обратную проблему. Это бывает очень полезно, так как может подсказать решение, навести исследователя на удачный вариант. Например, компьютеризация деятельности менеджера снижает действие человеческого фактора управления, а это отрицательно сказывается на эффективности управления при любом уровне его технической вооруженности. Такая формулировка обратной проблемы позволяет увидеть опасность неудачных решений, установить критерии выбора успешных решений.

Контрольные задания

1. Основная идея морфологического подхода.
2. Главная задача морфологического исследования.
3. Способов (методы) морфологического анализа.
4. Сущность морфологического анализа.
5. Построение и исследование морфологического ящика (МЯ).
6. Какие возможны пути выбора решений из МЯ?
7. Содержание морфологического анализа.
8. Какие операторы следует использовать для того, чтобы морфологическая схема была построена корректно?
9. Разновидностью морфологического анализа является метод «букета проблем». Содержание этого метода.
10. Этапы технологии использования метода «букета проблем».

3.5. Анализ эффективности информационных систем

Оценка эффективности состоит из следующих этапов [19]:

- определения;
- выбора критериев для рассмотрения;
- оценки системы.

Набор критериев может зависеть от определённой сферы деятельности организации, характеристики проектов и состава системы. Критерии, показатели и оценки можно разделить на две группы: – качественные; – количественные. Количественные оценки дают наглядный показатель эффективности, но не всегда дают полное представление о всех преимуществах использования информационной системы. При оценке эффективности важно рассматривать набор показателей по различным аспектам, таким как финансовые, временные, методологические, организационные и др. Система Критических факторов успеха проекта — механизм для стратегической оценки проекта в целом, основанный на экспертной оценке. Информационные системы оказывают большое влияние на многие характеристики организации. Более подробно наиболее важные из них описаны в табл. 3.6.

Таблица 3.6. Характеристики организации, на которые оказывают влияние информационные системы

№	Характеристика	Описание
1	Операционная эффективность	Имеет прямое отношение к стоимости, скорости и качеству выполнения рутинных задач
2	Функциональная эффективность	Может быть увеличена за счет применения СППР – системы искусственного интеллекта
3	Качество обслуживания клиентов	Примером в данной ситуации может служить применение банковских машин (банкоматов)
4	Создание и улучшение продукции	Продукция бывает двух видов: информационно-интенсивная – она выпускается в банковской деятельности, страховании, финансовом обслуживании и т.д. традиционная – может быть создана и улучшена на основе современных информационных технологий
5	Конкуренция	Возможность изменения основ конкуренции
6	Закрепление клиентов и отдаление конкурентов	Информационные системы конкурентоспособных преимуществ обслуживают стратегические потребности организации

Рыночные условия требуют от фирм, банков и корпораций постоянно находить новые возможности для увеличения конкурентоспособности. В последнее время огромные преимущества создаются за счет использования телекоммуникаций, локальных, корпоративных, и глобальных компьютерных сетей. Они, во-первых, дают возможность привлекать клиентов при помощи сокращения времени обслуживания или предоставления им комфорта, во-вторых, повышают качество и оперативность работы менеджеров во время принятия решений за счет оперативного сбора данных от региональных подразделений и быстрого анализа данных. Инвестиции в информационные системы формируют развитие следующих конкурентоспособных качеств предприятия:

- сокращение сроков ввода в производство новых продуктов;
- сокращение сроков поставок продуктов от поставщиков к заказчикам;
- возможность управления себестоимостью продукции;
- гибкость в планировании производства продукции за счет автоматизации управления материальными потоками.

На уровне функциональных подразделений внедрение информационной системы способно решить проблемы в сложившейся «фактической» системе отношений. Каждое подразделение имеет свой уникальный набор параметров эффективности работы системы.

Существующие методы оценки эффективности обычно делятся на четыре группы: методы инвестиционного и финансового анализа, качественные и вероятностные (рис. 3.9) [20].

Инвестиционный анализ - это общепринятый инструмент обоснования любого бизнес-проекта. Для оценки рентабельности ИТ - проекта чаще всего применяются «динамические» методы, основанные преимущественно на дисконтировании образующихся в ходе реализации проекта денежных потоков. Таким образом, методы инвестиционного анализа позволяют оценить экономические параметры внедрения и применения ИС по аналогии с оценкой любого другого инвестиционного проекта. К методам инвестиционного анализа относят оценку рентабельности инвестиций (*Return of investments, ROI*), метод определения внутренней доходности (*Internal Rate of Return, IRR*), метод расчета срока окупаемости инвестиций (*Payback Period, PP*) и др.

В методах финансового анализа используются традиционные подходы к финансовому расчету экономической эффективности применительно к специфике ИТ и с учетом необходимости оценивать риск. Данные методы используют общепринятые в финансовой сфере критерии (чистая текущая стоимость, внутренняя норма прибыли и др.) и оперируют понятиями притока и оттока денежных средств, требующими конкретики и точности. Результаты анализа позволяют заинтересованным лицам и предприятиям принимать управленческие решения на основе оценки текущего финансового положения, деятельности предприятия за предшествующие годы и ожидаемых параметров финансового положения. Достоинство финансовых методов - в их основополагающих принципах, заимствованных из классической теории определения экономической эффективности инвестиций. Среди них метод функционально-стоимостного анализа (*Activity Based Costing, ABC*), метод расчета совокупной стоимости владения (*Total Cost of Ownership, TCO*), метод расчета совокупного экономического

эффекта (*Total Economic Impact, TEI*), метод быстрого экономического обоснования (*Rapid Economic Justification, REJ*) и др.



Рис. 3.9. Методы оценки эффективности

Качественные методы оценки дополняют количественные расчеты, что может помочь оценить все явные и неявные факторы эффективности ИС и увязать их с общей стратегией компании. Эта группа методов позволяет специалистам самостоятельно выбирать наиболее важные для них характеристики систем в зависимости от специфики деятельности предприятия, устанавливая между ними соотношения, например с помощью коэффициентов значимости. К качественным методам оценки относятся система показателей ИТ (*Information Technology Scorecard, ITS*), методика анализа проведения затрат (*Costs Behaviour Analysis, CBA*), метод расчета совокупной ценности возможностей (*Total Value of Opportunities, TVO*) и др.

В вероятностных методах используются статистические и математические модели, позволяющие оценить вероятность возникновения риска. Данные методы нужны для оценки будущего эффекта от применения информационной системы, но пока еще не так широко распространены в практике, как количественные и качественные. К таким методам относятся метод расчета справедливой цены опционов (*Real Options Valuation, ROV*), метод прикладной информационной экономики (*Applied Information Economics, AIE*) и др. Однако данные методы редко используются из-за сложности и высокой стоимости проектов по оценке и интерпретации результатов.

Совокупный экономический эффект (*Total Economic Impact, TEI*) - методика, разработанная компанией *Forrester Research*. Она позволяет оценить проект внедрения того или иного компонента информационной системы предприятия с точки зрения трех показателей - «Стоимости», «Преимущества» и «Гибкости».

«Стоимость» вычисляется по методике «Совокупная стоимость владения» (ТСО) и является единственной количественной оценкой данной методики. «Преимущества» и «Гибкость» есть оценки качественные.

«Преимущества» оцениваются с точки зрения стоимости проекта и стратегических вложений в другие направления, помимо *IT*, и позволяют судить о соответствии возможностей внедряемого продукта или компонента информационной системы требованиям проекта внедрения. Возможности, которые появятся в работе сотрудников предприятия по итогам внедрения такого компонента или продукта должны быть оценены, как с точки зрения повышения эффективности работы, так и по их влиянию на выявленные операционные и технологические риски.

«Гибкость» рассматривается как показатель, характеризующий сложность процесса внедрения. Вычисляется по методике *ROV* для оценки будущих возможностей и затрат, т.е., например, оцениваются затраты, которые нужно понести на «включение» нового компонента в информационную систему предприятия - потребуются ли переделка всей системы предприятия ввиду внедрения нового компонента, достаточны ли возможности по настройке компонента для подключения

его к существующей системе, потребуется ли адаптация такого компонента и какие выгоды это принесет.

Завершающий шаг методики *TEI* - анализ рисков, возникающих в процессе приобретения, внедрения и эксплуатации анализируемого компонента информационной системы. Анализ этого показателя должен учитывать доступность и устойчивость параметров производителей, продуктов, архитектуры, корпоративной культуры, объема и временных рамок реализации проекта.

Перед тем как количественно оценивать эффективность проекта, следует понять, какими источниками она порождается, то есть отметить и проанализировать изменения в бизнес-процессах, вызванные внедрением информационной системы, которые представляют собой потенциальный источник выгоды [21].

В настоящее время общепризнан тот факт, что сама по себе информационная технология не приносит финансовой отдачи. Поэтому для оценки дохода от использования информационной системы нужно рассматривать деятельность компании как комплекс задач и организацию работ по их выполнению с учетом обрабатываемых документов и данных. Экономическая категория, которая позволяет увязать все эти аспекты при рассмотрении, - бизнес-процесс.

Бизнес-процесс — описание последовательности работ, направленной на достижение определенной бизнес-цели, обладающее следующими признаками:

- интегрированное описание функций, документов, опосредующих эти работы, и организационных подразделений;
- иерархический характер описания, то есть наличие "входа" и "выхода".

Характеристики бизнес-процесса:

- он может быть алгоритмизирован (схематизирован);
- его эффективность может быть измерена набором показателей;
- он может быть модифицирован путем изменения компонентов процесса и их связей.

Все бизнес-процессы можно разделить на два класса по отношению к процессу создания стоимости.

Основные - бизнес-процессы, непосредственно связанные с процессом создания стоимости. Например, производство, закупка материалов, сбыт.

Обеспечивающие - бизнес-процессы, не увеличивающие ценность продукта для потребителя, но необходимые для деятельности предприятия, в частности бухгалтерский учет, вспомогательные службы.

Эффективность бизнес-процесса может быть измерена набором показателей. Казалось бы, такое утверждение дает основание полагать, что существует инструмент измерения эффективности ИТ-проекта, изменяющего определенный бизнес-процесс. Но, как показывает практика, увы, далеко не всегда.

В качестве измеримых (экономических) показателей эффективности внедрения интегрированной системы (ИС) управления часто рассматриваются [22]:

- сокращение производственного цикла (5-25%);
- увеличение выручки (5-25 %);
- уменьшение оборотных средств в запасах (25-55%);
- повышение эффективности использования ресурсов (15-40%);
- повышение уровня обслуживания клиентов (25-60%);
- ускорение вывода нового товара на рынок (25-75%);
- снижение затрат (5-20%);
- снижение производственного брака (35-65%);
- увеличение оборачиваемости средств в расчетах (25-55%).

Очень важно понять, за счет каких инструментов, алгоритмов и объектов информационной системы достигаются такие результаты. Тогда значительно легче обосновать инвестиции в ИТ и, по сути, «продать идею» проекта внедрения спонсору, разъяснив, какие цели при этом могут быть достигнуты.

Снижение уровня запасов обусловлено управлением ими с использованием оптимизационного алгоритма. Он позволяет отслеживать в оперативном режиме уровень запасов и строить модель управления ими. В ходе проектов внедрения ИС такой результат возникает уже на стадии ее опытной эксплуатации, когда проводится инвентаризация запасов и определяется связь текущего уровня запасов с производственной программой.

Снижение производственного брака обусловлено применением методов контроля техпроцесса с целью повышения качества продукции. При разработке бизнес-процессов обычно определяется обязательный этап, на котором осуществляется контроль качества. Без его выполнения система блокирует дальнейшее «продвижение» по бизнес-процессу.

Увеличение объема продаж связано с улучшением качества обслуживания клиентов, которое достигается за счет таких функций, как автоматизация приема заказов, улучшение расчетов сроков доставки и кредитного контроля.

Снижение транспортно-заготовительных расходов обусловлено возможностями системы по построению и анализу различных схем доставки, выбору оптимальных вариантов. Система позволяет автоматизировать этот процесс и предоставляет информацию для принятия решения.

Сокращение производственных затрат связано с улучшением прогнозирования спроса и оптимизацией использования производственных активов. Это достигается применением имеющихся в системе алгоритмов прогнозирования на основе анализа хранящейся информации.

Сокращение производственного цикла и сокращение цикла разработки новых продуктов осуществляется в результате применения средств моделирования на основе технологических данных системы.

Уменьшение затрат на административно-управленческий аппарат и устранение «ручной» подготовки и сопровождения документов связаны с возможностью автоматизированного ведения учета. Система также обеспечивает аналитиков и управленцев инструментами для самостоятельной подготовки отчетов.

Увеличение оборачиваемости средств в расчетах происходит благодаря наличию в системе инструментов для прогнозирования движения денежных средств. Это позволяет в оперативном режиме отслеживать дефицит (или избыточность) наличных денежных средств.

Помимо измеримых показателей отслеживают также качественные эффекты внедрения системы:

- возрастание инвестиционной привлекательности предприятия;

- повышение организационной дисциплины;
- формирование единой информационной среды;
- масштабируемость и др.

Методика BSC как способ оценивания эффективности ИС

При оценке эффективности автоматизированных информационных систем возможно и целесообразно применение *Balanced Scorecard* – системы сбалансированных показателей, разработанной в 1992 году Капланом и Нортоном. Эта теория применяется в основном для оценки эффективности управления предприятием. Применение системы сбалансированных показателей для оценки эффективности автоматизированных информационных систем, непосредственно оказывающих влияние на эффективность управления, представляет собой интерес. Данная тема рассмотрена в работе Кострова А.В. и Матвеева Д.А.[23].

Сбалансированная система показателей (*Balanced Scorecard, BSC*) [24] - это методика анализа состояния компании. Это система стратегического управления организацией на основе измерения и оценки ее эффективности по набору показателей, подобранному таким образом, чтобы учесть все существенные с точки зрения стратегии аспекты ее деятельности (финансовые, производственные, маркетинговые и т.д.). Целесообразность использования данной методики оправдано следующими причинами:

1. Наличие достаточной теоретической информации по принципам и подходам построения *BSC* систем.

Подразумевается, что разработчики обладают достаточной информацией и литературными источниками по теоретическим основам построения системы показателей *BSC*. Это дает уверенность в том, что методика *BSC* с учетом особенностей ее применения на предприятии может быть доведена до уровня практической реализации для использования. Это, в свою очередь, в конечном счете, позволит успешно использовать ее и в дальнейшем, при оценивании эффективности функционирования ИС предприятия в случае, если ИС будет претерпевать изменения.

2. Иерархичность и последовательность процесса построения *BSC* систем.

Принципы и подходы, лежащие в основе разработки *BSC* систем, позволяют говорить о том, что факторы и компоненты ИС предприятия могут быть включены в нее с учетом некоторых принципов.

а) учет направленности и области применения того или иного показателя. Например, часть показателей можно отнести только к внутренним бизнес-процессам системы и предприятия, а часть - к финансовой составляющей системы;

б) руководствуясь принципом «от простого к сложному», начиная с низших компонентов системы (и их показателей эффективности) и заканчивая стратегическими целями и задачами ИС можно выстроить систему критериев, не противоречащих структуре ИС и структуре самого предприятия.

3. Непротиворечивость нормативным документам как базисным документам, являющимся основным при разработке и сертификации ИС.

Предлагаемая к рассмотрению методика позволяет без особых модификаций успешно применять ее для ИС. При этом будут соблюдены принципы и требования к методикам оценивания ее эффективности, не противоречащим требованиям ГОСТ.

4. Возможность интегрального оценивания эффективности работы ИС с использованием одного показателя, вычисляемого на совокупности других показателей системы, отражающих все аспекты ее деятельности.

Следует отметить, что оценка эффективности функционирования ИС сопряжена с некоторыми трудностями. Основной из них является то, что ИС это не основная сфера деятельности предприятия и не приносящая основной доход предприятию. Таким образом, прямое использование системы экономических показателей, в данном случае, неприменима в принципе. Поэтому при выборе показателей были выбраны не основные показатели, но, учет которых объективно возможен в процессе функционирования предприятия и ИС как неотъемлемой части предприятия. Возможность сбора необходимой для анализа информации и процедур ее сбора, оценивание и анализ полученных результатов подтверждается. Наличие возможности систематически получить систему показателей и их значений, в последствии, выстро-

ив из них общий критерий оценки эффективности функционирования ИС. Выстроенная система показателей позволяет включить их в итоговый показатель, использование которого будет оправдано исходя из глобальной цели ИС предприятия.

Основа методика - KPI и BSC

KPI (Key Performance Indicators - ключевые показатели эффективности) - это количественные показатели, позволяющие измерять степень успешности (эффективность) функционирования предприятия (его системы управления) в настоящем и строить прогнозы. *KPI* предназначены для руководства компании в качестве инструмента поддержки определения и мониторинга стратегических целей, принятия решений в процессе управления деятельностью компании. *KPI* фокусируют внимание руководителей на наиболее критичных вопросах [25].

BSC (Balanced Scorecard - система сбалансированных показателей) - это система стратегического управления предприятием на основе измерения и оценки её эффективности по набору показателей, подобранному таким образом, чтобы учесть все существенные (с точки зрения стратегии) аспекты его деятельности (финансовые, производственные, маркетинговые и т.д.). *BSC* преобразует генеральную цель и общую стратегию предприятия в систему взаимосвязанных показателей.

BSC появилась как результат исследования различных методов оценки эффективности функционирования. Было выявлено, что только финансовых показателей для адекватной оценки функционирования предприятия недостаточно. Поэтому *BSC* рассматривает минимум четыре перспективы [26]:

- Финансовая перспектива отвечает на вопрос: как акционеры оценят предприятие в случае успеха? Финансовые результаты являются ключевыми критериями оценки текущей деятельности предприятия.

- Рыночная перспектива отвечает на вопрос: как предприятие должно выглядеть в глазах потребителя, чтобы достичь цели? Она даёт возможность менеджерам усилить стратегию в области маркетинга, что должно привести к росту финансовых показателей в будущем.

- Производственная перспектива отвечает на вопрос: какие процессы должны выполняться для удовлетворения потребителя? Она определяет основные процессы, которые необходимо совершенствовать и развивать с целью укрепления конкурентных преимуществ.

- Перспектива развития отвечает на вопрос: как должно развиваться предприятие для достижения цели? Она определяет инфраструктуру, которая предприятие должно построить для того, чтобы обеспечить рост и развитие в долгосрочной перспективе.

Система управления на основе *BSC* обладает следующими ключевыми особенностями [27]:

- в систему входят показатели, относящиеся ко всем стратегически важным аспектам деятельности (как минимум их четыре - см. выше);

- причинно-следственная связь всех показателей в системе;

- причинно-следственная связь показателей, входящих в систему, и стратегических задач;

- связь результирующих (лаговых) показателей и определяющих факторов;

- связь всех показателей с финансовыми результатами деятельности.

Таким образом, главное отличие системы сбалансированных показателей эффективности (*BSC*) от простого набора показателей (*KPI*) заключается в том, что *BSC* формируется таким образом, чтобы все *KPI* были ориентированы на стратегию компании, стратегические цели, и *KPI* были логически взаимоувязаны и сгруппированы по определённым признакам (перспективы, функциональные направления деятельности, уровни управления, ответственные) [28].

На рис. 3.10 представлена принципиальная структура сбалансированных показателей [29].

Общий подход к построению *BSC* на основе *KPI* таков [29]:

1. Определение генеральной цели предприятия.
2. Осуществление многоуровневой декомпозиции генеральной цели до целей структурных подразделений предприятия.
3. Выбор ключевых показателей эффективности (*KPI*) для каждой из целей.
4. Определение критериальных (номинальных) значений *KPI* с учётом их взаимосвязей.

5. Осуществление балансировки критериальных значений *KPI*, в результате чего получается система сбалансированных показателей (*BSC*).

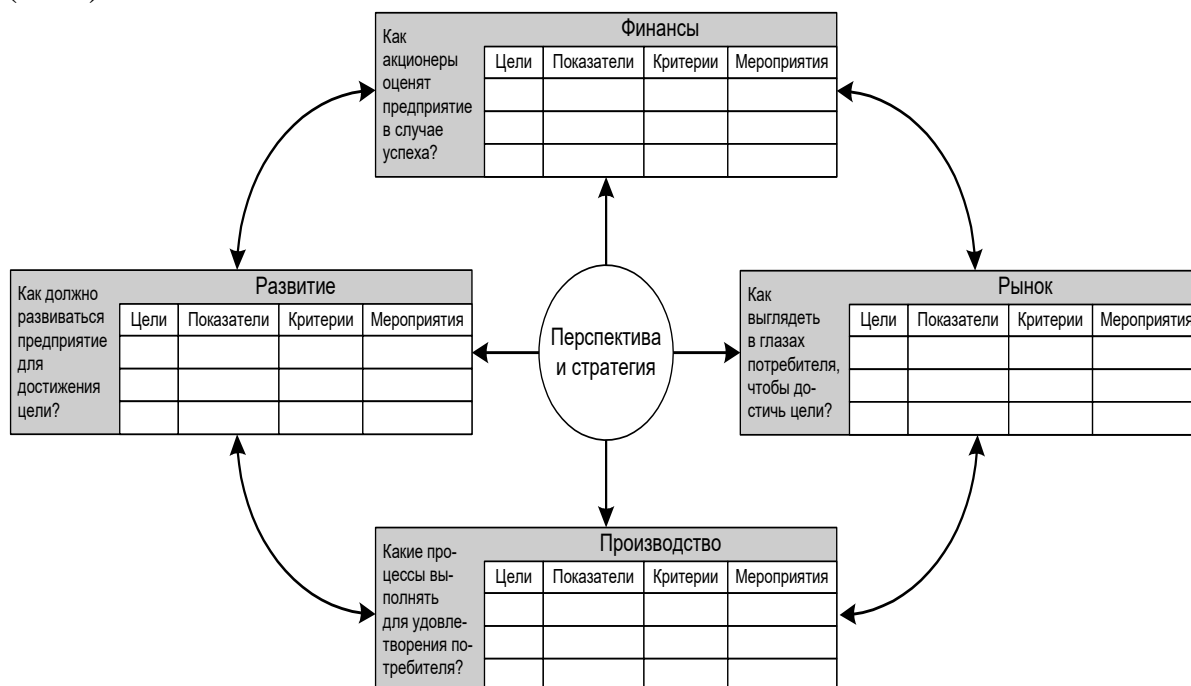


Рис. 3.10. Принципиальная структура сбалансированных показателей

6. Установка зон ответственности менеджеров (каждому - свою цель).

7. Установка процедуры контроля достижения целей и, при необходимости, процедуры корректировки целей и критериальных значений *KPI*.

8. Формирование системы мотивирования сотрудников на достижение целей.

Этот подход можно также представить в виде блок-схемы алгоритма, представленной на рис. 3.11 [30].

Пример 3.3. Математическая модель *BSC* системы менеджмента профессиональной безопасности и охраны труда (СМПБОТ) ОАО «Борский стекольный завод» (БСЗ) (оригинальная разработка).

Установим в качестве генеральной цели СМПБОТ ОАО «БСЗ» снижение убытков от аварий (несчастных случаев), инцидентов и прочих на 5% (это значение может и должно быть уточнено на практике). Проведём декомпозицию генеральной цели в четырёх проекциях *BSC* (табл. 3.7 – 3.10).

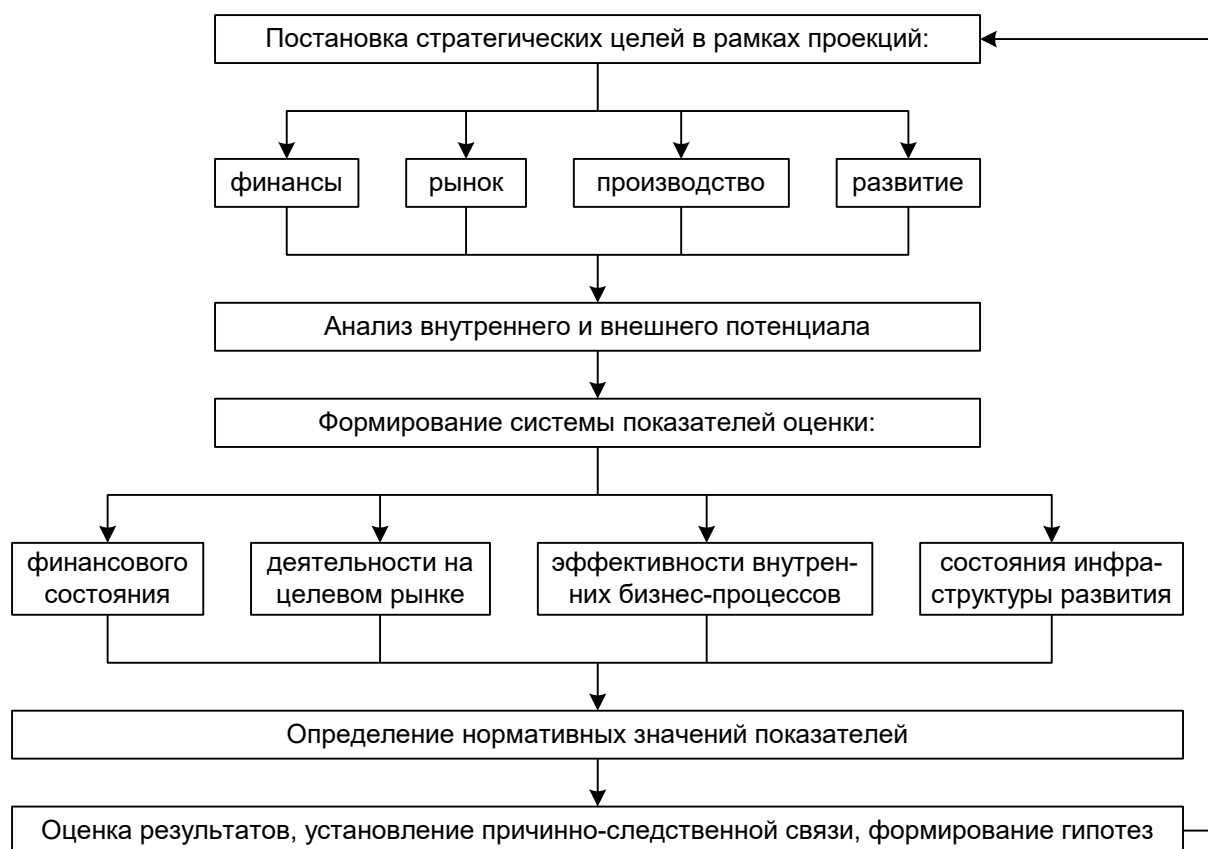


Рис. 3.11. Блок-схема алгоритма построения BSC на основе KPI

Таблица 3.7. Декомпозиция генеральной цели СМПБОТ в проекции «Финансы»

№	Цели	Показатели	Критерии	Мероприятия
1	Снижение прямых затрат	Судебные издержки и штрафы	Снижение на 10%	Страхование оборудования и персонала, социальное обеспечение персонала
		Ремонт повреждённого оборудования	Снижение на 15%	Повышение защищённости оборудования, повышение квалификации персонала
		Выплаты по несчастным случаям	Снижение на 20%	Предупреждение несчастных случаев (повышение безопасности ТП, использование средств защиты)
		Потери прибыли	Снижение на 30%	Повышение надёжности ТП, дублирование отдельных его элементов

№	Цели	Показатели	Критерии	Мероприятия
2	Снижение косвенных затрат	Умения и навыки персонала	Не уменьшение числа высококвалифицированных работников	Реабилитация персонала после несчастных случаев, повышение квалификации
		Потери рабочего времени	Не более 1 суток на аварию	Взаимозаменяемость оборудования и персонала
		Потери продукции	Снижение на 40%	Модернизация рискованных участков ТП, повторное использование

Таблица 3.8. Декомпозиция генеральной цели СМПБОТ в проекции «Рынок»

№	Цели	Показатели	Критерии	Мероприятия
1	Повышение доверия потребителей	Отзывы потребителей	80% положительных отзывов	Уведомление потребителей об уровне безопасности производства, их анкетирование
2	Повышение доверия общества	Негативные публикации в прессе	Публикации отсутствуют	Регулярные публикации об уровне безопасности производства

Таблица 3.9. Декомпозиция генеральной цели СМПБОТ в проекции «Производство»

№	Цели	Показатели	Критерии	Мероприятия
1	Достижение нового уровня безопасности	Уровень безопасности	3	Плановые мероприятия по повышению безопасности ТП, квалификации персонала и проч.
2	Снижение уровня профессиональных заболеваний	Уровень профессиональных заболеваний	Снижение на 2%	Снижение доли ручного труда и улучшение медицинского обслуживания персонала
3	Снижение уровня общей заболеваемости	Уровень общей заболеваемости	Снижение на 3 %	Улучшение условий производственной среды
4	Применение средств защиты	Применяемость необходимых средств защиты	100%	Повышение осведомленности персонала о средствах защиты, регламенты трудового распорядка

Таблица 3.10. Декомпозиция генеральной цели СМПБОТ
в проекции «Развитие»

№	Цели	Показатели	Критерии	Мероприятия
1	Сертификация СМПБОТ по <i>OHSAS 18001/ISO 45001</i>	Сертификат <i>OHSAS 18001/ISO 45001</i>	Наличие	Разработка, документирование, внедрение и подготовка к сертификации
2	Осведомлённость персонала о безопасности	Оценка знаний ТБ ¹	Хорошо или отлично	Лекции по ТБ и ОТ, раздача материалов, оценка знаний под роспись

Приведенные в табл. 3.7 – 3.10 стратегические цели, показатели эффективности, их номинальные значения и соответствующие мероприятия являются предполагаемыми разработчиками, поэтому на практике они должны быть уточнены (особенно это касается номинальных значений).

Ввиду того, что здесь наиболее важной и значительной частью является производственная перспектива (табл. 3.9), предлагается дополнительный набор показателей в этой перспективе (табл. 3.11 [31]).

Таблица 3.11. Дополнительный набор показателей СМПБОТ
в проекции «Производство»

Показатели функционирования	Усл. обозн.	Возможное значение	Оценка в баллах	Мин. оценка
Соответствие оцениваемой ТД ² и ТП ¹ требованиям действующей государственной и отраслевой НД ³ в области ОТ и ТБ ²	КБТ ¹	Требования НД выполнены	100	100
		Имеются незначительные замечания к ТД	90	
		Требования НД не выполнены	0	

¹ ТП – технологический процесс

¹ ТБ – техника безопасности

² ТД – технологическая документация.

³ НД – нормативная документация.

Продолжение табл. 3.11

Показатели функционирования	Усл. обозн.	Возможное значение	Оценка в баллах	Мин. оценка
Соблюдение в производстве правил ОТ и ТБ по видам работ, выполняемых при реализации оцениваемого ТП	КБТ2	Требования выполняются полностью	100	90
		Имеются незначительные нарушения	90	
		Имеются грубые нарушения	0	
Уровень производственного обучения и инструктажа персонала, реализующего ТП в производстве	КБТ3	Высокий уровень обученности и качества производственного инструктажа	100	90
		Уровень обученности и инструктажа удовлетворительный	90	
		Недостаточный уровень инструктажа	0	
Уровень потенциальной опасности ТП в случае утраты контроля над процессом, в том числе по следующим факторам:				
а) производственный шум	КБТ4А	Опасность отсутствует	100	85
		Опасность имеется	85	
б) вибрация	КБТ4Б	Опасность отсутствует	100	85
		Опасность имеется	85	
в) загазованность производственной среды	КБТ4В	Опасность отсутствует	100	85
		Опасность имеется	85	
г) запылённость производственной среды	КБТ4Г	Опасность отсутствует	100	85
		Опасность имеется	85	
д) температура и влажность	КБТ4Д	Опасность отсутствует	100	85
		Опасность имеется	85	
Наличие профессионального отбора и аттестации персонала, занятого на работах с повышенной опасностью	КБТ5	В ТП не предусмотрены работы повышенной опасности	100	90
		Отбор и аттестация персонала проводятся	90	
		Отбор и (или) аттестация не проводятся	менее 90	
Использование в составе ТП надежных сертифицированных СИЗ ⁴	КБТ6	В оцениваемом ТП СИЗ не требуется	100	90
		В ТП предусмотрены надежные СИЗ	90	
		Применяемые в ТП СИЗ ненадежны	0	

⁴ СИЗ – средства индивидуальной защиты.

Окончание табл. 3.11

Показатели функционирования	Усл. обозн.	Возможное значение	Оценка в баллах	Мин. оценка
Наличие регистрации и учёта профзаболеваний и несчастных случаев на производстве по видам работ, выполняемых при реализации ТП	КБТ7	Регистрация и учёт проводятся регулярно и объективно	90	90
		Имеются недостатки в организации регистрации и учёта	менее 90	
Наличие статистического учёта, контроля и анализа безопасности работ, выполняемых в производстве	КБТ8	Проводится регулярный статистический учёт, контроль и анализ	100	90
		Проводится статистический учёт, контроль и анализ по большинству видов работ	95	
		Проводится частичный учёт	менее 90	
Уровень организации рабочих мест, включая обеспеченность санитарно-бытовыми помещениями	КБТ9	Высокий уровень организации	100	90
		Удовлетворительный уровень организации	90	
		Неудовлетворительный уровень организации	менее 90	
Уровень содержания и оформления доказательной документации соответствия ТП или работ, выполняемых при реализации ТП, требованиям ОТ и ТБ	КТБ10	Высокий уровень доказательной документации	100	90
		Удовлетворительный уровень	90	
		Низкий уровень	менее 90	
		Отсутствие доказательной документации	0	
Уровень планирования и контроля системы обеспечения безопасности труда по реализуемым в ТП видам работ	КБТ11	Высокий уровень планирования и контроля	100	90
		Удовлетворительный уровень планирования и контроля	90	
		Неудовлетворительный уровень организации	менее 90	

Показатели, приведённые в табл. 3.11, оцениваются экспертным методом по 100-балльной шкале, с ориентацией на устанавливаемые в каждом конкретном случае минимально допустимые значения соответствующих показателей в баллах. По ним может быть вычислено комплексное значение

$$K_{BT} = \frac{K_{BT1} + K_{BT2} + \dots + K_{BT11}}{11} \geq 90.$$

Контрольные задания

1. Методика оценки эффективности ИС.
2. Система Критических факторов успеха проекта — механизм для стратегической оценки проекта.
3. Характеристики организации, на которые оказывают влияние информационные системы.
4. Содержание методов оценки эффективности: методы инвестиционного и финансового анализа, качественные и вероятностные.
5. Показатели эффективности внедрения интегрированной системы.
6. Методика *BSC* как способ оценивания эффективности ИС.
7. Структура сбалансированных показателей.
8. Подход к построению *BSC* на основе *KPI*.

3.6. Оценка сложных систем в условиях неопределенности и риска

Анализ эффективности информационных систем в условиях неопределенности

Специфические черты организационно-технических систем часто не позволяют свести операции, проводимые этими системами, к детерминированному или вероятностному [32, 33]. В неопределенной операции a_i могут быть известны множество состояний обстановки n_j и эффективность систем для каждой из них k_{ij} , но нет данных, с какой вероятностью может появиться то или иное состояние (рис. 3.12).

В зависимости от характера неопределенности операции могут делиться на игровые и статистически неопределенные. В игровых

операциях неопределенность вносит своими сознательными действиями противник.

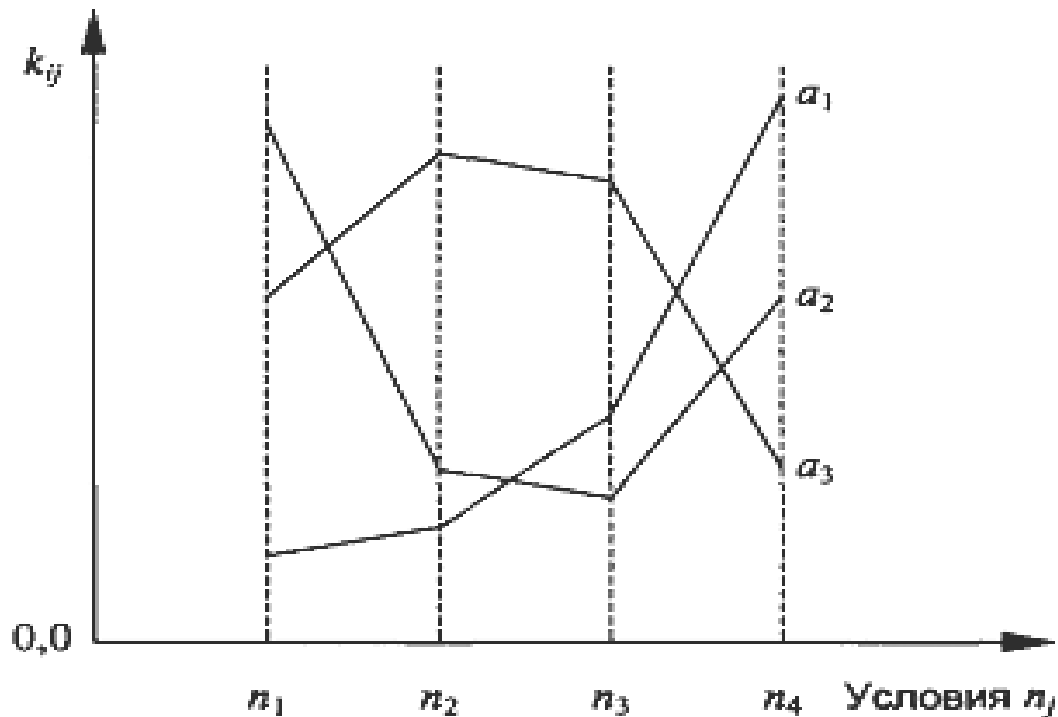


Рис. 3.12. Диаграмма эффективности систем a_i для условий n_j

Для исследования игровых операций используется теория игр. Условия статистически неопределенных операций зависят от объективной действительности, называемой природой. Природа рассматривается как незаинтересованная, безразличная к операции сторона (она пассивна по отношению к лицу, принимающему решение). Такие операции могут исследоваться с применением теории статистических решений.

Если операция, проводимая системой, уникальна, то для разрешения неопределенности при оценке систем используются субъективные предпочтения лица, принимающего решения (ЛПР).

В зависимости от характера предпочтений ЛПР наиболее часто в неопределенных операциях используются критерии: среднего выигрыша; Лапласа; осторожного наблюдателя (Вальда); максимакса; пессимизма-оптимизма (Гурвица); минимального риска (Сэвиджа). Рассмотрим эти критерии на примере.

Пример 3.4 Необходимо оценить один из трех разрабатываемых программных продуктов a_i , $i = \{1, 2, 3\}$, для борьбы с одним из четы-

рех типов программных воздействий k_j , $\{j\} = \{1, 2, 3, 4\}$. Матрица эффективности представлена в табл. 3.12 [33].

Таблица 3.12. Матрица эффективности программных продуктов

a_i	k_j			
	k_1	k_2	k_3	k_4
a_1	0,1	0,5	0,1	0,2
a_2	0,2	0,3	0,2	0,4
a_3	0,1	0,4	0,4	0,3

Критерий среднего выигрыша. Данный критерий предполагает задание вероятностей состояний обстановки p_i . Эффективность систем оценивается как среднее ожидаемое значение (математическое ожидание) оценок эффективности по всем состояниям обстановки

$$K(a_i) = \sum_{j=1}^l p_j k_{ij}, \quad i = 1, \dots, m.$$

Оптимальной системе будет соответствовать эффективность

$$K_{\text{опт}} = \max_i \sum_{j=1}^l p_j k_{ij}, \quad i = 1, \dots, m.$$

Если в данном примере задаться вероятностями применения противником программных воздействий $p_1 = 0,4$, $p_2 = 0,2$, $p_3 = 0,1$ и $p_4 = 0,3$, то получим следующие оценки систем:

$$K(a_1) = 0,4 * 0,1 + 0,2 * 0,5 + 0,1 * 0,1 + 0,3 * 0,2 = 0,21;$$

$$K(a_2) = 0,4 * 0,2 + 0,2 * 0,3 + 0,1 * 0,2 + 0,3 * 0,4 = 0,28;$$

$$K(a_3) = 0,4 * 0,1 + 0,2 * 0,4 + 0,1 * 0,4 + 0,3 * 0,3 = 0,25,$$

Оптимальное решение - программный продукт a_2 .

Для применения критерия среднего выигрыша необходим перевод операции из неопределенной в вероятностную.

Критерий Лапласа. В основе критерия лежит предположение: поскольку о состояниях обстановки ничего не известно, то их можно считать равновероятными. Исходя из этого следует

$$K(a_i) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^t k_{ij}, \quad i = 1, \dots, m;$$

$$K_{\text{опт}} = \max_i \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^t k_{ij} \right) \quad i = 1, \dots, m.$$

Рассчитаем эффективность систем по данному критерию для приведенного примера:

$$K(a_1) = 0,25 (0,1 + 0,5 + 0,1 + 0,2) = 0,225;$$

$$K(a_2) = 0,25 (0,2 + 0,3 + 0,2 + 0,4) = 0,275;$$

$$K(a_3) = 0,25 (0,1 + 0,4 + 0,4 + 0,3) = 0,3.$$

Оптимальное решение - программный продукт a_3 . Критерий Лапласа представляет собой частный случай критерия среднего выигрыша.

Критерий осторожного наблюдателя (Вальда). Это максиминный критерий, он гарантирует определенный выигрыш при худших условиях. Критерий основывается на том, что, если состояние обстановки неизвестно, нужно поступать осторожно, ориентируясь на минимальное значение эффективности каждого программного продукта.

В каждой строке матрицы эффективности находится минимальная из оценок систем по различным состояниям обстановки

$$K(a_i) = \min_j k_{ij}, \quad i = 1, \dots, m, \quad j = 1, \dots, t.$$

Оптимальной считается программный продукт из строки с максимальным значением эффективности

$$K_{\text{opt}} = \max_i (\min_j k_{ij}), \quad i = 1, \dots, m, \quad j = 1, \dots, l.$$

Применение критерия максимина к нашему примеру дает следующие оценки:

$$K(a_1) = \min (0,1; 0,5; 0,1; 0,2) = 0,1;$$

$$K(a_2) = \min (0,2; 0,3; 0,2; 0,4) = 0,2;$$

$$K(a_3) = \min (0,1; 0,4; 0,4; 0,3) = 0,1.$$

Оптимальное решение - программный продукт a_2 .

Максиминный критерий ориентирует на решение, не содержащее элементов риска: при любом из возможных состояний обстановки выбранная система покажет результат операции не хуже найденного максимина. Такая осторожность является в ряде случаев недостатком критерия. Другой недостаток - добавление постоянного числа к каждому элементу столбца матрицы эффективности влияет на выбор системы.

Критерий максимакса. Этим критерием предписывается оценивать системы по максимальному значению эффективности и выбирать в качестве оптимального решения систему, обладающую эффективностью с наибольшим из максимумов:

$$k(a_i) = \max_j k_{ij},$$

$$K_{\text{opt}} = \max_i (\max_j k_{ij}).$$

Оценки систем на основе максимаксного критерия в нашем примере принимают следующие значения:

$$K(a_1) = \max (0,1; 0,5; 0,1; 0,2) = 0,5;$$

$$K(a_2) = \max (0,2; 0,3; 0,2; 0,4) = 0,4;$$

$$K(a_3) = \max (0,1; 0,4; 0,4; 0,3) = 0,4.$$

Оптимальное решение - программный продукт a_1 . Критерий максимакса - оптимистический критерий. Те, кто предпочитает им пользоваться, всегда надеются на лучшее состояние обстановки и, естественно, в большой степени рискуют.

Критерий пессимизма-оптимизма (Гурвица). Это критерий обобщенного максимина. По этому критерию при оценке и выборе систем неразумно проявлять как осторожность, так и азарт, а следует, учитывая самое высокое и самое низкое значения эффективности, занимать промежуточную позицию (взвешиваются наихудшие и наилучшие условия). Для этого вводится коэффициент оптимизма α ($0 \leq \alpha \leq 1$), характеризующий отношение к риску лица, принимающего решение. Эффективность систем находится как взвешенная с помощью коэффициента α сумма максимальной и минимальной оценок

$$K(a_i) = \alpha \max_j k_{ij} + (1 - \alpha) \min_j k_{ij}.$$

Условие оптимальности записывается в виде

$$K_{\text{опт}} = \max_i \left[\alpha \max_j k_{ij} + (1 - \alpha) \min_j k_{ij} \right], \quad 0 \leq \alpha \leq 1.$$

Зададимся значением $\alpha = 0,6$ и рассчитаем эффективность систем для рассматриваемого примера:

$$K(a_1) = 0,6 \cdot 0,5 + (1 - 0,6) \cdot 0,1 = 0,34;$$

$$K(a_2) = 0,6 \cdot 0,5 + (1 - 0,6) \cdot 0,2 = 0,32;$$

$$K(a_3) = 0,6 \cdot 0,4 + (1 - 0,6) \cdot 0,1 = 0,34,$$

Оптимальный программный продукт - a_1 .

Значение α определяется методом экспертных оценок. Очевидно, что, чем опаснее оцениваемая ситуация, тем величина α должна быть ближе к единице, когда гарантируется наибольший из минимальных выигрышей или наименьший из максимальных рисков.

На практике пользуются значениями коэффициента α в пределах 0,3 - 0,7.

Критерий минимального риска (Сэвиджа). Минимизирует потери эффективности при наихудших условиях. Для оценки систем на основе данного критерия матрица эффективности должна быть преобразована в матрицу потерь (риска). Каждый элемент матрицы потерь определяется как разность между максимальным и текущим значениями оценок эффективности в столбце

$$\Delta k_{ij} = \max_i k_{ij} - k_{ij}.$$

После преобразования матрицы используется критерий минимакса

$$K(a_i) = \max_j \Delta k_{ij};$$

$$K_{\text{опт}} = \min_i (\max_j \Delta k_{ij}).$$

Оценим эффективность систем из приведенного примера в соответствии с данным критерием. Матрице эффективности (табл. 3.12) будет соответствовать матрица потерь (табл. 3.13).

Таблица 3.13. Матрица потерь

a_i	k_j			
	k_1	k_2	k_3	k_4
a_1	0,1	0	0,3	0,2
a_2	0	0	0,2	0
a_3	0,1	0,1	0	0,1

Тогда:

$$K(a_1) = \max (0,1; 0; 0,3; 0,2) = 0,3;$$

$$K(a_2) = \max (0; 0,2; 0,2; 0) = 0,2;$$

$$K(a_3) = \max (0,1; 0,1; 0; 0,1) = 0,1.$$

Оптимальное решение - программный продукт a_3 . Критерий минимального риска отражает сожаление по поводу того, что выбранная система не оказалась наилучшей при определенном состоянии обстановки. Так, если произвести выбор программного продукта a_1 , а состояние обстановки в действительности k_3 то сожаление, что не выбран наилучший из программных продуктов (a_3), составит 0,3.

О критерии Сэвиджа можно сказать, что он, как и критерий Вальда, относится к числу осторожных критериев. По сравнению с критерием Вальда в нем придается несколько большее значение выигрышу, чем проигрышу.

Таким образом, эффективность систем в неопределенных операциях может оцениваться по целому ряду критериев. На выбор того или иного критерия оказывает влияние ряд факторов:

- природа конкретной операции и ее цель (в одних операциях допустим риск, в других - нужен гарантированный результат);
- причины неопределенности (одно дело, когда неопределенность является случайным результатом действия объективных законов природы, и другое, когда она вызывается действиями разумного противника, стремящегося помешать в достижении цели);
- характер лица, принимающего решение (одни люди склонны к риску в надежде добиться большего успеха, другие предпочитают действовать всегда осторожно).

Выбор какого-то одного критерия приводит к принятию решения по оценке систем, которое может быть отличным от решений, диктуемых другими критериями.

Тип критерия для выбора рационального варианта должен быть оговорен на этапе анализа систем, согласован с заказывающей организацией или предполагается заданным. Устойчивость выбранного рационального варианта можно оценить на основе анализа по нескольким критериям.

Оценка сложных систем в условиях риска

Операции, выполняемые в условиях риска, называются вероятностными. Соответствие между системами и исходами в вероятностных операциях нарушается. Это означает, что каждой системе (альтернативе) a ставится в соответствие множество исходов $\{y_k\}$ с известными условными вероятностями появления $p(y_k / a_i)$. Например, из-за ограниченной надежности сетевого оборудования время передачи сообщения может меняться случайным образом по известному закону.

Эффективность систем в вероятностных операциях находится через математическое ожидание функции полезности на множестве исходов $K(a) = M_a[F(y)]$:

$$K(a_i) = \sum_{k=1}^m p(y_k / a_i) F(y_k), i = 1, \dots, n \quad (3.4)$$

Из выражения (3.4) как частный случай может быть получена оценка эффективности систем для детерминированных операций, если принять, что исход, соответствующий системе, наступает с вероятностью, равной единице, а вероятности остальных исходов равны нулю.

При исходах с непрерывными значениями показателей математическое ожидание функции полезности определяется как

$$K(a_i) = \int_R f(y / a_i) F(y) dy,$$

где $f(y/a_i)$ - плотность вероятностей исходов;

R - допустимая область векторного пространства исходов.

Для оценки эффективности систем в вероятностной операции необходимо:

- определить исходы операции по каждой системе;
- построить функцию полезности на множестве исходов операции;

- найти распределение вероятностей на множестве исходов операции;
- рассчитать математическое ожидание функции полезности на множестве исходов операции для каждой системы.

Критерий оптимальности для вероятностных операций имеет вид

$$K(a_i) = \max_{a_i} M_{a_i} [F(y)], \quad (i = 1, \dots, m).$$

В соответствии с этим критерием оптимальной системой в условиях риска считается система с максимальным значением математического ожидания функции полезности на множестве исходов операции.

Оценка систем в условиях вероятностной операции - это оценка «в среднем», поэтому ей присущи все недостатки такого подхода, главный из которых заключается в том, что не исключен случай выбора неоптимальной системы для конкретной реализации операции. Однако если операция будет многократно повторяться, то оптимальная в среднем система приведет к наибольшему успеху.

Сведение задачи оценки систем к вероятностной постановке применимо для операций, имеющих массовый характер, для которых имеется возможность определить объективные показатели исходов, вероятностные характеристики по параметрам обстановки и законы распределения вероятностей на множестве исходов операции.

Рассмотрим пример оценки эффективности систем в вероятностных операциях по приведенному критерию [33].

Пример 3.5. Оценка вариантов конфигурации гетерогенной локальной вычислительной сети общего пользования. Исследуемая операция - обмен сообщениями между пользователями, система - варианты размещения сетевого оборудования, показатель исхода операции - число переданных сообщений n_k (дискретная величина). Числовые данные для оценки приведены в табл. 3.14.

Таблица 3.14. Данные для оценки вычислительной сети

a_i	n_k	$p(n_k/a_i)$	$F(n_k)$	$K(a_i)$
Вариант 1	60	0,3	0,8	0,51
	40	0,5	0,5	
	20	0,2	0,1	
Вариант 2	60	0,25	0,8	0,515
	40	0,60	0,5	
	20	0,15	0,1	

Расчет показателей и оценка эффективности по критерию превосходства показывают, что в качестве оптимальной системы должен быть признан вариант 2 конфигурации сети:

$$K(a_1) = 0,3 \cdot 0,8 + 0,5 \cdot 0,5 + 0,2 \cdot 0,1 = 0,51;$$

$$K(a_2) = 0,25 \cdot 0,8 + 0,6 \cdot 0,5 + 0,15 \cdot 0,1 = 0,515;$$

$$K_{opt} = \max \{K(a_1), K(a_2)\} = K(a_2) = 0,515.$$

Кроме оптимизации «в среднем» в вероятностных операциях используются и другие критерии оценки систем [33]. Рассмотрение этих критериев составляет один из разделов теории принятия решений.

Контрольные задания

1. Перечислите основные критерии оценки сложных систем в условиях неопределенности.
2. Что собой представляет критерий среднего выигрыша, в каких случаях используется?
3. Что собой представляет критерий Лапласа, в каких случаях используется?

4. Что собой представляет критерий осторожного наблюдателя, в каких случаях используется?
5. Что собой представляет критерий максима, в каких случаях используется?
6. Что собой представляет критерий пессимизма-оптимизма, в каких случаях используется?
7. Что собой представляет критерий минимального риска, в каких случаях используется?
8. Что такое функция полезности?
9. Как осуществляется оценка сложных систем в условиях риска на основе функции полезности?
10. Как определяется математическое ожидание при исходах с непрерывными значениями показателей?

Глава 4. МЕТОДЫ СИНТЕЗА ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Замысел создания системы управления возникает на основании полученного задания, выделения недостатков существующей системы управления, появления практической потребности или новых научных достижений [7].

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.

Результатами решения задачи формирования замысла и цели создания системы должны быть:

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

Формирование вариантов новой системы проводится на основе анализа общей цели создания системы, изучения общественных потребностей, предполагаемого объема удовлетворения этих потребностей, изучения состояния и перспектив развития аналогичных отечественных и зарубежных систем.

Процесс формирования каждого варианта новой системы может быть описан концептуальной и математической моделями. Рассмотрим порядок построения концептуальной модели варианта новой системы управления.

При построении концептуальной модели можно выделить несколько этапов.

На первом этапе определяется уровень детализации концептуальной модели варианта системы. Модель системы представляет собой совокупность подсистем (элементов). В эту совокупность входят все подсистемы (элементы), обеспечивающие сохранение целостности системы. В свою очередь, каждая подсистема состоит из совокупности элементов, которые тоже могут быть расчленены на элементы. Выбор уровня детализации зависит от целей моделирования и степе-

ни 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 со 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.

На третьем этапе завершается построение структуры модели с указанием связей между составляющими ее элементами. Связи могут быть разделены 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 системы включает различные виды описаний: структурное (морфологическое), функциональное, информационное и параметрическое.

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. 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 элементар-

ных операций, часть которых может выполняться параллельно разными элементами (ресурсами) системы.

Необходимо привести описания варианта системы во взаимное соответствие, что включает в себя:

- сопоставление описаний (структурного, функционального, информационного, параметрического);
- устранение противоречий;
- объединение названных 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, содержать 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 нереализуемыми морфологически либо потребуют 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 необходимы выдвижение идей, перестройка морфологии или функциональных возможностей, во втором - конструктивная перестройка.

После выбора окончательного варианта системы уточняется критерий эффективности системы, формируется исходный вариант значений показателей системы управления и производится повторный синтез системы, который приобретает каждый раз все большую определенность.

Для искусственных систем организационного или эргатического (человеко-машинного) типа четко сформулировать цель очень сложно. Цель 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. Общие требования к системе управления документально оформляются, а затем уточняются отдельные требования к ее элементам, включая элементы, выделяемые при морфологическом (структурном), функциональном, информационном и параметрическом описании системы.

На этапе моделирования подсистем и системы в целом 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 разных 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 уточнении требований.

4.1. Синтез организационной структуры. Методы синтеза

Различают эвристические и формализованные методы синтеза организационных структур. К эвристическим методам синтеза относятся: методы аналогий, методы экспертных оценок, организационное моделирование и др. Эвристические методы базируются на опыте и интуиции проектировщика. Анализируя функции и структуры лучших отечественных и зарубежных аналогичных систем управления,

выявляют прогрессивные решения и образцы. Их используют в синтезируемых структурах.

Формализованные методы синтеза структур базируются на математических моделях и методах, используют количественные зависимости между параметрами структуры и характеристиками системы.

При построении формализованных моделей синтеза структуры ИС широко используются статистические методы, методы математического программирования, теория массового обслуживания, теория графов, имитационное моделирование и др.

Остановимся подробнее на формализованных методах синтеза [8].

На практике для синтеза организационной структуры получили распространение следующие методы:

- 1) нормативный метод;
- 2) использование графовых моделей;
- 3) метод центральной планирующей организации;
- 4) методы теории массового обслуживания и др.

Нормативный метод синтеза организационных структур

Нормативный метод основан на выявлении статистических зависимостей между параметрами характеристик структуры и факторами, влияющими на эти характеристики.

Статистические зависимости устанавливаются в результате исследования однородной группы лучших систем управления: собираются данные о численных значениях структурных параметров и факторов; с помощью корреляционного анализа выявляется степень влияния каждого фактора на структурные параметры и отбираются наиболее существенные факторы; выводятся нормативные формулы для расчета параметров структуры. Для данной группы ИС полученные зависимости считаются наилучшими, их используют при проектировании организационных структур ИС аналогичного типа. С помощью нормативного метода разрабатываются нормативы численности по каждой из выделенных функций управления, коэффициенты распределения работников аппарата управления между управляющими и производственными подразделениями.

На основе статистического и логического анализа выделяются производственные и управленческие факторы, наиболее существенно влияющие на объем работ. Исходя из этих факторов строится зависимость вида

$$H_j = c \prod_i x_i^{a_{ij}}$$

где H_j - параметр организационной структуры ИС;

c - коэффициент регрессии, отражающий средний уровень значения параметра в исследуемой группе;

x_i - численное значение i -го фактора;

a_{ij} - показатель степени, выражающий влияние i -го фактора на j -й параметр структуры.

Формирование нормативов проходит в два этапа. На первом этапе принимают во внимание производственные факторы, на втором - определяют границы допустимых отклонений от найденных нормативов и корректируют коэффициенты c , исходя из другой группы фактов, характеризующих уровень организации управленческого труда, наличия средств оргтехники, систему документооборота и др. При этом предполагается, что производственные факторы обуславливают объем управленческих работ, а вторая группа факторов влияет на производительность управленческого труда.

Синтез организационной структуры на графовых моделях

Рассмотрим особенности использования графовых моделей для синтеза организационной структуры ИС. Организационную структуру системы удобно представить в виде графа $G(E, V)$, где E - множество вершин, представляющих собой элементы структуры; V - множество дуг, указывающих связи между элементами.

Графовые модели могут обладать различной информативностью. На этих моделях в простых случаях можно ограничиться указанием структурных подразделений и связей между ними. Можно на графовых моделях указать более подробную информацию. Так, например, вершинам можно приписывать веса, указывающие числен-

ность подразделений, а дугам - мощность, характеризующую количество передаваемой информации.

Синтез организационной структуры на графовых моделях основан на принципе агрегирования, т.е. объединении в одну подсистему наиболее близких задач, или в один управляющий узел наиболее тесно взаимодействующих подразделений и исполнителей. Этот принцип базируется на интуитивно ясном и проверенном на практике соображении, что при таком объединении уменьшается объем циркулирующей информации между подразделениями, время, затрачиваемое на передачу информации и согласование плановых решений; дублирование функций и т.д., хотя в явном виде все эти характеристики не учитываются. Так, например, множество E графа G можно интерпретировать множеством различных подразделений и исполнителей управляющего органа, а множество V множеством взаимосвязей между ними. Тогда в результате решения задачи оптимального распределения G получим множество моделей организационной структуры или подсистем, которые могут являться элементами структуры в дальнейших задачах синтеза.

Задача синтеза организационной структуры в терминах теории графов формулируется как разбиение графа G на подграфы G_1, G_2, \dots, G_N . При этом каждый из графов $G_i \in G, i = 1, 2, \dots, N$, подграфы не должны пересекаться $G_i \cap G_j = \emptyset$, для $i, j = 1, 2, \dots, i \neq j$, объединение должно дать исходный граф

$$\bigcup_i G_i = G.$$

Полученное разбиение должно минимизировать функцию

$$\sum_{i=1}^N C_i(G_i) \rightarrow \min,$$

где $C_i(G_i)$ - некоторая функция, определенная на множестве разбиений $G_i, i = 1, 2, \dots, N$,

В зависимости от вида целевой функции графовые задачи синтеза организационной структуры формализуются следующим образом

1. Найти разбиение графа $G(E, V)$ на подграфы G_1, G_2, \dots, G_N при $r(E_i) \leq r$, которое минимизирует некоторую функцию от величины внешних связей между подграфами (например, сумму внешних связей, величину связей между отдельными подграфами и т.д.). Ограничение $r(E_i) \leq r$ может означать, например, допустимое количество вершин (сотрудников) в подграфе (в подразделении).

2. Найти разбиение графа $G(E, V)$ на сильно связанные подграфы, т.е. на подграфы, у которых связи между элементами внутри подграфа больше, чем с другими элементами графа G_1, G_2, \dots, G_N .

3. Найти разбиение графа $G(E, V)$, чтобы $a(U) = 0,5 \sum c(E_i) \rightarrow \min$ при $\max l(E_i) \leq a(U)$, где $a(U)$ - суммарная внешняя связанность подграфов минимизируется при котором максимальная внутренняя связь подграфа не должна превышать суммарной внешней связи.

Обозначения: $c(E_i)$ число связей всех вершин E_i с другими вершинами $V \setminus V_i$; $l(E_i)$ - число связей вершин графа G_i между собой.

4. Найти разбиение графа $G(E, V)$ на N непересекающихся подмножеств

$\bigcup_i G_i = G, G_s \cap G_t = \emptyset$ для $s, t = 1, 2, \dots, N, s \neq t$ таким образом, чтобы

$$\sum_{s,t=1}^N \sum_{j=1}^k d_{ij} x_{is} x_{jt} \rightarrow \min,$$

где d_{ij} - показатель степени связи между вершинами графа G ;

$$x_{is} = \begin{cases} 1 - \text{если } E_i \in G_s \\ 0 - \text{в противном случае} \end{cases}$$

Синтеза организационной структуры методом центральной планирующей организации

В основу метода центральной планирующей организации положен принцип максимальной связности задач, решаемых в каждом подразделении [34]. Задача синтеза формализуется аналогично предыдущей задаче, но для получения многоуровневой структуры

поиск автономных подсистем ведется не только по горизонтали (в пределах одного иерархического уровня), но и по вертикали.

Вначале по заданному ограничению $\max b(E_i) \leq B$ для графа $G(E, V)$ решается задача поиска оптимального разбиения u_1 для нижнего иерархического уровня с целевой функцией $a(E_i) \rightarrow \min$. Из графа G выделяется подграф первого уровня по критерию минимума внешних связей и ограничению числа внутренних связей B . Для графа $G \setminus G_1 = G_{u1}$ решение повторяется и т.д., пока число внутренних связей не будет превышать B .

Затем та же задача решается вновь, но уже для графа G_{u1} , что позволяет найти такое разбиение u_2 для второго уровня, у которого $a(u_2) \rightarrow \min$. И так до тех пор, пока на некотором уровне β значение $\min a(u_\beta)$ не будет превосходить константу B . Тем самым проблема синтеза структуры сводится к определению частных (субоптимальных) разбиений u_1, u_2, \dots, u_β .

Использование методов теории массового обслуживания для синтеза организационной структуры

При оптимизации структуры иерархической системы оперативного управления каждый из узлов системы рассматривается как система массового обслуживания (СМО), имеющая m входов (входящих потоков требований на обслуживание) и l выходов. На вход любого узла системы в некоторые случайные моменты времени в соответствии с заданным законом распределения поступает m потоков. Потоки могут быть либо неограниченными, либо состоять из конечного числа требований. Выходящий поток образуется из последовательности обслуженных требований различных входящих потоков и из требований, покидающих систему или очередь до окончания обслуживания.

Оптимизация проводится для однородных иерархических структур, т.е. характеристики узлов одной ступени одинаковы, и к каждому узлу подключено одинаковое для данной ступени число узлов предыдущей. В качестве общего критерия функционирования системы, характеризующего суммарные потери, принимается

$$W(m) = n_{m-1}W(m-1) + W_m \text{ или}$$

$$W(m) = \sum_{i=1}^m W_i \prod_{j=i}^m n_j,$$

где $W(m)$ - величина критерия для m -ступенчатой системы;

$W(m-1)$ - соответствующие потери для составляющих ее подсистем $(m-1)$ -го порядка (всего таких подсистем n_{m-1});

W_m - потери в системе обслуживания последней ступени;

W_i - потери в системе обслуживания одного узла i -й ступени;

n_j - число узлов j -й ступени, подключаемых к одному узлу $(j+1)$ -й ступени.

Оптимизация заключается в нахождении таких значений n_i^* , $i=1, 2, \dots, (m-1)$, $n_m=1$, при которых $W(m)$ минимально; где m - число ступеней.

В критерии первая формула выражает суммарные потери через потери в однородных подсистемах, их число n_{m-1} , потери в каждой подсистеме $W(m-1)$. Во второй формуле потери вычисляются через потери в узлах W_i , количество узлов n_j , подключаемых к одному узлу $(j+1)$ -й ступени.

Контрольные задания

1. Решение задач синтеза систем управления.
2. Методы синтеза организационных структур информационных систем.
3. Нормативный метод синтеза организационных структур
4. Синтез организационной структуры на графовых моделях
5. Синтез организационной структуры методом центральной планирующей организации
6. Использование методов теории массового обслуживания для синтеза организационной структуры

4.2. Синтез функциональной структуры информационных систем. Методы синтеза

Синтез функциональной структуры ИС включает в себя распределение решаемых задач (операций управления) по подсистемам и уровням организационной структуры [8]. Одним из наиболее распространенных количественных критериев объединения в подсистемы решаемых организацией задач связан с понятием «близости» решаемых задач и выполняемых операций. «Близость» может выражаться в том, что решение одной из них невозможно без решения другой. Задачи могут считаться близкими вследствие принадлежности к одной и той же теме или в связи с использованием при выполнении одних и тех же ресурсов. Близость может оцениваться также по величине потока информации, которой обмениваются подразделения или по степени изменения взаимосвязей по времени.

Объединение в одну подсистему наиболее близких задач облегчает управление ходом решения задач внутри самих подсистем, так и координацию деятельности подсистем в целом. Если в подсистему объединяются наиболее связанные задачи, то объем информации, которыми обмениваются подсистемы, значительно сокращается. Благодаря этому уменьшается время, затрачиваемое на обмен информацией, упрощается координация деятельности подсистем.

При анализе процессов управления в организации важно понятие элементарной операции. В зависимости от уровня рассматривания элементарными операциями могут быть в АСУ операции производства, сбыта, финансирования, обработки информации, принятия решений и т.п.

В общем случае элементарную операцию можно записать как преобразование входного вектора $X_i = (x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{mi})$ в выходной вектор $Y_i = (y_{1i}, y_{2i}, \dots, y_{ni})$. В общем случае

$$Y_i = f_i(x_i), \quad (4.1)$$

где f_i - функция преобразования.

Если преобразование является линейным, то (4.1) можно записать в матричном виде

$$Y_i = A_i x_i \quad (4.2)$$

где A_i - матрица преобразований.

Элементарные операции связаны между собой. Связь операций удобно представить графом. $\Gamma^1(E, H^1)$ без петель, множество вершин которого соответствует операциям e_1, e_2, \dots, e_n , а каждая дуга дуга $h'_{ij} \rightarrow H^1$ указывает на то, что выход операции e_i является входом операции e_j . Как правило, преобразование (4.1) связано с затратами ресурсов (вычислительных ресурсов, денежных средств, сырья и т.п.). Тогда кроме логических связей между операциями e_i необходимо учесть связи, обусловленные наличием ограничений типа

$$\varphi_k(f_i(e_i)) \leq u_k; e_i \in E_k; k = 1, 2, \dots, m, \quad (4.3)$$

где u_k - количество ресурсов k -го типа;

$E_k \in E$ - подмножество операций, занятых выполнением k -ой функции или потребляющих ресурсы k -го типа;

φ_k - функция затрат k -го вида ресурса.

Связи между операциями, возникающие при наличии ограничений (4.3) называются ресурсными или функциональными. Эти связи можно изобразить графически, построив ресурсный граф $\Gamma^2 = (E \cup V, H^2)$, в котором множество вершин $V = V_1, V_2, \dots, V_m$ представляет собой источники ресурсов (могут быть фиктивными). Каждая дуга h^2_{kj} показывает, что для операции e_j требуются ресурсы k -го типа V_k .

Чтобы получить полную картину взаимосвязи операций, необходимо построить объединенный граф $\Gamma = \Gamma^1 \cup \Gamma^2 = (E \cup V, H^1 \cup H^2)$, полученный из графа Γ^1 добавлением ресурсных вершин и дуг графа Γ^2 , который назовем графом взаимосвязей операций.

Задача синтеза функциональной структуры состоит в разбиении множества операций E на N независимых подмножеств:

$$E_1, E_2, \dots, E_N \quad (4.4)$$

где $E_i \in E$ и $E_i \cap E_j = \emptyset$ для $i, j = 1, 2, \dots, N, i \neq j$, и $\bigcup_{i=1}^{i=N} E_i = E$.

Задача состоит в том, чтобы получить разбиение, которое минимизирует функцию:

$$\sum_{i=1}^N C(E_i) \rightarrow \min, \quad (4.5)$$

где $C(E_i)$ - функция, определенная на множестве разбиений $E_i, i = 1, 2, \dots, N$

Задача синтеза функциональной структуры системы состоит в разбиении E на подмножества E_1, E_2, \dots, E_N при различных критериях разбиения системы на подсистемы. При этом близость операции e_i к e_j будем характеризовать величиной m_{ij} , где m_{ij} - значение потока по дуге h_{ij} графа Γ , измеряемое объемом информации или количеством связей.

Можно выделить два принципа декомпозиции:

- 1) разложение переменных;
- 2) разложение ограничений.

Если дуга (e_i, V_k) разрывается и $e_i \in E_i, V_k \in E_k, E_i \cap E_k = \emptyset$, то в первом случае (разложение переменных) вместо вершины e_i вводятся две несвязанными между собой: вершина e_i' и e_i'' . При этом вершина e_i' остается связанной только с вершинами первой подсистемы, а вершина e_i'' - с вершинами второй подсистемой. Это преобразование соответствует тому, что в целевой функции и ограничениях первой подсистемы x_i заменяется на x_i' , а во второй на x_i'' . Благодаря этому модели подсистем становятся формально независимыми и необходимым (а иногда достаточным) условием согласования является выполнение равенства

$$x_i = x_i' + x_i''.$$

Разложение систем на несколько относительно автономных подсистем приводит к необходимости создания высшего координирующего органа. Формальными способами воздействия координирующего органа могут служить: плата за взаимодействие, фиксирование взаимодействий, оценки и предсказания взаимодействий.

В методе разложения ограничений вместо вершины V_k вводится две вершины: V_k' и V_k'' , первая из которых связана только с первой подсистемой, а вторая - только со второй подсистемой. Это соответствует тому, что вместо одного ограничения

$$\varphi_{k1}(x_i) + \varphi_{k2}(x_i) \leq U_k$$

на ресурсы типа k вводят два несвязанных ограничения

$$\varphi_{k1}(x_i) \leq U_k' \quad \text{и} \quad \varphi_{k2}(x_i) \leq U_k'',$$

где U_k, U_k', U_k'' - количество ресурсы соответственно V_k, V_k' и V_k'' .

Здесь необходимо выполнение условия $U_k = U_k' + U_k''$.

Формальным способом воздействия координирующего органа на подсистемы в этом случае может служить распределение ресурсов и платы за ресурсы.

Таким образом, после решения задачи разбиения системы на подсистемы с помощью двух рассмотренных принципов декомпозиции проводится разрыв связей и выбор способов координации.

Не уменьшая общности дальнейших рассуждений, рассмотрим матричную модель системы, полученную из Γ^2 и описываемую системой линейных ограничений

$$Ax \leq u; \quad x \geq 0, \quad (4.6)$$

где A - матрица;

x и u векторы столбцы с критерием:

$$cx \rightarrow \max; \quad (4.7)$$

здесь c - вектор строка.

Рассмотрим квазиблочную матрицу

$$\left| \begin{array}{c|c} A_1 & A_i \\ \hline & A_k a_{ki}^* \\ & A_2 \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} x_1 \\ x_i \\ x_2 \end{array} \right| \leq \left| \begin{array}{c} u_1 \\ u_k \\ u_2 \end{array} \right| \quad (4.8)$$

где A_1, A_2, A_i, A_k подматрицы матрицы A ;

$x_1, x_2, x_i, u_1, u_2, u_k$ - вектор столбцы;

a_{ki} - вектор строка.

Для того чтобы матрица A распалась на две независимые подматрицы (подсистемы), можно воспользоваться одним из методов декомпозиции, рассмотренных выше. Если целесообразно объединить подразделение минимизируемой структуры в соответствии с типом используемых им ресурсов (т.е. по функциональному признаку), то

применяется разложение переменных x_i на x_i' и x_i'' . Получаются две независимые подсистемы: первая оптимизирует x_1 и x_i' при ограничениях:

$$\begin{vmatrix} A_1 & A_i \\ 0 & 0 \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} x_1 \\ x_i' \end{vmatrix} \leq \begin{vmatrix} u_1 \\ u_i \end{vmatrix}, \quad (4.9)$$

вторая - x_2 и x_i'' при ограничениях:

$$\begin{vmatrix} A_k & a_{ki} \\ 0 & A_2 \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} x_i'' \\ x_2 \end{vmatrix} \leq \begin{vmatrix} u_k \\ u_2 \end{vmatrix} \quad (4.10)$$

Координирующий орган воздействует на подсистемы таким образом, чтобы

$$x_i = x_i' + x_i''. \quad (4.11)$$

В общем случае производится разложение графа Γ по переменным u_1 и u_2 .

Возможно другое разделение матрицы, при котором подразделения объединяют в соответствии с содержанием работ (по тематическому признаку). В этом случае образуются независимые подсистемы: первая оптимизирует x_1 , x_i при ограничениях:

$$\begin{vmatrix} A_1 & A_i \\ 0 & a_{ki} \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} x_1 \\ x_i \end{vmatrix} \leq \begin{vmatrix} u_1 \\ u_k \end{vmatrix} \quad (4.12)$$

Вторая - x_2 при ограничениях:

$$\begin{vmatrix} A_k \\ A_2 \end{vmatrix} x_2 \leq \begin{vmatrix} u_k \\ u_2 \end{vmatrix} \quad (4.13)$$

Координирующий орган регулирует значения u_k' , u_k'' таким образом, чтобы решения, полученные подсистемами, были оптимальны для организации в целом, и выполнялось условие

$$u_k' + u_k'' = u_k.$$

В общем случае проводится разложение графа G по ресурсным вершинам.

Иллюстрацией модели системы (4.6), (4.7) может служить управляющий орган, выполняющий функции планирования, формализуемую в виде задачи линейного программирования, имеющую матрицу условий рассматриваемого вида, например, задач планирования выпуска продукции предприятием. При этом обозначения интерпретируются следующим образом:

вектор x - выпуск продукции (x_i - выпуск продукции i -го вида);

A - матрица затрат сырья (a_{ki} - затраты сырья k -го вида на выпуск единицы продукции i -го вида);

c - вектор стоимостей или прибыли;

u - вектор наличия сырья.

Особенность матрицы (два блока с зацеплением по i -му виду продукции) позволяют провести декомпозицию задачи на две задачи линейного программирования, которые соответствуют двум элементам организационной структуры (плановые отделы) по двум группам продукции и координирующего органа. После разбиения множества функций АСУ на подсистемы и задачи возникает необходимость распределения задач по узлам и уровням организационной структуры АСУ.

При определении оптимального распределения функций по узлам АСУ исходными являются:

1. Выполняемые системой функции, формализованные в виде множества решаемых задач, каждая из которых состоит из ряда этапов;
2. Связи между задачами и их этапами.
3. Множество возможных узлов АСУ и связей между ними.
4. Виды и характеристики технических средств, применение которых возможно в проектируемой системе.
5. Внешние для системы источники и потребности информации по всем задачам и их этапам.

Задача выбора оптимальной структуры ставится как нелинейная задача математического программирования [34]:

$$\begin{aligned}
F_0(x_{ijkl}) &\rightarrow \text{extr}; \\
F_n(x_{ijkl}) &\leq B_n \quad n=1, 2, \dots, m; \\
\sum_{jkl} x_{ijkl} &= 1 \quad (i=1, 2, \dots, n).
\end{aligned} \tag{4.14}$$

x_{ijkl} – булева переменная, равная единице, если функциональная задача i решается в j -м узле системы с помощью алгоритма k на l -м наборе технических средств, и равна нулю в противном случае.

Эффективность выбранной структуры должна базироваться на обоснованном соотношении величины выгод (затрат) и сроков их получения. Эффект от внедрения АСУ складывается из различных факторов, одни из которых представляют интерес для организации, непосредственно внедряющей систему, другие имеют общее народнохозяйственное значение (для региона, государства), и результаты их реализации на деятельность организации отражаются косвенным образом.

Модель позволяет учитывать такие характеристики эффективности вариантов структуры системы, как стоимость, оперативность, надежность и др.

Разработанные методы дают решение задачи синтеза структуры ИС в случае аддитивных мультипликативных функций. Оптимальную структуру определяют при ограничениях на ресурсы, загрузку ТС, на своевременное решение задач и их этапов и т.д.

Контрольные задания

1. Цели и задачи синтеза функциональной структуры системы.
 2. Критерии объединения в подсистемы решаемых организацией задач.
 3. Синтез функциональной структуры на графовых моделях.
 4. Разбиение множества решаемых задач E на подмножества E_i .
- Принципы декомпозиции.
5. Формулирование задачи оптимального распределения функций по подсистемам.

4.3. Синтез структуры информационных систем с учетом затрат на обмен информацией и затрат на эксплуатацию системы

Рассмотрим постановку задачи синтеза структуры с учетом затрат на обмен информацией между задачами, решаемыми на различных уровнях, и затрат на эксплуатацию системы.

Задано множество возможных алгоритмов $M_i=(k(k=1,2,..k_i))$ решения i -й задачи ($i=1,2,..I$) в ИС, включая решение задач без применения ЭВМ; матрица связи между задачами $\|a_{ii^*}\|$. Задачи i и i^* считаются связанными, если для решения i^* -й задачи используется информация, являющаяся выходной для i -й задачи, при этом элемент матрицы a_{ii^*} имеет смысл среднего потока информации от i -й задачи к i^* -й. Если задачи не связаны, то:

$$a_{ii^*}=0;$$

$Q=(j(j=1,2,..J))$ - множество узлов в ИС;

$\|\gamma_{jj^*}\|$ - матрица удельных затрат на передачу информации из j -го в j^* -й узел. Для несвязанных узлов $\gamma_{jj^*}=\infty$ и $\gamma_{jj^*}=0$;

$F=(l(l=1,2,..L))$ - множество технических средств;

m_l - величина, характеризующая ресурсы l -го технического средства;

a_{ikj} - эффективность решения i -ой задачи, решаемой k -м способом в j -ом узле;

m_{ik} - потребность в ресурсах технических средств i -й задачи, решаемой k -м способом (например, в машинном времени, объеме памяти и др.);

c_{lj} - затраты на эксплуатацию l -го технического средства в j -м узле;

k_l - капитальные затраты на технические средства;

k_{ik} - затраты на разработку и внедрение i -й задачи в k -м варианте.

Задача реализуется следующим образом:

$$\max_{x_{ik}, x_{lj}} \left[\sum_{ikj, i^*k^*j^*} b_{ikj, i^*k^*j^*} x_{ikj} x_{i^*k^*j^*} - \sum_{l,j} c_{lj} x_{lj} \right],$$

$$\text{где } b_{ikj, i^*k^*j^*} = \begin{cases} a_{ikj}, & \text{если } ikj = i^*k^*j^*; \\ a_{iki^*k^*} \gamma_{jj^*}, & \text{если } ikj \neq i^*k^*j^*; \end{cases} \quad (4.15)$$

$x_{ikj}=1$ - если i -я задача решается в j -м узле k -м способом и равно 0 в противном случае.

$x_{lj}=1$ - если j -й узел оборудуется l -м техническим средством, и равно 0 в противном случае;

При ограничениях:

$$\sum_{k,j} x_{ikj} = 1 \quad (i = 1, 2, \dots, J);$$

$$\sum_{l,j} k_l x_{lj} + \sum_{i,k,j} k_{ik} x_{ikj} \leq K; \quad (4.16)$$

$$\sum_{i,k} m_{ik} x_{ikj} \leq \sum_l m_l x_{lj} \quad (j = 1, 2, \dots, J). \quad (4.17)$$

Величина критерия (4.15) имеет смысл общей эффективности разрабатываемой ИС, равной эффективности решения задач управления в узлах системы за вычетом эксплуатационных затрат на функционирование системы. В формуле (4.15) величина $b_{ikj, i^*k^*j^*}$ равна эффективности решения k -го варианта i -ой задачи в j -м узле (a_{ikj}), если $ikj = i^*k^*j^*$, и равна затратам на передачу информации из j -го узла в j^* -й узел в противном случае.

Первое ограничение (4.16) не допускает решение i -ой задачи в различных узлах. Второе ограничение учитывает то факт, что ресурсы на разработку не должны превышать заданной величины K . Третье ограничение (4.17) учитывает потребность в ресурсах технических средств, которые не должны превышать ресурсные возможности выбираемых технических средств.

Приведенная формализация задачи синтеза позволила создать общую модель определения оптимальной структуры ИС. Нахождение оптимальной структуры является сложной задачей, поэтому в практических случаях ограничиваются нахождением рациональной структуры системы.

Методика определения рациональной структуры основана на поэтапном решении частных задач. Для решения задачи синтеза структуры управляющих систем реального времени используется итерационная процедура. На первом этапе определяются перечень возлагаемых на технические средства информационной системы управления (ИСУ) задач и их распределение по узлам системы с учетом ограничений на ресурсы. На следующем этапе выбирают технические средства. Находят характеристики динамики функционирования узлов. Если необходимо, то осуществляют корректировку временных ограничений первого этапа и цикл повторяется. Эту задачу решают на этапе эскизного проектирования, а на этапе технического проектирования это решение уточняется.

Рационально построенная ИС имеет иерархическую структуру. Узлы системы одного уровня можно разбить на группы, в которых они идентичны. Это позволяет рассматривать работу лишь одного «типового» узла для каждой из групп одного уровня [34].

Критерий качества функционирования для таких систем обычно аддитивен и имеет вид:

$$W = \sum_{r_m=1}^{R_m} \sum_{m=1}^M \sum_{j=1}^n W_{jr,m}, \quad (4.18)$$

где $W_{jr,m}$ - величина критерия для j - го узла m -го уровня r -ой группы;
 $r_m=1, 2, \dots, R_m$ - число групп подсистем m -го уровня системы;
 $m=(1, 2, \dots, M)$ - число уровней системы;
 $j=(1, 2, \dots, n)$ - число узлов системы.

Если узлы системы одного уровня иерархии идентичны, то критерий качества функционирования имеет вид:

$$W(m) = n_{m-1}W(m-1) + W_m, \quad (4.19)$$

где $W(m)$ - величина критерия для всех m уровней системы;

$W(m-1)$ - величина соответствующего критерия для подсистемы $(m-1)$ -го уровня (всего таких подсистем n_{m-1});

W_m - величина критерия для верхней ступени.

Решение задачи в этом случае существенно упрощается, причем для некоторых систем коэффициенты ветвления могут быть искомыми величинами.

В отдельных случаях решают частные задачи синтеза оптимальной структуры, такие, как определение оптимального распределения возлагаемых на ИСУ функций по заданным уровням и узлам системы, определение оптимальных вариантов реализации функций в ИСУ, выбор комплекса технических средств (КТС), обеспечивающего качественную реализацию функций и т.д. В частности, если каждая из функций может быть реализована лишь в одном узле, то для оптимального их распределения можно использовать метод «ветвей и границ».

Если для каждой из функций ИСУ задана совокупность различных вариантов их реализации и соответственно различные комплексы технических средств, то для выбора минимального по стоимости варианта реализации функций и КТС используют алгоритм, основанный на построении графа на множестве частных графов для отдельных функций с последующим отысканием в этом графе пути минимальной длины.

Когда задано множество решаемых задач, множество узлов системы и связей между ними и распределение задач по узлам системы, возникает задача выбора КТС, обеспечивающего функционирование ИСУ по заданным критериям качества. Оценку и выбор КТС ИСУ осуществляют таким образом: определяют потенциальные возможности средств, описывают их загрузку, формулируют критерии и ограничения для оценки и выбора оборудования, проводят описание и анализ работы ЭВМ в реальных условиях. На основании данной информации проводят выбор КТС.

Для определения потенциальных возможностей ЭВМ используют:

- оценки, основанные на сопоставлении технических параметров, позволяющие получить общее представление об ЭВМ;

- оценки на основе системы команд;
- оценки ЭВМ с использованием типовых работ, которые формируются на основе анализа конкретных работ, возлагаемых на ЭВМ в ИСУ;
- оценки, основанные на моделировании работ ЭВМ.

Такой подход является наилучшим, однако он затруднителен из-за сложности системы и недостаточности исходной информации.

Выбор технических средств для больших ИС (акционерных обществ (РАОЕЭС, Газпром и др.) крупных корпораций, холдингов и др.) проводят на основе анализа временной загрузочной диаграммы, причем отдельные технические средства могут интерпретироваться как различные системы массового обслуживания.

Основными исходными данными при применении этой методики, кроме перечисленных выше, являются перечень и характеристики средств, применение которых возможно в ИСУ; основные характеристики задач и ограничения на время их решения. Последовательность выбора состоит в качественном отборе технических средств, исследовании входящих потоков задач, определении временных характеристик их решения, построении временной загрузочной диаграммы для каждого устройства ИСУ, определении затрат на технические средства. По результатам этих работ выбирают комплекс аппаратуры, удовлетворяющий ограничениям и обеспечивающий минимум затрат.

Для анализа динамики функционирования распределенных (многоступенчатых) систем и оценки характеристик, таких, как загрузка, задержки в управлении, влияние ненадежности технических устройств и алгоритм функционирования систем, удобно формализовать системы в виде сетей массового обслуживания соответствующей структуры и использовать аналитические методы для определения оценок или метод статистических испытаний в более сложных случаях. При этом определяют такие параметры ИСУ, как надежность, число уровней иерархии системы и взаимосвязи между ними, методы оптимизации работы вычислительных систем узла, вопросы гибкости, т.е. способности к перестройке, живучесть и др. характеристики.

Контрольные задания

1. Постановка задачи синтеза структуры с учетом затрат на обмен информацией между задачами, решаемыми на различных уровнях, и затрат на эксплуатацию системы.
2. Формулировка задачи синтеза, критерий и ограничения.
3. Содержание этапов определения рациональной структуры информационной системы.
4. Критерий качества функционирования рационально построенной ИС иерархической структуры.
5. Частные задачи синтеза ИС оптимальной структуры.
6. Последовательность выбора технических средств при создании ИСУ.

Глава 5. РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

5.1. Принципы и подходы к построению моделей систем

Модели играют в жизни человека чрезвычайно важную роль - достаточно сказать, что в основе поведения человека, как системы разумной, лежит субъективная модель мира, создаваемая им на протяжении всей жизни на основе анализа личного и социального опыта. Модели мира, которыми мы оперировали всего 40 лет назад, оценивая поведение этих людей, были совершенно иными, нежели нынешние. Правда, между теми моделями, которые используются человеком в его повседневной деятельности и моделями, используемыми в системных исследованиях - дистанция огромного размера.

Модель - это совокупность логических, математических или иных объектов, связей и соотношений, отображающих с необходимой или предельно достижимой степенью подобия некоторый фрагмент реальности, подлежащий изучению, а также описание всех существенных свойств моделируемого объекта. Можно рассматривать различные аспекты подобия между моделью и фрагментов реального мира [35]:

- физическое подобие, когда модель и объект имеют близкую физическую сущность;
- функциональное подобие, когда сходны их функции;
- динамическое подобие, проявляющееся в сходстве динамики изменения состояния объекта;
- топологическое подобие, проявляющееся в сходстве пространственной (в широком смысле, в том числе - организационной) структуры и иные.

Соответственно различают физические, функциональные, динамические, топологические и иные виды моделей. Кроме того, по принципу реализации выделяют натурные, полунатурные, имитационные и теоретические модели. В зависимости от обстоятельств (целей, условий) в аналитической практике используются разные модели.

Очевидно, что степень формализации моделей может варьироваться в широких пределах: от моделей, не подвергнутых процедурам

формализации, до моделей строго формальных. Выбор формальных средств, используемых для представления моделей, не является произвольным и определяется двумя аспектами-компонентами модели:

- моделью интерпретации или интерфейсным компонентом (характеризующим процесс двунаправленного взаимодействия с потребителем, в роли которого может выступать как человек, так и автоматизированная система, реализующая функции ввода и считывания данных);

- сущностным компонентом (характеризующим специфику моделируемого фрагмента реальности, закономерности его функционирования, структуры и т. п.).

Если взглянуть на любую модель с точки зрения, характерной для специалиста в области разработки программного обеспечения, знакомого с объектным подходом к программированию, то модель предстанет в виде совокупности инкапсулированных (помещенных одна в другую) моделей. При этом модель интерпретации (адаптации, интерфейса) представляет собой внешнюю оболочку модели, а сущностная модель фрагмента реальности (объекта, процесса явления и т. п.) заключена внутрь.

На этапе моделирования модель используется не в качестве объекта синтеза и анализа, а как инструмент исследования [35,36]. То есть, модели полагаются адекватными и предполагается, что дальнейшие итерации по совершенствованию моделей нецелесообразны. Модели используются в качестве систем, замещающих заданные фрагменты реальности – на них проводятся вычислительные и логические операции, выражающие выявленные на предшествующих этапах отношения и зависимости, определяются значения критериев выбора, обеспечивающие возможность сопоставления альтернативных стратегий.

Кроме того, здесь исследователь сталкиваемся с проблемой изоляции процессов: с одной стороны - модель уже должна существовать (иначе невозможен синтез критериев), с другой - модель необходимо синтезировать. Но есть одно обстоятельство: в одном случае речь идет о модели системы и ситуации в целом, а в другом о характере ее изменения в ходе реализации альтернативной стратегии. По существу, модель должна быть кибернетической - то есть, учитывать свой-

ства системы с точки зрения анализа управленческих стратегий. На этом этапе оценивается эффективность реализации некоторой альтернативы и производится выбор оптимальной (или близкой к оптимальной) альтернативы из множества допустимых альтернатив.

Можно говорить о существовании некоего обобщенного алгоритма проведения системно-кибернетического исследования, относительно которого могут допускаться незначительные отклонения, но в целом, сохраняющем свою структуру для большинства приложений системного анализа. Алгоритм, приблизительно отображающий схему проведения системно-кибернетического исследования, представлен на рис. 5.1.

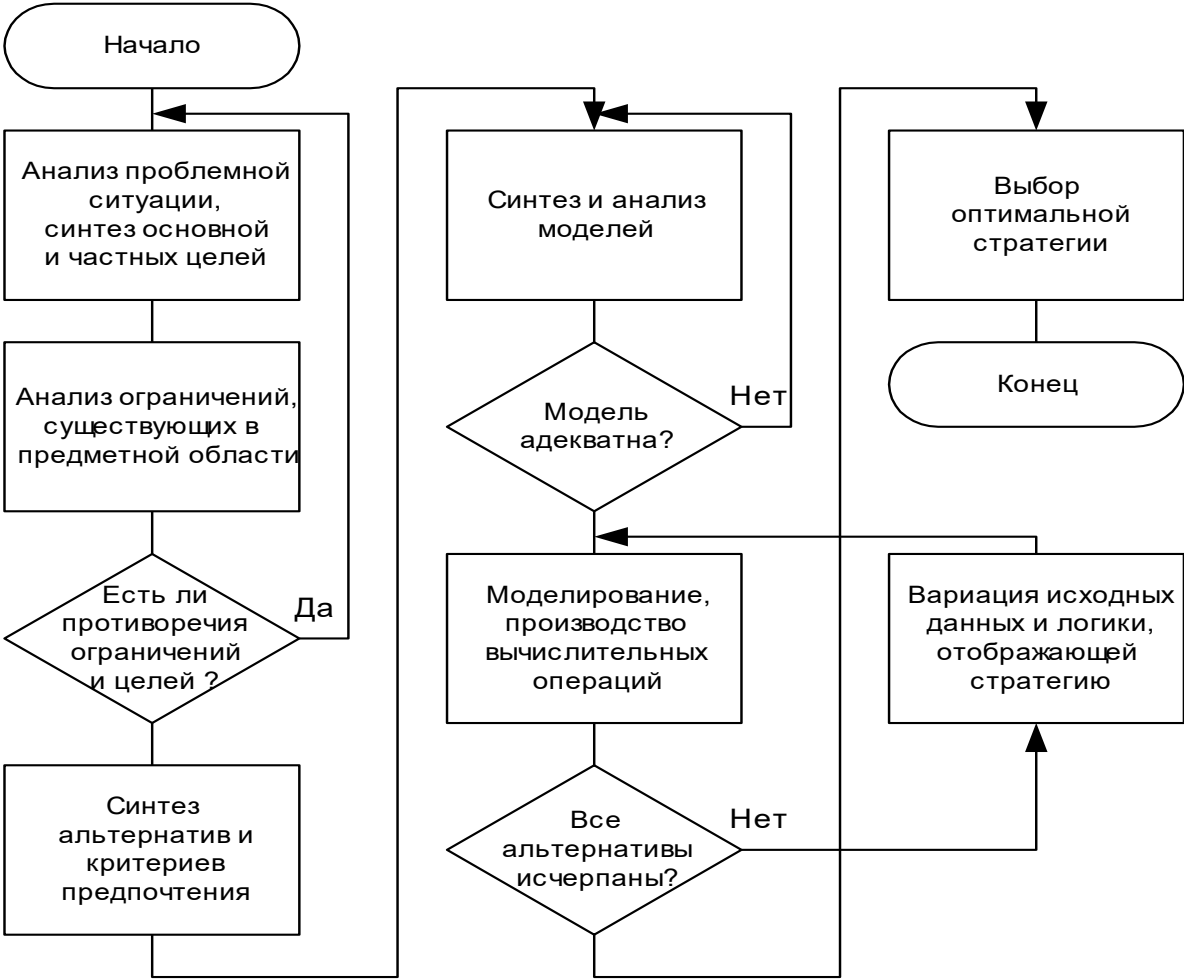


Рис. 5.1. Алгоритм проведения системно-кибернетического исследования

Принцип моделируемости и его постулаты

Сложная система может быть представлена конечным множеством моделей, каждая из которых отражает определенную грань ее сущности.

Этот важный принцип дает возможность исследовать определенное свойство сложной системы при помощи одной или нескольких упрощенных 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 [7].

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 энергетическое и информационное воздействие может привести к такому же результату, как энергетическое более высокого уровня. Таким образом, порог есть функция трех переменных: количества определенного вещества, количества энергии и количества определенной информации. Реакция системы на внешнее воздействие носит 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) параметров 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, которые 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) выбора 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.

Методы моделирования и принципы построения моделей

Метод моделирования разработан с учетом принципа изоморфизма (многообразия): замены одного объекта на адекватную модель. Соотношение объекта и модели определяется степенью ее адекватного описания научными или иными средствами (вербально, графически, математически и т.п.) [1].

Моделирование является основополагающим методом исследования больших и сложных систем в теории систем [36]. В теории систем утверждается, что никаких других средств для качественного и эффективного описания больших и сложных систем кроме моделирования не существует. В современной науке укоренилось представление, что «всякое познание является моделированием» (Н. Амосов). Каждая теория - это тоже модель понимания содержания предмета исследования. Модели могут создаваться на основе средств познания (формы мышления) - эвристические, гипотетические, концептуальные, и на основе рационально-логических средств исследования - эмпирические, теоретические, математические. Разница между разными видами моделирования в том, что не всегда разработанную модель можно адекватно описать математическими средствами для получения количественных и качественных результатов. Например, социально-экономическую модель нельзя адекватно представить в математическом виде. Она слишком сложна.

Применение математических средств возможно лишь тогда, когда определены средства оценки, измерения всех существенных параметров системы. Для создания наиболее похожей модели сложной системы необходимы средства содержательного эмпирического представления, которые предшествуют использованию формализованных средств математики. Любая модель строится на основе некоторых теоретических принципов и реализуется определенными инструментальными средствами прикладных наук. Теоретическими принципами построения моделей больших и сложных динамических систем становятся принципы теории систем. Основу инструментальных средств построения этих моделей составляют математические методы описания алгоритмических процессов. Такой подход в моделировании обеспечивает определенную строгость и логичность доказательств,

которые могут избежать многих противоречий в понятиях на междисциплинарном уровне.

В теории систем широко используются специальные методы моделирования, которые применяются в прикладной информатике. К ним относятся:

- имитационное динамическое моделирование, использующее методы статистики и специальный язык программирования взаимодействия структурных элементов;
- ситуативное моделирование, использующее методы теории множеств, теории алгоритмов, математической логики (Булевой алгебры) и специальный язык анализа проблемных ситуаций;
- информационное моделирование, использующее математические методы теории информационного поля и теории информационных цепей.

Классификация методов моделирования в теории систем отличается от классических методов теории моделирования тем, что процесс моделирования связан с сочетанием процедур анализа и синтеза. Это объясняется необходимостью учета в исследовании объекта-системы принципов симметрии и гармонии как фундаментальных закономерностей при композиции элементов в целом образовании, будь-то космические системы, системы живой или неживой природы и общества.

Принцип симметрии - это фундаментальное свойство всех материальных систем, связанное с законом сохранением энергии, информации и вещества в целом образовании.

Принцип гармонии - это фундаментальное свойство сохранения устойчивых связей и отношений между элементами в целом образовании.

В теории систем различают методы индукционного и редуционного моделирования.

Индукционное моделирование осуществляется с целью получения сведений о специфике объекта-системы, об ее элементах, способах их взаимодействия на основе анализа частного и приведения этих сведений к общему описанию. Индуктивный метод моделирования больших и сложных систем используется в том случае, когда невозможно адекватно представить модель внутренней структуры объекта.

Этот метод позволяет создать обобщенную модель объекта-системы, сохраняя специфику организационных свойств, связей и отношений между элементами, что отличает ее от другой системы. При построении такой модели часто используют методы логики теории вероятности, т.е. такая модель становится логической или гипотетической. Затем определяются обобщенные параметры структурно-функциональной организации системы и описываются их закономерности с помощью методов аналитической и математической логики.

Редукционное моделирование используется с целью получения сведений о закономерностях взаимодействия элементов в системе для сохранения целого структурного образования. При этом считается, что свойства целого образования нам известны на основе законов теории систем, а сами элементы не являются объектами исследования. При таком методе исследования сами элементы заменяются описанием их внешних свойств. Использование метода редукционного моделирования позволяет решить задачи по определению свойств элементов, свойств их взаимодействия и свойств самой структуры системы, чтобы их совокупность отвечала наилучшим образом принципам целого образования с заданными свойствами. Такой метод используется для поиска методов декомпозиции элементов и изменения структуры, придавая системе в целом новые качества. Этот метод отвечает целям синтеза свойств системы на основе исследования внутреннего потенциала к изменению. Часто метод редукционного моделирования называют методом «генеалогического» моделирования. Практическим результатом использования метода синтеза в редукционном моделировании становится математический алгоритм описания процессов взаимодействия элементов в целом образовании.

Принципы построения моделей

Для каждой предметной области существует некий «коридор», в рамках которого допустим выбор тех или иных средств формализации [36]. Лишь в крайне редких случаях выбор средств формального представления практически не ограничен и плавно варьируется в диапазоне от вербальных до алгебраических средств. В таких условиях выбор того или иного варианта может определяться исключительно субъективными предпочтениями исследователя. Однако уже малей-

шее стеснение в ресурсах приводит к необходимости сужения области выбора.

В целом, процесс синтеза модели может быть представлен как процесс постепенного повышения уровня формализации и поэтапного продвижения в иерархии знаний следующего вида:

- гипотеза, предположение;
- теория, концепция;
- закономерность;
- закон.

Располагая знаниями высшего уровня (зная закон) исследователь менее всего стеснен в выборе средств моделирования. Однако отсутствие достаточного объема знаний о системе не позволяет построить модель более высокой степени формализации, нежели вербальная или логико-лингвистическая модель типа сценария. Такая ситуация возникает тогда, когда причинно-следственные отношения не выявлены, структура системы и отношения между компонентами установлены лишь частично и подлежат уточнению, что соответствует знаниям уровня гипотезы или теории в предложенной иерархии.

В то же время, даже располагая знанием закона, исследователь не всегда может выбрать произвольный способ формального представления системы, поскольку формальный аппарат, как правило, не универсален и привязан к конкретной предметной области и условиям наблюдений. Это означает, что среди многообразия методов существует некий метод, который является наиболее приемлемым, оптимальным с некоторой точки зрения.

Зачастую, при синтезе имитационных моделей в качестве гипотез выдвигаются предположения о возможности использования для описания некоторой системы или процесса той или иной группы зависимостей, выражаемых теми или иными формальными средствами. Если некоторая гипотеза, построенная в рамках более обширной (и, возможно, ранее существовавшей) теории, подтвердилась, то в дальнейшем эта теория считается адекватно описывающей процессы, протекающие в системе и закономерности ее функционирования.

При синтезе методов формального описания чрезвычайно продуктивен «прием метафоры», заключающийся в поиске сходства с ранее изученными феноменами и уподоблении им наблюдаемых. При

этом формулируется гипотеза о подобии наблюдаемых процессов тем процессам и явлениям (а также переносимости закономерностей и законов, свойственных им), которые были избраны на этапе выбора метафоры.

Можно перечислить методы формального представления систем, к числу которых можно отнести аналитические, вероятностные и статистические, теоретико-множественные и логические, лингвистические и семиотические, а также графические и иные методы. Такое разбиение на группы методов осуществляется по сходству формального аппарата, используемого ими. Формальные модели, построенные с применением этих методов, получают названия, сходные с названиями использованных методов,

Вербальные модели

По существу, первичная вербальная модель представляет собой словесный портрет системы и проблемной ситуации, то есть представляет собой документ, аналогичный проекту технического (информационно-поискового и т. п.) задания.

Формализм вербальной модели легко воспринимается широким классом потребителей, а синтез вербальной модели (по крайней мере, в первом приближении) может быть осуществлен и специалистом, не обладающим специальными навыками в области построения формальных моделей. Благодаря тому, что языки естественного общения не ограничены рамками узкой предметной области, вербальные модели обладают наивысшей выразительной способностью и часто используются как инструмент интеграции формальных моделей и результатов их применения [35].

Часто на этапе синтеза вербальной модели применяются методы активизации интеллектуальной деятельности специалистов, методы извлечения экспертных знаний, призванные выявить неосознанные алгоритмические схемы функционирования отдельных сотрудников и организации в целом. Здесь могут проводиться, в том числе и деловые игры, в ходе которых сторонний специалист пытается выявить алгоритмы функционирования системы, составить схему информационных процессов, информационных контуров управления.

Вербальная модель создается для сокращения неопределенности, компенсации неполноты знаний и формирования гипотезы или набора гипотез. Но первая и главная задача вербального моделирования – создание вербального описания на материальном носителе.

В ходе дальнейшей формализации вербальная модель подвергается процедуре структурирования. На этом этапе устанавливаются группы взаимосвязанных элементов системы и с необходимой степенью детализации (для решения поставленной задачи) описываются отношения между ними, осуществляется атрибуция элементов системы и данных о них (устанавливается структура описаний, формулируются требования к точности и т.п.), а также производится группирование данных.

При решении задачи синтеза баз данных и систем информационного обеспечения деловых процессов, данных, полученных на этапе вербального моделирования, зачастую оказывается достаточно для синтеза макета информационной системы [35].

Чрезвычайно важно, чтобы в ходе структуризации вербальной модели были выявлены причинно-следственные отношения, отношения ресурсопотребления, хотя бы приблизительно были оценены инерционные характеристики отдельных элементов и системы в целом, тип доминирующих отношений и потенциальные источники конфликтов в системе. Подобные сведения обладают высокой ценностью при проведении процедур реорганизации деловых процессов, а также на этапе принятия решения.

Логико-лингвистические и семиотические модели и представления [35]. Данный тип моделей характеризуется более высокой степенью формализации. Формализация затрагивает преимущественно логический аспект существования/функционирования моделируемой системы. При построении логико-лингвистических моделей широко используется символичный язык логики и формализм теории графов и алгоритмов. Существует возможность построения логико-лингвистических моделей в базисе нескольких формально-логических систем, отражающих различные аспекты функционирования системы и знаний о ней. Наиболее распространенным способом формального представления логико-лингвистических моделей является граф.

Одним из видов логико-лингвистических моделей являются сценарии или сценарные модели, предназначенные для отображения развернутых во времени последовательностей взаимосвязанных состояний, операций или процессов. Сценарии могут иметь как линейную, так и ветвящуюся структуру, в которой могут быть установлены условия перехода к той или иной частной стратегии, либо просто отображены возможные альтернативы без указания условий.

Сценарии, как разновидность логико-лингвистических моделей, широко распространены в отраслях деятельности, связанных с моделированием социально-политической, экономической и военной обстановки, созданием информационных систем поддержки управленческой деятельности и во многих других.

Следует отметить, что в ряде случаев трудно провести грань между сценарной моделью и алгоритмом. Однако между сценарной моделью и алгоритмом существует достаточно существенное различие, а заключено оно в том, что алгоритм - это совокупность инструкций, выполнение которых должно привести к некоторому результату, в то время как сценарная модель - это не обязательно алгоритм, например, она может представлять собой протокол событий, повторение которых в той же последовательности не обязательно приведет к той же ситуации, что и в предыдущий раз. То есть, понятие сценарной модели - это более широкое понятие, нежели понятие алгоритма.

Еще одной важной разновидностью логико-лингвистических моделей являются логико-смысловые (семантические) модели, ориентированные на отображение исследуемого явления (проблемы), разрабатываемого решения или проектируемого объекта посредством некоторого множества выраженных на естественном языке понятий, фиксирующих отношения между понятиями и отображающие содержательно-смысловые связи между понятиями. Эта разновидность логико-лингвистических моделей ориентирована на несколько иной вид деятельности - а именно, на поиск решения, его синтез из ранее имевших место прецедентов, существующих описаний предметной области или описаний путей решения группы близких по содержанию проблем. Условно применение данного метода можно описать как циклически повторяемую последовательность из двух процедур: процедуры построения системы высказываний, отражающих знания о си-

стеме, и процедуры анализа полученной совокупности знаний с применением ЭВМ (правда, на определенных этапах реализации метода требуется участие эксперта).

Семантическая сеть - это разновидность модели, отображающая множество понятий и связей между ними, обусловленных свойствами моделируемого фрагмента реального мира. В общем случае семантическая сеть может быть представлена в виде гиперграфа, в котором вершины соответствуют понятиям, а дуги - отношениям. Такая форма представления обеспечивает большую простоту реализации отношений типа «многие ко многим», нежели иерархическая модель. В зависимости от типов связей, различают классифицирующие, функциональные сети и сценарии.

В классифицирующих семантических сетях используются отношения структуризации, в функциональных - функциональные (вычислимые) отношения, а в сценариях - причинно-следственные (каузальные) отношения. Разновидностью семантической сети является фреймовая модель, реализующая «матрешечный» принцип раскрытия свойств систем, процессов и т. п.

Широкое применение логико-лингвистические модели нашли в отрасли разработки программного обеспечения, управления корпоративными информационными ресурсами и многих других отраслях, где требуется определенный уровень формализации, представляющий единство строгости, интуитивной понятности и высокой выразительной способности моделей.

Логические модели

В логических моделях естественно-языковые высказывания замещаются на примитивные высказывания - литералы, между которыми устанавливаются отношения, предписываемые формальной логикой. Различают логические модели, в которых рассматриваются различные схемы логических отношений: отношения логического следования, включения и иные, которыми замещаются отношения, характерные для традиционной формальной логики.

Логические модели широко используются для описания систем знаний в различных предметных областях. Наиболее широкое распространение логические модели получили в области построения си-

стем искусственного интеллекта, где они используются в качестве основы для производства логического вывода из системы посылок, зафиксированных в базе знаний, в ответ на внешний запрос [35].

Поскольку большинство знаний и понятий, используемых человеком, нечетко, Л. Заде предложил для представления таких знаний математическую теорию нечетких множеств. Системы, использующие модели на базе нечеткой логики разрабатываются специально для решения плохо определенных задач и задач с использованием неполной и недостоверной информации. Внедрение аппарата нечетких логик в технологии создания экспертных систем привело к созданию нечетких экспертных систем (*Fuzzy Expert Systems*).

Нечеткая логика позволяет решать широкий класс задач, не поддающихся строгой формализации. Методы нечеткой логики используются в системах управления сложными техническими комплексами, функционирующими в непредсказуемых условиях (летательными аппаратами, системами наведения высокоточного оружия и т. д.).

По существу логические модели представляют собой последний этап формализации, на котором в качестве элементов высказывания еще могут выступать понятия, сформулированные на языке человеческого общения. В логические методы активно вмешиваются элементы формальных систем.

Статистические и теоретико-вероятностные модели

Статистическая или теоретико-вероятностная модель (стохастическая модель) - это модель, в которой обеспечивается учет влияния случайных факторов в процессе функционирования системы, основанная на применении статистической или теоретико-вероятностной методологии по отношению к повторяющимся феноменам [35,36]. Данная модель оперирует количественными критериями при оценке повторяющихся явлений и позволяет учитывать их нелинейность, динамику, случайные возмущения за счет выдвижения на основе анализа результатов наблюдений гипотез о характере распределения некоторых случайных величин, сказывающихся на поведении системы. По существу, теоретико-вероятностные и статистические модели отличаются уровнем неопределенности знаний о моделируемой системе, существующей на момент синтеза модели.

В случае, когда представления о системе носят, скорее, теоретический характер и основываются исключительно на гипотезах о характере системы и возмущающих воздействий, не подкрепленных результатами наблюдений, теоретико-вероятностная модель является единственно возможной. Когда же на этапе синтеза модели уже существуют данные, полученные опытным путем, появляется возможность подкрепления гипотез за счет их статистической обработки.

Статистические модели применимы для изучения массовых явлений любой природы, включая и те, которые не относятся к категории вероятно определенных (математическая статистика приспособлена и для решения детерминированных задач). При моделировании последних статистический процесс вводится в модель искусственно для получения статистических оценок численного решения (например, точности измерения параметров детерминированного процесса).

Для обработки результатов наблюдений используются методы корреляционного, регрессионного, факторного, кластерного и иных видов анализа, оперирующих статистическими гипотезами. Особая роль здесь отводится методу статистических испытаний (методу Монте-Карло).

Сущность метода состоит в реализации многократного моделирования случайного явления с помощью некоторой процедуры, дающей случайный результат. Для этого с применением ЭВМ создается некоторое множество реализаций случайных процессов, моделирующих возмущающие воздействия на исследуемый объект или процесс, после чего производится моделирование этого процесса или объекта в условиях, определяемых полученными случайными воздействиями. Результаты такого моделирования обрабатывают с использованием методов математической статистики. При этом могут варьироваться тип и параметры распределения случайной величины.

Поскольку адекватность модели распределения случайных воздействий в общем случае установить трудно, задачей моделирования с применением метода Монте-Карло является обеспечение робастно-

сти полученных решений (устойчивости к изменению параметров закона распределения случайных величин и начальных условий моделирования). Если результат моделирования не является робастным (существенно зависит от параметров закона распределения и параметров модели), то это свидетельствует о наличии высокого риска при принятии решения в данной реализации моделируемой системы.

Важную роль в статистических моделях играют гипотезы о характере процессов смены состояний в моделируемой системе. Так, например, весьма интересный случай представляет собой гипотеза о «марковости» процессов (получившая название в честь русского ученого А.А. Маркова - начало XX века). Марковские процессы представляют собой случай процесса с детерминированными вероятностями, для которого ранняя предыстория смены состояний системы на некотором предшествующем интервале времени несущественна для установления вероятности наступления следующего события - основное значение придается ее текущему состоянию. Если существует уверенность в марковости процесса, это существенно меняет представления о системе (она может рассматриваться как «инерционная», в большой степени зависящая от текущего ее состояния и характера возмущающего воздействия).

Статистическое моделирование тесно сопряжено с имитационным моделированием, в ходе которого модель объекта нередко «погружается в вероятностную (статистическую) среду», в которой проигрываются различные ситуации и режимы функционирования модели/объекта. Имитационные модели могут реализовываться и в детерминированных средах.

Методы статистического моделирования широко распространены в сфере стратегического планирования и управления. Широкому распространению методов статистического моделирования в сфере оперативного управления препятствует высокая трудоемкость процесса моделирования. В основном это связано с необходимостью глубокой математической проработки моделей и высокими требованиями, предъявляемыми к математическим познаниям пользователей.

Аналитические модели

Данный класс моделей обладает высокой степенью формализации описаний и применяется там, где закономерности протекания процессов и функционирования системы являются хорошо изученными, а сами процессы могут рассматриваться как детерминированные [35,36]. Нередко аналитические модели справедливо отождествляются с моделями детерминированных процессов. Такие ограничения являются достаточно жесткими, что ограничивает сферу их применения системами, функционирующими в стационарных условиях (т.е. в малой степени подверженных влиянию случайных возмущающих воздействий) или требуют существенного упрощения модели.

Аналитическое математическое моделирование - это вид моделирования, в ходе которого основная роль отводится аналитической математической модели, обладающей следующими особенностями:

- аналитическая модель строится на основе некоторой теории или научной гипотезы;

- модель описывает в целом определенный аспект моделируемой системы (процесс в системе) посредством различных математических конструкций (функций или функционалов, алгебраических или дифференциальных уравнений и т. д.);

- модель позволяет получать конечные результаты исследования в виде некоторых формальных соотношений, пригодных для производства количественного или качественного анализа.

Важным достоинством аналитического моделирования является возможность получения на его основе фундаментальных результатов и инвариантных зависимостей, которые могут быть распространены как на различные случаи использования моделируемой системы в тех или иных ситуациях и распространены на случаи рассмотрения других систем данного класса. Основным же недостатком аналитического моделирования является то, что его применение к сложным системам требует существенной идеализации описания системы. Такая идеализация может приводить к неполной адекватности получаемых результатов, к тому, что эти результаты могут использоваться лишь в

качестве первого приближения. Такие результаты могут быть использованы в ходе проведения моделирования с применением имитационных моделей в качестве неких опорных величин, относительно которых осуществляется дальнейшее исследование системы.

Контрольные задания

1. Общее описание моделей. Требования, предъявляемые к моделям.
2. Виды подобия между моделью и фрагментами окружающего мира.
3. Какими принципами руководствуются при построении моделей?
4. Этапы построения математических моделей, их содержание.
5. Моделирование как метод познания. Цели моделирования.
6. Принципы моделируемости и его постулаты
7. Методы моделирования информационных систем.
8. Содержание индукционного моделирования, его назначение.
9. Содержание редуccionного моделирования, его назначение
10. Специальные методы моделирования, используемые в прикладной информатике.

5.2. Построение имитационных моделей информационно-управляющих систем

Имитационная модель – это комплексное логико-математическое представление системы, реализованное в виде программы, предназначенной для решения на ЭВМ, включающее в себя модели различного типа, и рассматривающее аспект функционирования динамической системы во времени. Данный класс моделей применяется при невозможности строгого аналитического решения задачи или проведения натурального эксперимента [35,36].

Имитационные модели служат для изучения поведения во времени сложной неоднородной динамической системы, относительно структуры которой существуют точные знания или детализированные

гипотезы. Для каждого элемента или подсистемы моделируемой системы в памяти ЭВМ формируется блок данных, характеризующих ее текущее и предшествующие состояния, блок логических и вычислительных процедур, описывающих изменения критических параметров во времени, а также производятся вычисления этих параметров на основе заданных значений.

Комплекс подпрограмм или относительно автономных программных агентов функционирует под управлением программы-супервизора, осуществляющей диспетчеризацию вызовов, активизирующей и приостанавливающей на время выполнение тех или иных процедур в соответствии с планом машинного эксперимента, имитируя тем самым поведение системы. В результате машинного эксперимента формируются массивы данных о состоянии различных параметров системы в различные моменты времени с привязкой к системным событиям, имитируемым в ходе эксперимента.

При этом программа-супервизор управляет процессом имитации случайных возмущающих воздействий, от которых зависит функционирование системы в целом и ее элементов, и подсистем. Широкое применение здесь находит метод Монте-Карло.

Частным случаем имитационных моделей являются модели ситуационные. Ситуационные модели — это модели, используемые при решении задач с неопределенностью, исходя из совокупности ситуаций. В отличие от других моделей, основанных на заданном графе функционирования системы, для ситуационной модели такой граф неизвестен. Однако существует набор прецедентов ситуаций, обладающих малым прогностическим потенциалом.

Для создания ситуационных моделей требуется решить следующие задачи:

- создать информационную модель фрагмента реального мира, в которой каждому явлению, процессу или участнику будет соответствовать уникальный информационный аналог;

- обеспечить сбор и регистрацию информации об изменениях ситуации во времени, пространстве и пространстве введенных признаков;

- оценить прогностический потенциал тех или иных ситуаций (что связано с инерционностью вовлеченных в ситуацию объектов и системы в целом и т. п.).

Поскольку граф, описывающий последовательность переходов, для ситуационных моделей в общем случае не определен, постольку целесообразно рассматривать вариант представления ситуационной модели в виде обобщенной семантической сети. Одна из разновидностей семантических сетей - сценарий, как нельзя лучше подходит для этой цели.

В целом структура ситуационной модели определяется субъективными особенностями восприятия и свойственным аналитику способом разложения ситуации на составляющие. Это вызвано тем, что эксперт-аналитик, осуществляющий процедуру синтеза ситуационной модели, формулирует свои собственные критерии, соответствующие пребыванию системы в том или ином состоянии

Имитационная модель системы управления процессом стекловарения (оригинальная разработка)

В основу математического обеспечения системы управления положены разработанные регрессионные модели и алгоритмы управления [37]. С использованием моделей и алгоритмов реализована двухшкальная система управления ванной стекловаренной печи. Структурная схема системы приведена на рис. 5.2.

Модель стекловаренной печи служит датчиком состояния объекта. Она применяется для прогнозирования качества вырабатываемого стекла при заданных возмущениях и различных режимах стекловарения. Функции управления отнесены к «быстрой» части системы, реализованной на персональной ЭВМ. Эта часть включает в себя модель стекловаренной печи и оптимизатор, работающие в режиме периодического решения задачи управления в ускоренном масштабе времени ts . Рассчитанные с учетом ожидаемого качества вырабатываемого стекла управляющие воздействия передаются в «медленную» часть системы через блок вывода данных. Блок корректирует уставки автоматических систем регулирования при подтверждении технологом принятия выданного ЭВМ советов.

Необходимые начальные условия в модель задаются запоминанием предыстории процесса по контролируемым переменным. Задание начальных условий по реальному состоянию объекта, периодическое уточнение параметров модели устраняют возможность накопления рассогласования между траекториями движения объекта и его модели. Прогнозирование выходных переменных при различных вариантах управляющих воздействий осуществляется по моделям с учетом реальных значений возмущающих воздействий и запаздывания сигнала при прохождении по соответствующим каналам.

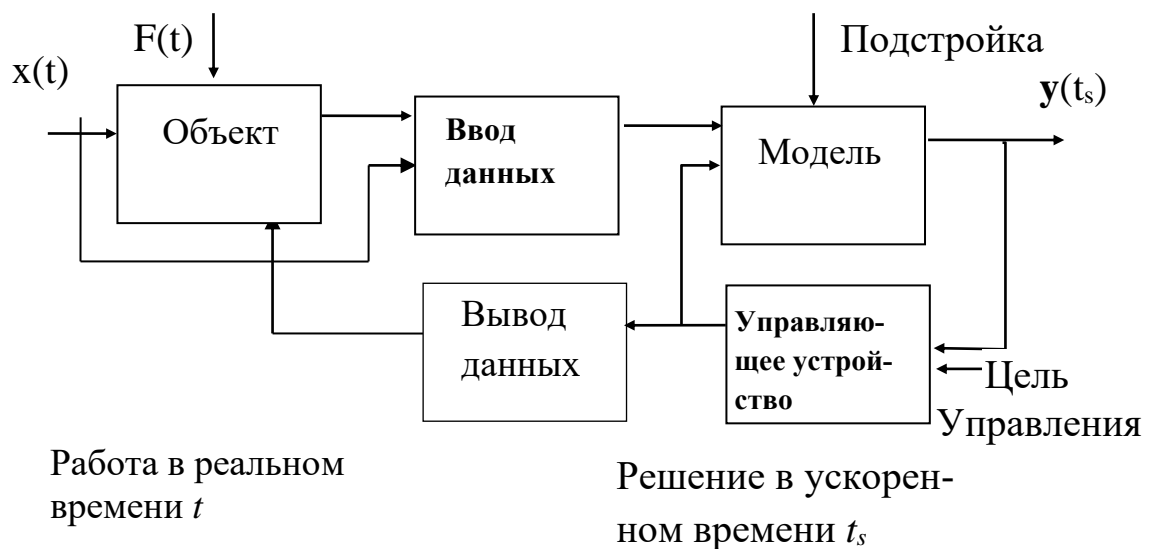


Рис. 5.2. Двухканальная система управления стекловаренной печью

Эффективность алгоритмов управления ванной стекловаренной печи оценивается методами имитационного моделирования. Проводится сравнительный анализ показателей работы технологических линий при ручном управлении и использовании алгоритмов управления. Имитация алгоритмов проводится с использованием реальных данных, собранных с технологических линий в течение года работы. При имитации предполагается, что реализуются все советы по коррекции теплового режима работы печи, выдаваемые алгоритмом

управления. Такая методика позволяет оценить потенциальные возможности алгоритмов управления по сравнению с ручным ведением процесса и оценить те потенциальные возможности, которые не были использованы при ручной коррекции технологического режима работы линий.

Сравнительный анализ алгоритмов управления проводился по следующим показателям работы технологической линии:

- удельному расходу тепла (газа) на стекловарение;
- экономии расхода газа на стекловарение путем интегрирования экономии газа по месяцам в течение года;
- плотности вырабатываемого стекла;
- однородности вырабатываемого стекла;
- по оптическим свойствам стекла, измеряемым по методу «Зебра»;
- по содержанию пороков типа свилей;
- по содержанию пороков типа газовых пузырей в стекле;
- по тепловому режиму ванн печей, оцениваемых по температуре стекломассы по показаниям донных термопар, установленных по оси первой, третьей и седьмой парой горелок, а также по усредненной температуре варки.

Сравнение проводилось по усредненным значениям и среднеквадратичным отклонениям выше указанных показателей, полученных при ручном ведении процесса и использовании алгоритмов управления.

Моделирование системы в условиях неопределенности

В большинстве реальных больших систем не обойтись без учета «состояний природы» - воздействий стохастического типа, случайных величин или случайных событий [38]. Это могут быть не только внешние воздействия на систему в целом или на отдельные ее элементы. Очень часто и внутренние системные связи имеют такую же, «случайную» природу.

Важно понять, что стохастичность связей между элементами системы и уж тем более внутри самого элемента (связь «вход-выход») является основной причиной риска выполнить вместо системного анализа совершенно бессмысленную работу, получить в качестве ре-

комендаций по управлению системой заведомо непригодные решения.

В таких случаях вместо самой случайной величины X приходится использовать ее математическое ожидание Mx . Все вроде бы просто - не знаем, так ожидаем. Но насколько оправданы наши ожидания? Какова уверенность или какова вероятность ошибиться?

Такие вопросы решаются, ответы на них получить можно - но для этого надо иметь информацию о законе распределения случайной величины. Вот и приходится на данном этапе моделирования заниматься статистическими исследованиями, пытаться получить ответы на вопросы:

- А не является ли данный элемент системы и производимые им операции «классическими»?

- Нет ли оснований использовать теорию для определения типа распределения случайной величины (продукции, денег или информационных сообщений)? Если это так - можно надеяться на оценки ошибок при принятии решений, если же это не так, то приходится ставить вопрос иначе.

- А нельзя ли получить искомое распределение интересующей нас случайной величины из данных эксперимента? Если этот эксперимент обойдется дорого или физически невозможен, или недопустим по тем или иным причинам, то может быть «для рагу из зайца использовать хотя бы кошку» - воспользоваться апостериорными данными, опытом прошлого или предсказаниями на будущее, экспертными оценками?

Если и здесь нет оснований принимать положительное решение, то можно надеяться еще на один выход из положения.

Не всегда, но все же возможно использовать текущее состояние уже действующей большой системы, ее реальную «жизнь» для получения глобальных показателей функционирования системы.

Этой цели служат методы планирования эксперимента, теоретической и методологической основой которых является особая область системного анализа - т.н. факторный анализ.

Пример построения имитационной модели анализа надежности сложной системы

Построение имитационной модели системы с целью проведения расчетов характеристик надежности начинается с изучения структурной схемы системы и стратегии ее функционирования. На основании структурной схемы строится надежностьная схема системы, которая характеризует статическую составляющую системы [39]. В качестве аппарата для представления схем системы используется аппарат теории графов. Элементы системы изображаются в виде вершин графа, связи между элементами - в виде дуг. После построения надежностьной схемы системы в виде графовой модели ее необходимо представить в виде функциональной зависимости (формализованное представление структуры системы). При построении имитационных моделей для формализованного представления надежностьной схемы системы рекомендуют использовать аппарат алгебры логики. Используя этот аппарат, вероятностные характеристики надежности системы, такие как вероятность отказа или вероятность безотказной работы, вычисляют через логические функции работоспособности.

Следующим этапом построения имитационной модели является отображение стратегии ее функционирования. На этом этапе осуществляется построение динамической составляющей модели системы. В качестве примера рассмотрим достаточно общую стратегию функционирования системы (рис. 5.3). Пусть в моменты времени $T_k, 2T_t, \dots, nT_k$ производятся контрольные мероприятия по проверке исправности элементов системы. Если в момент проведения контроля исправности элементов обнаруживается отказ, то начинаются восстановительные мероприятия. Могут быть ситуации, когда при проведении контрольных проверок отказ не обнаруживается, и элемент продолжает находиться в состоянии отказа до следующего момента контроля. Функционирование системы продолжается до момента времени T_p , если система не отказала, или до момента отказа. В момент времени T_p начинается плановая профилактика, в момент отказа системы начинается аварийная профилактика. После проведения профилактического

обслуживания система полностью обновляется, и процесс функционирования начинается заново.

Будем считать заданными периоды между проведением контрольных проверок T_k и период времени T_p , при достижении которого система подвергается восстановлению. Для организации процесса моделирования необходимо также задать вероятность обнаружения отказа p_{oo} и исходные данные для моделирования отказов и восстановлений элементов, а именно, плотность распределения наработки до отказа для каждого элемента, входящего в состав системы, - $f_{oi}(\theta_i, t)$, где i - порядковый номер элемента; θ_i - вектор параметров закона распределения, плотность распределения времени восстановления для каждого элемента $-f_{oi}(w_i, t)$, w_i - вектор параметров закона распределения времени восстановления.

После задания всех исходных параметров переходим к организации процесса моделирования. Процесс функционирования элементов системы приведен на рис. 5.4. На рисунке ступеньками обозначены периоды исправного функционирования элементов системы, линиями - периоды простоя элементов в неисправном состоянии до момента начала контроля и обнаружения неисправности, залитой ступенькой обозначено время восстановления элемента после обнаружения отказа.

Статистическое оценивание вероятности безотказной работы системы производится по следующей схеме. Для каждого элемента системы моделируется случайное время наработки до отказа T_{oi} . Моделирование осуществляется на основании заданной плотности распределения наработки до отказа $f_{oi}(\theta_i, t)$. Далее, на основании заданной вероятности обнаружения отказа моделируется событие, состоящее в обнаружении или не обнаружении отказа.

Если отказ обнаружен, то после ближайшего к наработке до отказа данного элемента момента контроля начинается восстановление элемента. Если выпало событие, состоящее в том, что в ближайший момент контроля отказ не обнаружен, то элемент находится в состоянии отказа до следующего момента контроля. В следующий момент контроля заново моделируется событие, состоящее в обнаружении

или не обнаружении отказа. Если отказ обнаружен, начинается восстановление элемента. Случайное время восстановления элемента моделируется на основании заданной плотности распределения времени восстановления.

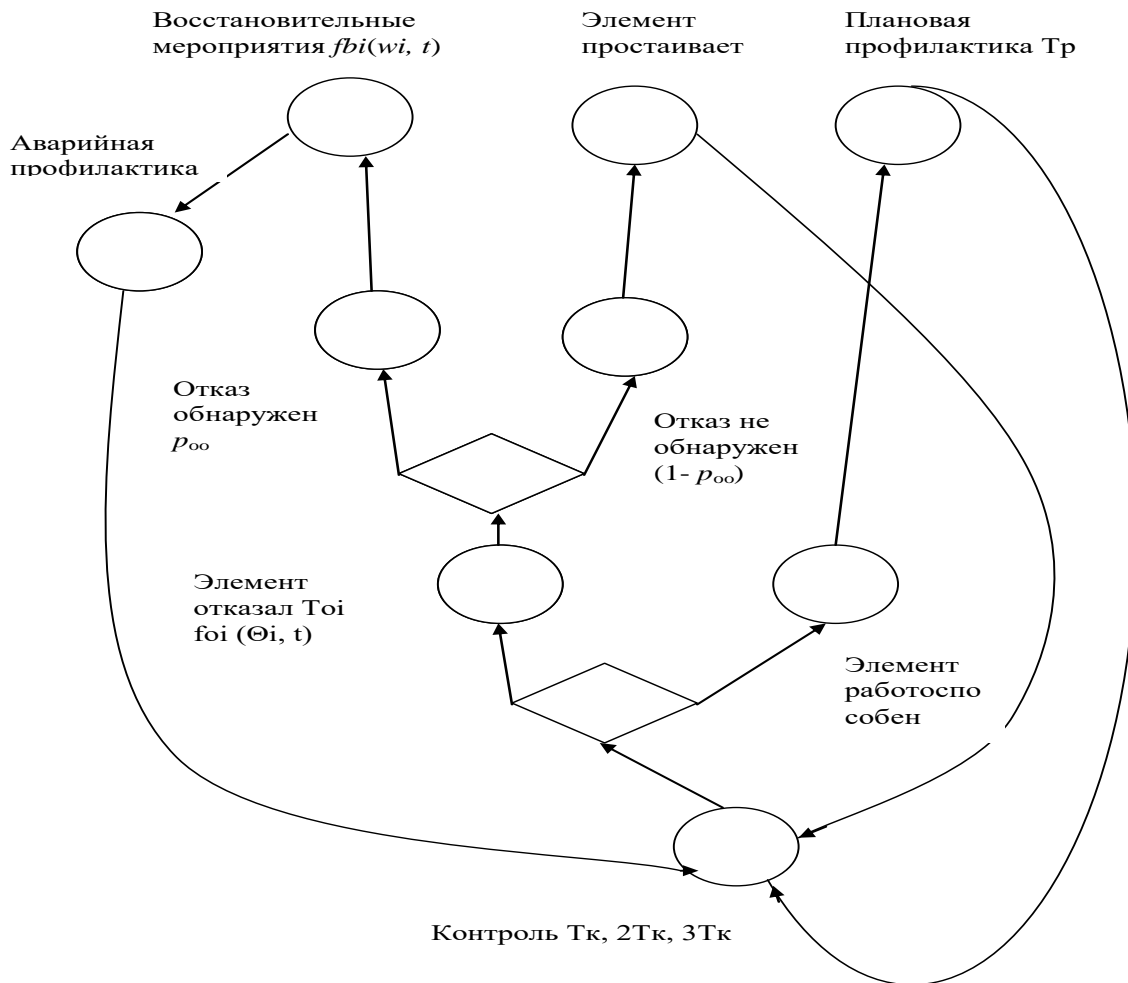


Рис.5.3. Процесс функционирования элементов системы

Обозначения: $f_{oi}(\Theta_i, t)$ - плотность распределения наработки на отказ;
 $f_{ei}(w_i, t)$ - плотность распределения времени восстановления;
 i - номер элемента системы;
 p_{oo} - вероятность обнаружения отказа.

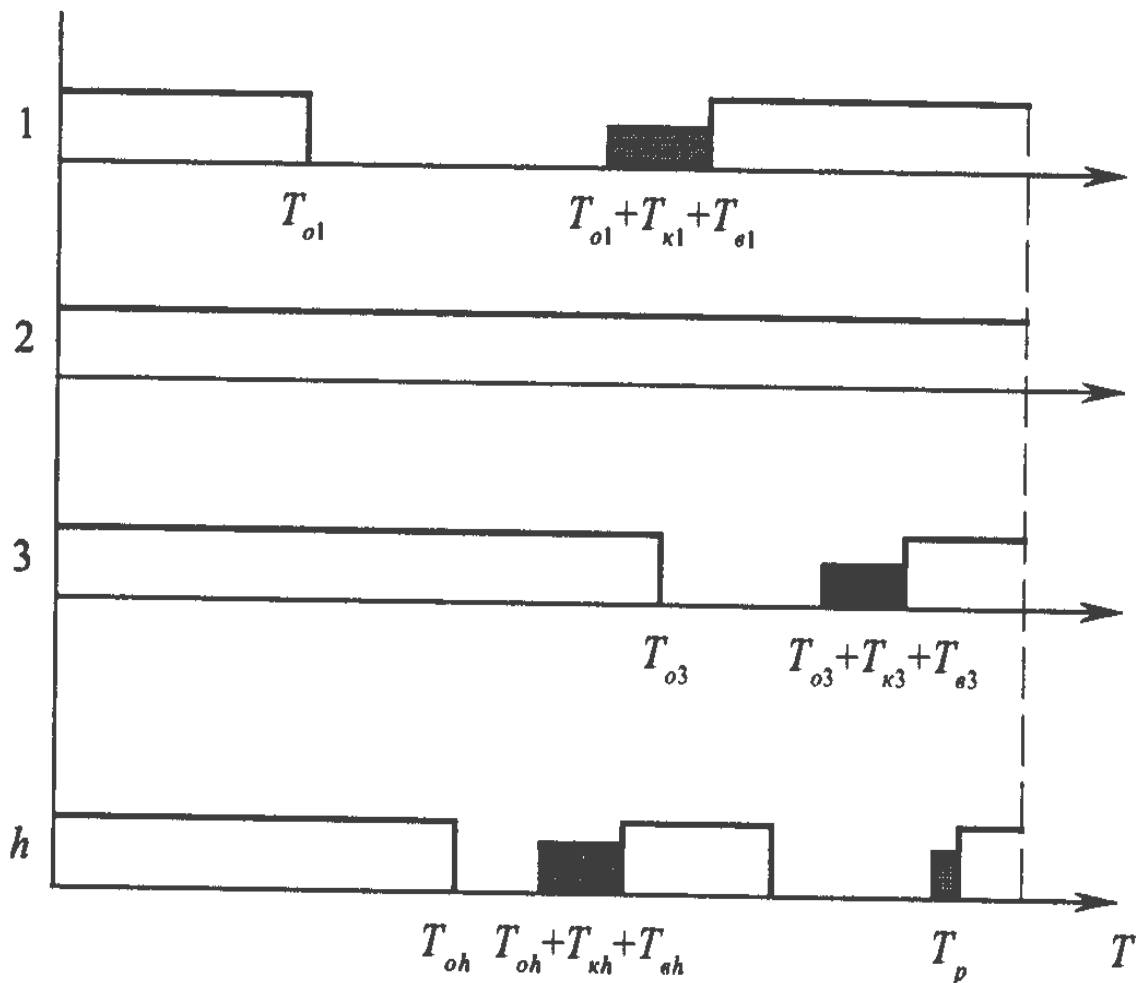


Рис. 5.4. Иллюстрация процесса функционирования элементов системы

После того как смоделированы наработки до отказа и времена восстановления каждого элемента, из всего набора наработок T_{oi} , выбирают такие, для которых выполняется соотношение $T_{oi} < T_p$. Здесь необходимо отметить, что изменение состояния системы может произойти только в моменты изменения состояния элементов. Следовательно, для обнаружения отказа системы необходимо просматривать только изменения состояний элементов. Поэтому для каждого T_{oi} , для которого выполняется соотношение $T_{oi} < T_p$, проверяем условие:

$$\left. \begin{aligned} T_{oi} < T_{ol} < T_{oi} + T_{ki} + T_{ei} \\ T_{ol} < T_{oi} < T_{ol} + T_{kl} + T_{el} \end{aligned} \right\}$$

по всем $l = 1, \dots, h$, где h - количество элементов в системе. Проверка этого условия состоит в обнаружении элементов, находящихся в состоянии отказа в тот период, когда в состоянии отказа был i -й элемент. Введем идентификатор состояния элемента pl . Определим его следующим образом: $pl = 0$, если в данный период $[Toi, Toi + Tki + Tvi]$ элемент находился в состоянии отказа и $pl = 1$, если элемент был работоспособен. Естественно, что в проверяемый момент $[Toi, Toi + Tki + Tvi]$ i -й элемент находится в состоянии отказа и для него $pl = 0$. Сформировав массив $\{pl\}$, на основании логической функции работоспособности определяем, был ли в данном интервале времени отказ системы. Если был, то $pc=0$, если отказа не было, $pc=1$. Если в рассматриваемый промежуток времени отказа системы не было, переходим к следующему интервалу времени. Процесс продолжается до тех пор, пока не будет равна нулю величина pc . Если на одном из проверяемых периодов величина pc приняла значение 0, это значение запоминается и начинается следующая итерация моделирования. Если ни на одном из рассматриваемых интервалов до момента Tr величина pc не приняла значение 0, то отказа системы не было, и значение pc в данном испытании равно 1. Проводя данную процедуру N раз, получаем N значений величины pc . Статистическую оценку вероятности безотказной работы системы находим по формуле

$$P_c(T) = 1/N \sum_{j=1}^N p_{cj},$$

где p_{cj} – значение величины pc в j -м испытании.

Описанная модель является концептуальной. После ее составления переходят к программной реализации и исследованию модели на ЭВМ.

Контрольные задания

1. Построение имитационных моделей информационно-управляющих систем.
2. Моделирование системы в условиях неопределенности.
3. Имитационная модель системы управления процессом стекловарения
4. Имитационной модели анализа надежности сложной системы

5.3. Моделирование систем и сетей массового обслуживания

Достаточно часто при анализе вычислительных систем приходится решать т.н. задачи массового обслуживания, возникающие в следующей ситуации. Пусть анализируется вычислительная система (ВС) обслуживания заявок, состоящая из некоторого количества ЭВМ. В ВС могут возникать, по крайней мере, две типичных ситуации:

- число заявок слишком велико для данной вычислительной мощности ВС, возникают очереди и задержки в обслуживании приходится платить;

- в ВС поступает слишком мало заявок и теперь уже приходится учитывать потери, вызванные простоем ЭВМ ВС.

Ясно, что цель анализа в данном случае заключается в определении некоторого соотношения между потерями доходов по причине очередей и потерями по причине простоя ЭВМ в ВС, такого соотношения, при котором математическое ожидание суммарных потерь окажется минимальным.

Специальный раздел теории систем — теория массового обслуживания, позволяет:

- использовать методику определения средней длины очереди и среднего времени ожидания заявок в тех случаях, когда скорость поступления заявок и время их выполнения заданы;

- найти оптимальное соотношение между издержками по причине ожидания в очереди и издержками простоя ЭВМ в ВС;

- установить оптимальные стратегии обслуживания.

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

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

Очень редко при этом используется сама система для проведения натурального эксперимента над ней. Чаще всего такой эксперимент связан с риском потерь заказчиков или неоправданными затратами на приобретение дополнительных ЭВМ для вычислительной системы, поэтому эксперимент ставится на модели.

Для современных вычислительных машин и систем характерна работа в режиме решения потока случайных по своим характеристикам задач, поступающих в общем случае в случайные моменты времени. Анализ и, самое главное, синтез подобных систем с учётом вероятностного фактора протекающих в них процессов возможны с использованием методов теории массового обслуживания.

Предмет теории массового обслуживания - системы и сети массового обслуживания. Под системой массового обслуживания (СМО) понимают динамическую систему, предназначенную для эффективного обслуживания случайного потока заявок (требований на обслуживание) при ограничениях на ресурсы системы. Обобщённая структурная схема приведена на рис. 5.5.

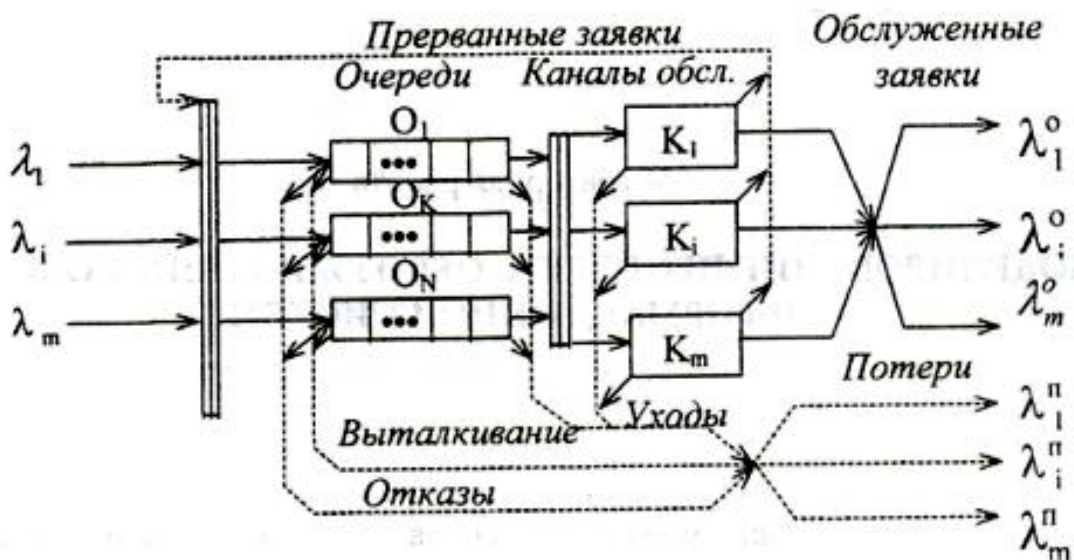


Рис. 5.5. Обобщённая схема системы массового обслуживания

Поступающие на вход СМО однородные (то есть требующие однородного обслуживания) заявки в зависимости от порождающей их причины делятся на типы, интенсивность потока заявок типа i ($i = \overline{1, M}$) обозначается как λ_i . Первопричина заявок, какова бы ни была

её физическая природа, называется источником заявок, совокупность заявок всех типов - входящим потоком СМО.

Обслуживание заявок выполняется совокупностью m в общем случае разнотипных каналов. В произвольный момент времени канал может быть занят обслуживанием только одной заявки, в общем случае допускается прерывание начатого некоторым каналом процесса обслуживания.

Если в момент появления заявки на входе СМО хотя бы один канал свободен, её обслуживание может быть начато немедленно, без задержки. Однако, вполне вероятна ситуация, когда заявка застаёт СМО полностью загруженной, то есть когда все m каналов заняты обслуживанием. В этом случае начало обслуживания задерживается, заявка должна занять место в соответствующей очереди. Очередь может быть либо общей, либо отдельной; деление очереди выполняется обычно по приоритетному принципу. На число мест в очереди может быть наложено ограничение, это может быть сделано как для каждой очереди в отдельности, так и для всей совокупности очередей в целом. При этом возможны конфликтные ситуации, решением которых может быть либо отказ системы принять заявку, либо принятие заявки за счёт возможно, выталкивания из очереди другой, менее ценной заявки для системы в данный момент времени.

В зависимости от числа мест в очереди различают СМО с отказами и без отказов. В СМО с отказами число мест в очереди конечно.

В зависимости от допустимого времени пребывания заявки в системе различают СМО с «нетерпеливыми» и «терпеливыми» заявками. В СМО с «нетерпеливыми» заявками заявка может «уйти» из системы, если время пребывания её в СМО превысит некоторое допустимое значение, которое в общем случае может быть случайным или характеризоваться некоторым распределением. «Терпеливая» заявка, попав в СМО, непременно дожждётся обслуживания.

Процесс продвижения заявки от входа к выходу СМО происходит в соответствии с некоторым законом управления процессами в СМО, который задаётся дисциплинами ожидания и обслуживания. Дисциплина ожидания определяет порядок приёма заявок в систему и размещения их в очереди, дисциплина обслуживания - порядок выбора заявок из очереди и назначения их на обслуживание.

Совокупность обслуженных и потерянных (полностью необслуженных либо недообслуженных) заявок образует выходящий поток СМО. В зависимости от структуры выходящего потока различают СМО без потерь («чистые» СМО) и СМО с потерями («смешанные» СМО).

Параметры входящего потока. Процесс поступления заявок на обслуживание является в общем случае случайным и может рассматриваться как поток однородных событий, происходящих через случайные промежутки времени. Случайные временные интервалы между поступлениями заявок могут подчиняться различным законам распределения.

Наибольшее распространение в теории массового обслуживания получил простейший поток заявок, то есть поток, обладающий свойствами стационарности, ординарности и отсутствия последействия.

Если входящий поток представляет собой совокупность M потоков различных типов с интенсивностями λ_i , $i = \overline{1, M}$, то его можно характеризовать суммарной интенсивностью

$$\lambda = \sum_{i=1}^M \lambda_i$$

К параметрам входящего потока причислим также допустимое время пребывания $\tau_{\text{доп}}$ заявки в системе массового обслуживания, рассматривая его как свойство заявки. По истечении времени пребывания, попавшая в систему заявка покидает её, не дожидаясь назначения на обслуживание или даже прерывая начатое обслуживание.

Параметры структуры СМО.

Каждая система массового обслуживания обладает определённой структурой, характеризующейся совокупностью параметров. По составу СМО можно разделить на СМО с одним каналом обслуживания (одноканальные СМО) и с m каналами обслуживания (многоканальные СМО). В свою очередь, многоканальные СМО могут содержать одинаковые и различные по своей производительности каналы обслуживания.

Производительность канала обслуживания обратно пропорциональна длительности обслуживания. Эта случайная величина с функцией распределения $F(\tau)$, плотностью распределения $f(\tau)$ и математическим ожиданием $\tau_{об}$.

Типы заявок различаются законами распределения. При этом принимается допущение о независимости длительности обслуживания для различных заявок одного типа, вполне корректное для большинства систем. Наряду с математическим ожиданием длительности обслуживания используется понятие интенсивности потока обслуживания - величина, характеризующая количество заявок, которое может быть обслужено в единицу времени постоянно загруженным каналом.

Важная компонента структуры СМО - очередь, параметром которой является число мест n . В приоритетных системах общая очередь может быть разделена на несколько очередей по числу различаемых приоритетов, для каждой из которых должно быть указано число мест n_i , $i = \overline{1, N}$. Ограничение на число мест может задаваться на всю совокупность очередей. При неограниченном числе мест в очереди (бесконечная очередь) отсутствуют потери заявок за счёт отказов и выталкиваний.

Закон управления процессами в СМО можно представить совокупностью двух дисциплин: дисциплины ожидания и дисциплины обслуживания. В беспriorитетных дисциплинах заявки какого-либо типа не имеют преимуществ перед заявками других типов при постановке в очередь или назначении на обслуживание. Если по каким-либо причинам заявки некоторых типов должны обслуживаться СМО быстрее, то они получают преимущество перед заявками других типов, называемое приоритетом. Приоритеты заявок характеризуются положительными числами 1, 2, 3, ..., причём более высокому приоритету соответствует меньшее число. Дисциплины ожидания и обслуживания, учитывающие приоритеты, называются приоритетными.

Дисциплина ожидания определяет правила управления очередью, возникающей в том случае, когда каналы обслуживания не справляются с потоком заявок.

Дисциплина обслуживания определяет правила выбора заявки из очереди при назначении на обслуживание. При беспriorитетной

дисциплине обслуживания заявки различных типов не имеют привилегий перед заявками других типов на досрочное обслуживание. В приоритетных дисциплинах обслуживания заявкам некоторых типов предоставляется преимущественное право на обслуживание перед заявками других типов, называемое приоритетом. Различают относительные, абсолютные и смешанные приоритеты.

Относительные приоритеты учитываются только в момент назначения заявки на обслуживание. При освобождении канала обслуживания сравниваются приоритеты заявок, находящихся в очереди в состоянии ожидания, и обслуживание предоставляется заявке с наибольшим приоритетом.

Абсолютные приоритеты предполагают прерывание обслуживания низкоприоритетной заявки в момент поступления в СМО заявки с более высоким приоритетом, прерванная заявка ставится в начало либо общей очереди, либо очереди заявок соответствующего приоритета. Обслуживание прерванных заявок может производиться либо от начала (повторное обслуживание), либо от момента прерывания (дообслуживание).

Смешанные приоритеты предполагают сочетание рассмотренных видов приоритетов, причём для отдельных заявок может быть использовано бесприоритетное обслуживание.

Характеристики СМО могут быть разделены на две группы. Характеристики первой группы используются при рассмотрении СМО как элемента более сложной структуры, например, сети массового обслуживания. Характеристики второй группы позволяют оценить способность конкретной СМО к выполнению возложенных на неё функций и называются показателями эффективности.

Важными характеристиками первой группы являются характеристики выходящего потока заявок. Выходящий поток заявок в общем случае распадается на поток обслуженных и поток потерянных заявок, каждый из которых характеризуется законом распределения длительности между соседними заявками. Если входящий поток содержит заявки M типов с интенсивностями λ_i потока заявок типов i , $i = \overline{1, M}$, то выходящий поток можно характеризовать суммарной интенсивностью потока обслуженных заявок и суммарной интенсивностью потока потерянных заявок соответственно

$$\lambda_{об} = \sum_{i=1}^M \lambda_{об}, \lambda_{ni} = \sum_{i=1}^M \lambda_{ni},$$

где $\lambda_{об}$ - интенсивность потока обслуженных заявок типа i ;

λ_{ni} - интенсивность потока потерянных заявок типа i . Очевидно, что

$$\lambda_{об} + \lambda_{ni} = \lambda.$$

Под показателем эффективности понимается количественный показатель, частично характеризующий уровень выполнения системой массового обслуживания возложенных на неё функций. На основании показателей эффективности можно построить некоторый критерий эффективности, совокупно характеризующий эффективность СМО при ограничениях на её параметры. Эффективность СМО можно характеризовать большим числом различных показателей эффективности. Рассмотрим наиболее употребительные из них.

Вероятность обслуживания $p_{об}$ - это вероятность того, что произвольно выбранная из входящего потока с интенсивностью λ заявка будет обслужена, то есть окажется в потоке обслуженных заявок с интенсивностью $\lambda_{об}$:

$$p_{об} = \frac{\lambda_{об}}{\lambda}.$$

Иногда вероятность обслуживания называют относительной пропускной способностью.

Вероятность потери p_n - это вероятность того, что произвольно выбранная из входящего потока с интенсивностью λ заявка окажется в потоке потерянных заявок с интенсивностью λ_n :

$$p_n = \frac{\lambda_n}{\lambda} = \frac{\lambda - \lambda_{об}}{\lambda} = 1 - \frac{\lambda_{об}}{\lambda} = 1 - p_{об}.$$

Среднее время ожидания $\overline{t_{ож}}$ заявки (среднее время пребывания заявки в очереди) - математическое ожидание времени ожидания; время ожидания $t_{ож}$ заявки - случайная величина, равная сумме дли-

тельностью интервалов времени, в течение которых заявка находится в очереди, начиная с момента появления заявки на входе СМО и кончая моментом, когда она последний раз покидает очередь по причине назначения на обслуживание, ухода из очереди (в случае нетерпеливых заявок) либо выталкивания низкоприоритетной заявки высокоприоритетной заявкой для некоторых приоритетных дисциплин ожидания.

Среднее время пребывания заявки в СМО \bar{t}_c – математическое ожидание времени пребывания заявки в СМО, равное промежутку времени от момента поступления заявки на вход СМО до момента появления её в выходном потоке и связанное с длительностью процессов ожидания $t_{ож}$ и обслуживания $t_{об}$. Среднее время пребывания заявки в СМО равно сумме среднего времени ожидания (пребывания в очереди) и среднего времени обслуживания (пребывания в канале обслуживания)

$$\bar{t}_c = \bar{t}_{ож} + \bar{t}_{об} .$$

Критерием эффективности СМО является некоторая функция показателей эффективности, которая служит для совокупной оценки приспособленности СМО к выполнению возложенных на неё функций. Выбор того или иного критерия эффективности зависит от назначения СМО, условий её функционирования. Рассмотрим примеры критериев эффективности, применимых к вычислительным системам, работающим в режиме реального времени.

Пусть заявка обесценивается пропорционально её задержке в СМО, то есть время пребывания заявки в СМО (иногда учитывают лишь время ожидания в очереди). Тогда эффективность E СМО равна

$$E = \sum_{i=1}^M e_{ci} \bar{t}_{ci} ,$$

где e_{ci} - штраф за единицу времени пребывания заявки i -го типа в СМО;

\bar{t}_{ci} - среднее время пребывания в СМО заявок.

Штрафу может подвергаться потеря заявки системой, иногда отдельно штрафуют потери за счёт отказов, выталкиваний и уходов. Возможен функционал вида

$$E' = \sum_{i=1}^M \left[e_{отки} p_{отки} \lambda_i + e_{ви} p_{ви} \lambda + e_{yi} p_{yi} \lambda_i \right],$$

где $e_{отки}$ - штраф за отказ СМО принять заявку i -го типа;

$e_{ви}$ - штраф за выталкивание из очереди заявки;

e_{yi} - штраф за уход из СМО нетерпеливой заявки;

$p_{отки}$, $p_{ви}$, p_{yi} - вероятности соответственно отказа, выталкивания и ухода заявки i -го типа;

λ_i - интенсивность входящего потока заявок i -го типа.

Критерии эффективности рассмотренных типов могут, в свою очередь, объединяться в новые, более сложные критерии эффективности. Как характеристики, так и критерии эффективности СМО могут рассматриваться в одном из двух режимов работы СМО. Первый из режимов, называемый переходным, соответствует начальному этапу функционирования СМО. Начальными условиями для него являются отсутствие очереди и свободные от обслуживания каналы обслуживания. Режим, следующий за переходным, называется установившимся (следует отметить, что установившийся режим в СМО возможен не всегда); поведение системы в этом режиме характеризуется обычно средними значениями характеристик, отражающими устойчивые свойства СМО.

Моделирование вычислительных процессов и алгоритмов обслуживания вычислительных задач

Процесс обработки данных в информационной технологии преследует определенную цель - решение с помощью ЭВМ вычислительных задач, отображающих функциональные задачи той системы, в которой ведется управление. Для реализации этой цели должны существовать модели обработки данных, соответствующие алгоритмы управления и воплощенные в машинных программах.

При организации и планировании процесса обработки данных в ВС возможны различные методы организации и обслуживания очере-

дей заданий. При этом преследуется цель получения лучших значений таких показателей, как производительность, загруженность ресурсов, малое время простоя, высокая пропускная способность, разумное время ожидания в очереди заданий.

При организации обслуживания вычислительных задач на логическом уровне создается модель задачи обслуживания, которая может иметь как прямой, так и оптимизационный характер. При постановке прямой задачи данными являются параметры ВС, а решением - показатели эффективности организации вычислительных процессов (ОВП). При постановке оптимизационной задачи задаются требуемые показатели эффективности ОВП и требуется определить параметры ВС.

В ВС моменты появления заданий являются случайными и случайным является момент окончания вычислительной обработки. Поэтому при моделировании пользуются статистическими данными о среднем количестве поступающих заявок в единицу времени на обработку в ВС, а также о среднем времени решения одной задачи. Эти данные позволяют рассматривать процедуру организации ВП с помощью теории систем массового обслуживания [40]. ОВП можно представить схемой, приведенной на рис. 5.6.

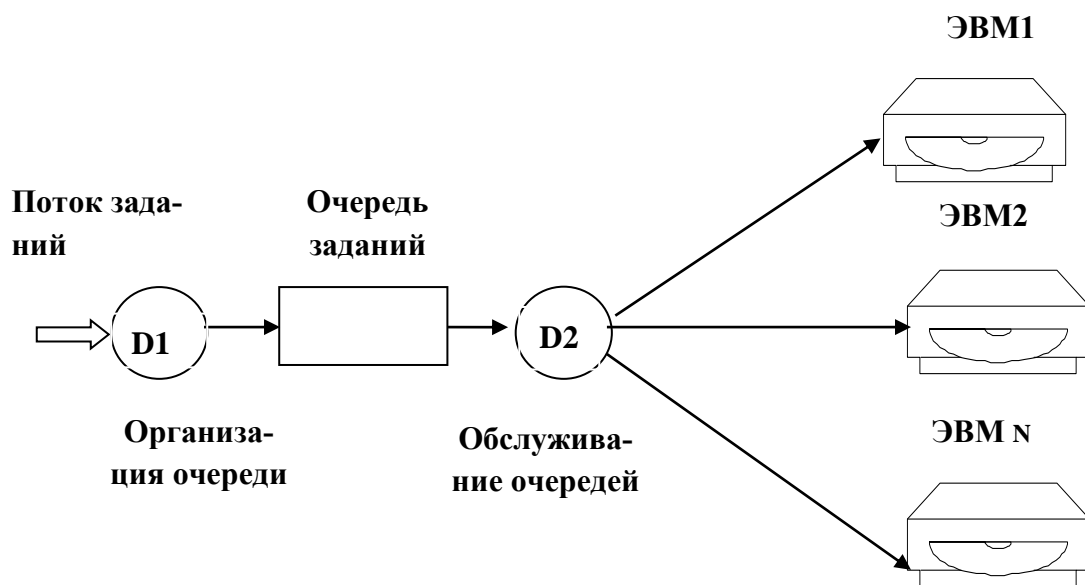


Рис. 5.6. Организация обслуживания заданий в многомашиной ВС

Такая схема может быть охарактеризована как система с дискретными состояниями и непрерывным временем. Под дискретным состоянием понимается то, что в любой момент времени система может находиться только в одном состоянии. Число состояний ограничено. Под непрерывным временем подразумевают, что границы перехода из одного состояния в другое не фиксированы. Состояние системы характеризуется числом заданий в очереди плюс число заданий, обрабатываемых ЭВМ. Очередь уменьшается, когда ЭВМ заканчивает обработку задания. Число заданий в системе растет благодаря потоку заданий.

Поток заданий характеризуется интенсивностью λ - средним количеством заданий, поступающим в единицу времени. Среднее время обслуживания одного задания ЭВМ определяет интенсивность потока обслуживания μ :

$$\mu = 1/t_{\text{обсл}} ,$$

где $t_{\text{обсл}}$ - среднее время обработки одного задания.

Рассмотрим модель обслуживания вычислительных заданий (рис. 5.6) введя следующие предположения:

- в системе протекают Марковские случайные процессы;
- потоки событий (появление заданий, окончание их обработки) являются простейшими;
- число заданий в очереди не ограничено, но конечно.

Случайный процесс, протекающий в системе, называется Марковским. Простейший поток событий характеризуется стационарностью (независимость параметров во времени), ординарностью (события в потоке появляются поодиночке) и «безпоследствием» (появляющиеся события не зависят друг от друга).

Обозначим состояния рассматриваемой системы:

- S_0 - в системе нет заданий;
- S_1 - в системе одно задание и оно обрабатывается на ЭВМ1;
- S_n - в системе n заданий и они обрабатываются на ЭВМ1, ЭВМ2,..ЭВМ n ;

S_{n+1} - в системе $(n+1)$ задание, n заданий обрабатываются на ЭВМ и одно задание стоит в очереди;

....

S_{n+m} - в системе $(n+m)$ заданий, n заданий обрабатываются на ЭВМ и m заданий стоят в очереди.

Рост числа заявок в системе происходит под воздействием их потока с интенсивностью λ , а уменьшение - под воздействием потока обслуживания с интенсивностью μ . Размеченный граф состояний системы приведен на рис. 5.7.

Увеличение числа одновременно работающих машин приводит к росту интенсивности обслуживания от μ до $n\mu$. Дальнейший рост числа заявок переводит систему в состояние $n+1, n+2, ..n+m$, а интенсивность потока обслуживания будет оставаться неизменной, равной $n\mu$.

При исследовании такой вероятностной системы важно знать значение вероятностей состояний, с помощью которых можно вычислить показатели эффективности, такие, как количество заданий в системе, время ожидания обработки, пропускная способность и др.

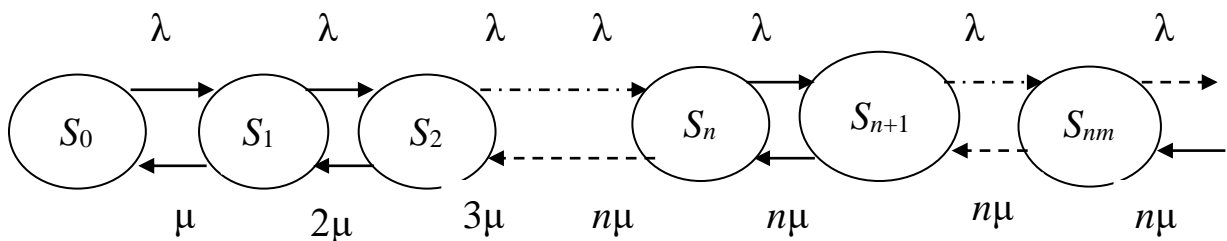


Рис. 5.7. Граф состояний многоканальной системы обслуживания с неограниченной очередью

Дискретная система в любой момент времени может находиться только в одном состоянии, поэтому

$$\sum_{i=1}^k P_i(t) = 1,$$

где k - число возможных состояний системы.

В процессе работы реальные вычислительные системы быстро достигают установившегося режима. Тогда вероятности состояний не будут зависеть от времени. Для вычисления финальных вероятностей используют систему дифференциальных уравнений Колмогорова, которые превращаются в систему алгебраических уравнений. На основе графа (рис. 5.7) может быть записана следующая система алгебраических уравнений [40]:

$$\begin{aligned} \lambda P_0 &= \mu P_1; \\ (1\mu + \lambda)P_1 &= \lambda P_0 + 2\mu P_2; \\ (2\mu + \lambda)P_2 &= \lambda P_1 + 3\mu P_3; \\ &\dots\dots\dots \\ (n\mu + \lambda)P_n &= \lambda P_{n-1} + n\mu P_{n+1}; \\ (n\mu + \lambda)P_{n+1} &= \lambda P_n + n\mu P_{n+2}; \\ &\dots\dots\dots \\ (n\mu + \lambda)P_{n+j} &= \lambda P_{n+j-1} + n\mu P_{n+j+1}; \quad j \geq 1. \end{aligned}$$

Финальные вероятности состояний системы в результате решения системы уравнений описываются следующими уравнениями:

$$\begin{aligned} P_0 &= \left(1 + \sum_{i=1}^n \frac{\rho^i}{i!} + \frac{\rho^{n+1}}{n!(n-\rho)} \right)^{-1}, \\ P_i &= \frac{\rho^i}{i!} P_0, \quad i = 1, 2, \dots, n, \\ P_{n+j} &= \frac{\rho^{n+j}}{n! n!} P_0, \end{aligned}$$

где P_0 - вероятность состояния S_0 , при котором в системе заявок нет;
 $\rho = \lambda/\mu$ - параметр системы, показывающий, сколько в среднем заявок приходит в систему за время обслуживания заявки одной ЭВМ (одним каналом обслуживания);
 P_i - вероятность состояния системы S_i , $i = 1, 2, \dots, n$;
 P_n - вероятность того, что все ЭВМ заняты обслуживанием заявок;

P_{n+j} - вероятность того, что все ЭВМ системы заняты обработкой заданий и j заявок стоят в очереди.

Приведенные формулы имеют смысл тогда, когда очередь конечна, т.е. $\rho/n < 1$ или $\lambda/n\mu < 1$.

Это выражение говорит о том, что в среднем число заданий, приходящих в вычислительную систему в единицу времени, должно быть, меньше числа обрабатываемых заданий в единицу времени всеми ЭВМ системы. При $\rho/n > 1$ очередь растет до бесконечности и такая система не справится с потоком заданий. Тут появляются задания, ожидающие обработки вечно.

Основными показателями эффективности работы системы являются:

- среднее число занятых каналов (ЭВМ)

$$\bar{k} = \frac{\lambda}{\mu} = \rho,$$

- среднее число заданий в очереди

$$L_{\text{оч}} = \frac{\rho^{n+1} P_0}{n n! (1 - \rho/n)^2},$$

- среднее число заданий в системе

$$L_{\text{сист}} = L_{\text{оч}} + \bar{k},$$

- среднее время пребывания задания в системе

$$W_{\text{ист}} = \frac{L_{\text{сист}}}{\lambda},$$

- среднее время пребывания задания в очереди

$$W_{\text{оч}} = \frac{L_{\text{оч}}}{\lambda}.$$

Для уменьшения времени пребывания задания в системе, а значит, и в очереди, требуется при заданной интенсивности потока заявок либо увеличивать число обслуживающих ЭВМ, либо уменьшить время обслуживания каждой ЭВМ, либо и то и другое вместе.

С помощью теории массового обслуживания можно получить аналитические выражения и при других дисциплинах обслуживания очереди и конфигурациях вычислительной системы.

При немарковских процессах в системе и не простейших потоках аналитические выражения получить трудно. В таких случаях моделирование проводят с помощью метода статистических испытаний (метод Монте-Карло), который позволяет создать алгоритмическую модель, включающую элементы случайности. Путем многократного запуска модели получают статистические данные, обработка которых дает значения финальных вероятностей состояний.

Контрольные задания

1. Общие сведения о теории массового обслуживания. Предмет теории массового обслуживания.
2. Параметры и характеристики систем массового обслуживания.
3. Моделирование систем массового обслуживания (СМО).
4. Показатели эффективности систем массового обслуживания.
5. Критерии эффективности систем массового обслуживания.
6. Моделирование вычислительных процессов и алгоритмов обслуживания вычислительных задач
7. Организация вычислительного процесса.
8. Граф состояний многоканальной системы обслуживания с неограниченной очередью.
9. Финальные вероятности системы обслуживания. Система алгебраических уравнений Колмогорова.
10. Основные показатели эффективности работы системы массового обслуживания.

5.4. Разработка математической модели для определения состава программно-технических ресурсов системы

Определение нагрузки на систему процессами верхнего уровня

Система $R/3$ включает в себя множество функциональных модулей, используемых для ведения различных типов функциональных задач [41].

Обозначим через Φ множество всех функциональных модулей системы. Обозначим через k мощность модуля, под которым будем понимать количество пользователей, работающих в модуле k :

$$\Phi_k \rightarrow \mu_{\Phi_k}, \Phi_k \in \Phi.$$

Мощностью всей системы будем называть количество пользователей, работающих во всех модулях, т.е. в системе в целом:

$$M = \sum \mu_{\Phi_k}.$$

При установившемся режиме, как правило, не все пользователи непрерывно работают в системе. Пользователи, работающие в данный момент в системе, называются активными пользователями, их число составляет около 65% от общего числа.

Обозначим через F множество всех логических (функциональных) процессов, прохождение которых возможно в системе (финансы, планирование персонала и т.д.):

$$F = \cup F_{\Phi_k}.$$

Шагом диалога будем называть такой временной период, в течение которого система отвечает на запрос пользователя.

Мощностью множества функциональных процессов F назовем число диалоговых шагов Δ , произведенных при прохождении данных функциональных процессов.

В зависимости от принадлежности процессов определенной сфере задач требуется различное количество программно-технических ресурсов. Так, для модуля материально-технического снабжения требуется гораздо большее одновременно доступное количество таблиц с данными и производится большее количество операций с ними в единицу времени, чем для модуля финансы. Это приводит к неравномерной нагрузке на систему функциональными процессами разного типа прикладных задач. Для измерения общей нагрузки на систему удобно приводить нагрузку, создаваемую каждым типом функционального процесса, к одному типу функциональных процессов, например, модулю финансы F_i . и использовать коэффициенты нормализации η_i .

Нормализующий коэффициент модуля i вычисляется по формуле

$$\eta_i = \Delta_i / \Delta_{Fi}, \quad i \in \Phi.$$

В дальнейшем измерения рационально проводить для этого конкретного модуля, рассчитывая нагрузку для других используя полученные коэффициенты η_i .

Нагрузка на систему, вызываемая прохождением функциональных процессов модуля i будет равной

$$\Delta_i = \eta_i \cdot \Delta_{Fi}, \quad i \in \Phi.$$

Тогда нагрузка на систему, вызываемая прохождением функциональных процессов всех модулей равна

$$\Delta = \sum (\eta_i \cdot \Delta_{Fi}), \quad i \in \Phi.$$

В работающей системе могут быть запущены фоновые задания, отчеты и т.д. Эти работы увеличивают нагрузку. Обычно нагрузка выполнения фоновых задач Δ_B составляет 10%, а выполнения отчетов

Δ_R и др. - 7% от нагрузки на систему, вызываемой прохождением функциональных процессов всех модулей

$$\Delta_{ALL} = \Delta + \Delta_B + \Delta_R .$$

Состав программно-технических ресурсов системы

Для расчета состава программно-технических ресурсов (ПТР) необходимо располагать информацией о каждой компоненте структуры корпоративной ИС. Каждую ИС можно разделить на три сферы задач: представление данных, логику приложений и хранение данных. Согласно методологии клиент/сервер при использовании распределенной обработки данных компоненты распределяются на трех уровнях иерархии вычислительной системы.

Компонентами сервера баз данных являются:

- 1) корпус с установленным в нем материнской платой, необходимыми адаптерами и устройствами; внутренним несъемным диском для установки ОС и места для ВЗУО - называемой машиной;
- 2) отсек для процессорных плат ЦП (до 8-и плат), каждая плата состоит из нескольких процессоров;
- 3) отсек для плат ОЗУ (до 10-и плат ОЗУ);
- 4) отсек для внутренних дисков ВЗУ от 4,5 до 18,2 гигабайт.

Сетевые адаптеры выбираются в зависимости от типа сети, адаптеры SSA - при установке внешнего дискового массива, адаптеры УА - при установке устройств архивирования.

Компонентами сервера приложений являются:

- 1) корпус с установленным в нем материнской платой, необходимыми адаптерами и устройствами; внутренним несъемным диском для установки ОС и места для ВЗУО - называемой машиной;
- 2) отсек для процессорных плат ЦП (до 8-и плат), каждая плата состоит из нескольких процессоров;
- 3) отсек для плат ОЗУ (до 10-и плат ОЗУ);
- 4) отсек для внутренних дисков ВЗУ от 4,5 до 36,4 гигабайт.

Сетевые адаптеры выбираются в зависимости от типа сети. Остальные компоненты системы - сеть, ВЗУ, УА, рабочие станции

В состав сетевого оборудования входят сетевые адаптеры для серверов БД, приложений и рабочих станций, кабели и дополнительное сетевое устройство

Функции ВЗУ может выполнять как набор внутренних дисков сервера БД, так и отдельные дисковые массивы, подключаемые к серверу БД через адаптер SSA.

Устройство архивирования создано на оптической библиотеке, подключаемой к серверу БД через адаптер *SCSI Differential*. Объем библиотеки от 18 гигабайт до 1 терабайт и более данных.

Рабочие станции - персональные компьютеры на базе *Intel/Pentium* процессора, ОЗУ - 32 Мб, ВЗУ- 2 Гб, ОС - *Windows NT* и установленным клиентским обеспечением R/3.

Составление конфигурационных и ценовых таблиц на устройства системы

Для определения оптимального состава программно-технических ресурсов системы составляются конфигурационные и ценовые таблицы типов машин, типов ВЗУ, типов сетей, устройств архивирования и типов рабочих станций.

Для примера рассмотрим составление конфигурационных и ценовых таблиц для машин. Конфигурационная таблица машин имеет вид (табл. 5.1).

Таблица 5.1. Типы машин

Код машины	Тип машины	Макс. колич. ПрП	Макс. колич. Плат памяти	Мощность одной ПрП (центр)	Мощность одной ПрП (БД)	Мощность одной ПрП (прил.)	Объем одной платы памяти
Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2	Ψ_3	Ψ_4^{CL}	Ψ_4^{DB}	Ψ_4^{AP}	Ψ_5
001	$\Psi_1(001)$	*	*	$\Psi_4^{CL}(001)$	*	*	$\Psi_5(001)$
002	*						*
*	*						*
π_m	$\Psi_1(\pi_m)$						$\Psi_5(\pi_m)$

Тип машины однозначно определяет тип процессора, тип плат оперативной памяти, устанавливаемой в ней. Тип процессора однозначно определяет производительность процессора, а тип платы - объем данной платы. Каждая машина в таблице, входящие в нее компоненты и характеристики, кодируются.

Обозначим через $\psi_1(i)$ функцию, областью определения которой является множество ψ_0 , т.е. функцию, заданную на множестве целых чисел, ставящую в соответствие коду машины - ее тип

Обозначим множество всех типов машин как

$$\Psi_1 = \{\psi_1(i_1), \psi_1(i_2), \dots, \psi_1(i_{\text{пм}})\}, \quad i_k \in \psi_0,$$

$$\Psi_1(i): \psi_0 \rightarrow \Psi_1.$$

Отображение, обратное функции $\Psi_1(i)$, также является функцией, т.к. для каждого j из области значений $\Psi_1(i)$ найдется и будет единственным такое i , что $\Psi_1(i) = j$:

$$\forall j \in \Psi_1 \exists ! i: \Psi_1(i) = j,$$

$$\Psi_1^{-1}(j): \Psi_1 \rightarrow \psi_0.$$

Функции $\psi_1(i)$ и $\psi_1^{-1}(j)$ устанавливают взаимно однозначное соответствие между типом машины и кодом машины. Тип машины определяет максимальное количество процессорных плат и плат оперативной памяти, устанавливаемых в ней.

По аналогии функции обозначают:

$\Psi_2(i)$ - максимальное количество процессорных плат, устанавливаемых в машине;

$\Psi_3(i)$ - максимальное количество плат оперативной памяти;

$\Psi_4(i)$ - мощность одной процессорной платы.

Индекс надстрочный обозначает: CL - сервер является централизованным, DB - система является распределенной, AP - система является распределенной, и машина используется как сервер приложений;

$\Psi_5(i)$ - объем одной платы оперативной памяти, устанавливаемой в машину.

Стоимость оборудования (машины, процессорных плат и оперативной памяти) удобно представить в виде таблицы цен (табл. 5.2).

Таблица 5.2. Цена машины и комплектующих элементов системы

Код машины	Стоимость машины	Стоимость одной процессорной платы	Стоимость одной платы оперативной памяти
Ψ_0	A_1	A_2	A_3
001	$A_1(001)$	$A_2(001)$	$A_3(001)$
*	*	*	*
π_m	$A_1(\pi_m)$	$A_2(\pi_m)$	$A_3(\pi_m)$

Здесь через $A_1(i)$ обозначена функция, областью определения которой является множество Ψ_0 , областью значений является подмножество целых чисел, ставящую в соответствие коду машины - стоимость данной машины A_1 , стоимость процессорной платы A_2 и стоимость платы оперативной памяти A_3 :

$$A_1(i): \Psi_0 \rightarrow A_1,$$

где $A_1\{A_1(i_1), A_1(i_2), \dots, A_1(i_{\pi_m})\}$, $i_k \in \Psi_0$.

Данная таблица взаимно однозначно связана с конфигурационной таблицей (см. табл. 5.1) по столбцу кода машины.

Аналогичную структуру имеют таблицы для других компонент системы, устанавливающие взаимосвязь между конфигурацией и ценой.

Определение необходимой мощности процессорных плат, объема плат оперативной памяти, объема ВЗУ, объема устройств архивирования, типа устройств сети и типа рабочих станций

Типы серверов баз данных и приложений должны быть таковыми, что код сервера, определяемый по типу, должен принадлежать

множеству кодов машин (см. табл. 5.1). Это условие записывается формулами:

$$\begin{aligned}\acute{\epsilon}_1 &= \psi_1^{-1}(\acute{\epsilon}_1) \in \psi_0, \\ \acute{\epsilon}_2 &= \psi_1^{-1}(\acute{\epsilon}_2) \in \psi_0.\end{aligned}$$

Пусть Θ - максимальное допустимое количество серверов приложений ($\acute{\epsilon}_3$) в системе, тогда

$$\acute{\epsilon}_3 \in (0, 1, 2, ..\Theta).$$

Если $\acute{\epsilon}_3 = 0$, то система является централизованной. При $\acute{\epsilon}_3 > 0$ система является распределенной.

Количество процессорных плат сервера баз данных ($\acute{\epsilon}_4$) и каждого сервера приложений ($\acute{\epsilon}_5$) должны соответствовать допустимому числу процессорных плат для данного кода и соответственно типа машин. Эта зависимость устанавливается по таблице 5.1. Код машины можно получить по типу, используя обратную функцию $\psi_1^{-1}(\acute{\epsilon}_i)$. Это условие выражается формулами:

$$\begin{aligned}\acute{\epsilon}_4 &\in (0, 1, 2, ..\psi_2(\psi_1^{-1}(\acute{\epsilon}_1))) , \\ \acute{\epsilon}_5 &\in (0, 1, 2, ..\psi_2(\psi_1^{-1}(\acute{\epsilon}_2))) .\end{aligned}$$

В распределенной системе (*DB*) вся нагрузка распределяется между серверами баз данных и серверами приложений. Суммарная мощность процессорных плат серверов баз данных должна быть не меньше нагрузки, создаваемой системой на сервер баз данных с учетом коэффициента запаса $\alpha > 0$. Используя функцию $\psi_1^{DB}(i)$ конфигурационной таблицы 5.1, ставящую в соответствие типу машины ее код, получим

$$\Delta_{ALL} \leq (1+\alpha)(\acute{\epsilon}_4 \psi_4^{DB}(\psi_1^{-1}(\acute{\epsilon}_1))).$$

Суммарная мощность процессорных плат всех серверов приложений должна быть не меньше нагрузки, создаваемой системой на серверы приложений с учетом коэффициентов запаса $\alpha > 0$. Поскольку серверы приложений являются гомогенными, т.е. взаимозаменяемыми и одинаковыми по составу компонент, то количество процессорных плат в них одинаково. Используя функцию $\psi_1^{AP}(i)$ конфигурационной таблицы 5.1, ставящую в соответствие коду машины - мощность одной процессорной платы, устанавливаемой в машине, если система является распределенной, и машина используется как сервер приложений, и функцию $\psi_1^{-1}(\acute{e}_i)$, ставящую в соответствие типу машины ее код, получим

$$\Delta_{ALL} \leq (1+\alpha)(\acute{e}_3 \acute{e}_5 \psi_4^{AP}(\psi_1^{-1}(\acute{e}_2))).$$

Определение необходимого объема плат оперативной памяти

Количество плат оперативной памяти сервера базы данных (\acute{e}_6) и каждого сервера приложений (\acute{e}_7) должны соответствовать допустимому числу плат оперативной памяти для данного кода и соответственно, типа машины. Эта зависимость устанавливается при помощи функции $\Psi_3(i)$ из таблицы 5.1. Код машины можно получить по типу, используя обратную функцию $\psi_1^{-1}(\acute{e}_i)$. Это условие записывается формулами:

$$\acute{e}_6 \in (0, 1, 2, ..\psi_3(\psi_1^{-1}(\acute{e}_1))),$$

$$\acute{e}_7 \in (0, 1, 2, ..\psi_3(\psi_1^{-1}(\acute{e}_2))).$$

Рабочие процессы системы требуют наличие достаточного объема оперативной памяти. При этом каждый тип рабочих процессов характеризуется своим набором требований (табл. 5.3)

Таблица 5.3. Рабочие процессы и требуемый объем оперативной памяти

Рабочий процесс	Объем оперативной памяти и код	Место размещения: СБД - сервер баз данных; СП - сервер приложений
Ядро операционной системы <i>AIX</i>	χ_{KA}	СБД, на каждом СП
Ядро СУБД <i>Oracle</i>	χ_{KO}	СБД
Ядро АСУП <i>R/3</i>	χ_{KS}	На каждом СП
Буферная область СУБД <i>Oracle</i>	χ_{BO}	СБД
Буферная область АСУП <i>R/3</i>	χ_{BS}	На каждом СП
Размещение и функционирование процесса СУБД <i>Oracle</i>	χ_O	СБД
Размещение и функционирование диалогового рабочего процесса <i>R/3</i>	χ_D	На каждом СП
Размещение и функционирование рабочего процесса блокировки	χ_E	На каждом СП
Размещение и функционирование диспетчера инстанции <i>R/3</i>	χ_I	На каждом СП
Размещение и функционирование фонового рабочего процесса <i>R/3</i>	χ_J	На каждом СП
Размещение и функционирование спул процесса <i>R/3</i>	χ_S	На каждом СП
Размещение и функционирование рабочего процесса обновления	χ_U	На каждом СП

Объем оперативной памяти для ядра операционной системы, СУБД *Oracle*, и *R/3* зависит только от версии этих программных продуктов и не является переменной величиной, зависящей от нагрузки на систему.

Для хранения различных типов данных на сервере приложений используется область памяти, называемая буферной областью. Буферная область состоит из области контекста пользователя, области для хранения выполняемых программ *AVAP/4*, области свертки/развертки, пула таблиц и производственного календаря. Области оперативной памяти для размещения буферов системы *R/3* и СУБД *Oracle* зависят от нагрузки на систему, т.е. от распределения пользователей *R/3*.

Остальные объемы $\chi_O, \chi_D, \chi_E, \chi_I, \chi_J, \chi_S, \chi_U$ выделяются под каждый рабочий процесс *Oracle* или *R/3* и суммарный объем памяти, необходимый для функционирования всех процессов, зависит от количества данных процессов.

В распределенной системе вся нагрузка распределяется между серверами базы данных и серверами приложений. На сервере БД расположена СУБД, на сервере приложений - инстанция *R/3*.

Суммарный объем плат оперативной памяти сервера базы данных должен быть не меньше суммарной потребности в оперативной памяти как операционной системы *AIX*, так и СУБД *Oracle*, с учетом коэффициента запаса $\beta > 0$.

Потребностью в оперативной памяти ОС *AIX* является объем для ядра *AIX*. Потребность в оперативной памяти СУБД *Oracle* складывается из ядра, буферов *Oracle* и процессов *Oracle*.

Суммарная потребность в оперативной памяти сервера БД в распределенной системе будет

$$X_{DB} = \chi_{KA} + \chi_{KO} + \chi_{VO} + \chi_O^{DB*}.$$

Используя функцию $\psi_5(i)$ конфигурационной таблицы 5.1, ставящую в соответствие коду машины - объем одной платы оперативной памяти, устанавливаемой в ней, и функцию $\psi_1^{-1}(\acute{e}_i)$, ставящую в соответствие типу машины ее код, получаем объем оперативной памяти для сервера БД в распределенной системе

$$X_{DB} \leq (1 + \beta)(\acute{e}_6 \psi_5(\psi_1^{-1}(\acute{e}_1))).$$

Суммарный объем плат оперативной памяти сервера приложений должен быть не меньше суммарной потребности в оперативной памяти как операционной системы $AI\bar{X}$, так и АСУП $R/3$, с учетом коэффициента запаса $\beta > 0$. Важно заметить, что серверы приложений являются гомогенными, т.е. взаимозаменяемыми и одинаковыми по составу компонент, количество плат оперативной памяти в них одинаково. На каждом сервере приложений работает одинаковое число нормализованных пользователей, суммарное количество которых по серверам приложений равно общему числу нормализованных пользователей в системе.

Потребность в оперативной памяти ОС $AI\bar{X}$ является объемом для ядра $AI\bar{X}$. Потребность в оперативной памяти АСУП $R/3$ складывается из ядра $R/3$, буфера $R/3$, и процессов $R/3$.

Суммарная потребность в ОП сервера приложений будет

$$X = \chi_{KA} + \chi_{KS} + \chi_{BS} + \chi_D^{AP*} + \chi_E^{AP*} + \chi_I^{AP*} + \chi_J^{AP*} + \chi_S^{AP*} + \chi_U^{AP*}.$$

Используя функцию $\psi_5(i)$ конфигурационной таблицы, ставящую в соответствие коду машины - объем одной платы оперативной памяти, устанавливаемой в ней, и функцию $\psi_1^{-1}(\acute{e}_i)$, ставящую в соответствие типу машины ее код, получаем объем оперативной памяти для сервера приложений

$$X \leq (1 + \beta) (\acute{e}_7 \psi_5(\psi_1^{-1}(\acute{e}_2))).$$

По вышеописанной методике определяется объем ВЗУ, объем УА, необходимый тип устройств сети и необходимый тип рабочих станций.

Целевая функция стоимости всех устройств, зависящая от количества и типа устройств ИС, записывается выражением:

$$\begin{aligned}
L = & \lambda_1(\psi_1^{-1}(\xi_1)) + \lambda_1(\psi_1^{-1}(\xi_2))\xi_3 + \lambda_1(\psi_1^{-1}(\xi_1))\xi_4 + \lambda_2(\psi_1^{-1}(\xi_2))\xi_3\xi_5 + \\
& + \lambda_3(\psi_1^{-1}(\xi_1))\xi_6 + \lambda_3(\psi_1^{-1}(\xi_2))\xi_3\xi_7 + \lambda_4(\psi_7^{-1}(\xi_8)) + \lambda_5(\psi_7^{-1}(\xi_8))\xi_9 + (M + 1 + \Theta) * \\
& * \lambda_6(\psi_{11}^{-1}(\xi_{10})) + \lambda_7(\psi_{14}^{-1}(\xi_{11})) + \sum \lambda_8(\psi_{17}^{-1}(\xi_{12}^{\Phi_k})) \mu_{\Phi_k}, \\
M = & \sum_{\Phi_k \in \Phi} \mu_{\Phi_k},
\end{aligned}$$

где M - мощность всех пользователей в системе (количество пользователей);

Θ - максимальное допустимое количество серверов приложений в системе;

$\lambda_1(\psi_1^{-1}(\xi_k))$ - стоимость машин типа ζ_k , $k=1,2$;

$\lambda_2(\psi_1^{-1}(\xi_k))$ - стоимость процессорных плат машины типа ζ_k , $k=1,2$;

$\lambda_3(\psi_1^{-1}(\xi_k))$ - стоимость платы оперативной памяти машины типа ζ_k , $k=1,2$;

$\lambda_4(\psi_7^{-1}(\xi_k))$ - стоимость устройства ВЗУ типа ξ_8 ;

$\lambda_5(\psi_7^{-1}(\xi_8))$ - стоимость дисков ВЗУ типа ξ_8 ;

$\lambda_6(\psi_{11}^{-1}(\xi_{10}))$ - стоимость устройств сети типа ξ_{10} ;

$\lambda_7(\psi_{14}^{-1}(\xi_{11}))$ - стоимость УА типа ξ_{11} ;

$\sum \lambda_8(\psi_{17}^{-1}(\xi_{12}^{\Phi_k}))$ - стоимость рабочей станции типа ξ_{12} .

Ищется такое значение переменных ζ_i из областей допустимых значений, при которых целевая функция принимает минимальное значение:

$$L \rightarrow \min.$$

При решении ζ_i должны удовлетворять условию минимальной конфигурации. Сервер баз данных с одним процессором, одной платой памяти, ВЗУ, сеть, УА, а также набор рабочих станций всегда должен присутствовать.

Математическая модель

Ниже приводится краткое описание математической модели системы

$$\Phi_k \rightarrow \mu_{\Phi_k}, \Phi_k \in \Phi.$$

При решении задачи должны обеспечиваться потребности во временных ресурсах:

$$\eta_{\Phi_k} = \frac{\Delta_{\Phi_k}}{\Delta_{\Phi_i}},$$
$$\Delta = \Delta_{Fi} \sum_{\in \Phi} (\eta_{\Phi_k} \mu_{\Phi_k},$$
$$\Delta_{ALL} = \Delta + \Delta_B + \Delta_R,$$

и потребности в ресурсах памяти:

Суммарная потребность в оперативной памяти централизованного сервера

$$X = \chi_{KA} + \chi_{KO} + \chi_{KS} + \chi_{BO} + \chi_{BS} + \chi_o^* + \chi_D^* + \chi_E^* + \chi_I^* + \chi_J^* + \chi_S^* + \chi_U^*,$$

Суммарная потребность в оперативной памяти сервера БД распределенной системы

$$X_{DB} = \chi_{KA} + \chi_{KO} + \chi_{BO} + \chi_o^{DB*},$$

Суммарная потребность в оперативной памяти сервера приложений

$$X_{AP} = \chi_{KA} + \chi_{KS} + \chi_{BS} + \chi_D^{AP*} + \chi_E^{AP} + \chi_I^{AP*} + \chi_J^{AP*} + \chi_S^{AP*} + \chi_U^{AP*}$$

Суммарный объем ВЗУ

$$H = h_{KO} + h_{KS} + h_{UO} M, \quad M = \sum_{\Phi_k \in \Phi} \mu_{\Phi_k},$$

Суммарный объем устройств архивирования

$$A = aH.$$

где a - объем УА в единицах объема ВЗУ, $a \geq 1$.

Переменные величины: ζ_1 - тип сервера базы данных; ζ_2 - тип сервера приложений; ζ_3 - количество серверов приложений; ζ_4 - количество процессорных плат сервера базы данных; ζ_5 - количество серверных плат каждого сервера приложений; ζ_6 - количество плат оперативной памяти сервера базы данных; ζ_7 - количество плат оперативной памяти каждого сервера приложений; ζ_8 - тип ВЗУ; ζ_9 - количество дисков ВЗУ; ζ_{11} - тип УА; ζ_{10} - тип устройств сети; ζ_{12}^i - тип рабочих станций для модуля i , где $i \in \Phi$ (АМ, СО, WM и др.).

Тип серверов и их количество выбираются из области допустимых значений:

$$\begin{aligned}\xi_1 &: \psi_1^{-1}(\xi_1) \in \psi_0, \\ \xi_2 &: \psi_1^{-1}(\xi_2) \in \psi_0, \\ \xi_3 &: (0, 1, 2, \dots, \Theta),\end{aligned}$$

где Θ - максимальное допустимое количество серверов приложений в системе.

$$\begin{aligned}\zeta_4 &\in (1, 2, 3, \dots, \psi_2(\psi_1^{-1}(\zeta_1))); \\ \zeta_5 &\in (1, 2, 3, \dots, \psi_2(\psi_1^{-1}(\zeta_2))); \\ \zeta_6 &\in (1, 2, 3, \dots, \psi_3(\psi_1^{-1}(\zeta_1))); \\ \zeta_7 &\in (1, 2, 3, \dots, \psi_3(\psi_1^{-1}(\zeta_2))); \\ \zeta_8 &: \psi_7^{-1}(\zeta_8) \rightarrow \psi_6; \\ \zeta_9 &\in (1, 2, 3, \dots, \psi_8(\psi_7^{-1}(\zeta_8))); \\ \zeta_{10} &: \psi_{11}^{-1}(\zeta_{10}) \in \psi_{10}; \\ \zeta_{11} &: \psi_{14}^{-1}(\zeta_{11}) \in \psi_{13}; \\ \forall \Phi_k \in \Phi, \xi_{12}^{\Phi_k} &: \psi_{17}^{-1}(\xi_{12}^{\Phi_k}) \in \psi_{16}.\end{aligned}$$

Область ограничений по серверной группе для распределенной системы:

$$\begin{aligned}\Delta_{ALL} &\leq (1 + \alpha)(\xi_4 \psi_4^{DB}(\psi_1^{-1}(\xi_1))), \\ \Delta_{ALL} &\leq (1 + \alpha)(\xi_3 \xi_5 \psi_4^{AP}(\psi_1^{-1}(\xi_2))), \\ X_{DB} &\leq (1 + \beta)(\xi_6 \psi_5(\psi_1^{-1}(\xi_1))), \\ X_{AP} &\leq (1 + \beta)(\xi_7 \psi_5(\psi_1^{-1}(\xi_2))).\end{aligned}$$

Для ВЗУ:

$$H \leq (1 + \gamma)(\xi_9 \psi_9(\psi_6^{-1}(\xi_8)))$$

УА:

$$A \leq (1 + \delta)(\psi_{15}(\psi_{14}^{-1}(\xi_{11}))).$$

Сеть:

$$\Delta_{ALL} \leq (1 + k)(\psi_{12}(\psi_{11}^{-1}(\xi_{10}))).$$

Рабочие станции:

нагрузка для всех функциональных модулей

$$\forall \Phi_k \in \Phi, \quad \Delta_{\Phi_k} \leq (1 + \zeta)(\psi_{18}(\psi_{17}^{-1}(\xi_{12}^{\Phi_k}))),$$

нагрузка для функциональных модулей АМ

$$\Delta_{AM} \leq (1 + \zeta)(\psi_{18}(\psi_{17}^{-1}(\xi_{12}^{AM}))),$$

нагрузка для функциональных модулей СО

$$\Delta_{CD} \leq (1 + \zeta)(\psi_{18}(\psi_{17}^{-1}(\xi_{12}^{CO}))),$$

.....

нагрузка для функциональных модулей WM

$$\Delta_{WM} \leq (1 + \zeta)(\psi_{18}(\psi_{17}^{-1}(\xi_{12}^{WM}))).$$

Блок-схема решения сформулированной задачи приведена на рис. 5.8.



Рис. 5.8. Блок-схема решения задачи расчета ресурсов программно-технического комплекса интегрированной системы управления предприятием на базе системы R/3

Контрольные задания

1. Определение нагрузки на систему $R/3$ процессами верхнего уровня.
2. Состав программно-технических ресурсов системы $R/3$.
3. Составление конфигурационных и ценовых таблиц на устройства системы $R/3$.
4. Определение необходимой мощности процессорных плат, объема плат оперативной памяти, объема ВЗУ, объема устройств архивирования, типа устройств сети и типа рабочих станций системы $R/3$.
5. Определение необходимого объема плат оперативной памяти системы $R/3$.
6. Определение оптимальной конфигурации ПТК системы $R/3$.
7. Математическая модель системы $R/3$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Очевидно, невозможно описать в рамках одного учебного пособия известные методы анализа и синтеза информационных систем, методы моделирования, позволяющие полно изучить информационные системы. Поэтому авторы сделали попытку осветить наиболее принципиальные аспекты системного подхода в исследовании систем – определение системы, виды систем, характеристики сложных систем и классификация систем.

Наиболее конструктивным направлением системных исследований в настоящее время считается системный анализ, занимающийся применением методов и моделей теории систем для практических ее приложений к задачам управления. В пособии методы анализа и синтеза информационных систем рассмотрены на примерах информационно-управляющих систем в зависимости от условий, в которых приводится оценка с учетом различных факторов, влияющих на условия.

Рассмотрены принципы и подходы к построению моделей систем. Примеры моделирования информационных систем дают возможность разобраться в особенностях подходов к системному анализу и синтезу информационных систем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алексеева М. Б., Балан С. Н. Основы теории систем и системного анализа : учеб. пособие. - СПб. : СПбГИЭУ, 2002. - 88 с. ISBN 5-88996-229-X

2. Теория организаций: Учеб. пособие для вузов / Ю. Н. Лапыгин. – М. : ИНФРА-М, 2008. - 311 с. - (Высшее образование). - ISBN 978-5-16-002839-2

3. Системный анализ : учебник / А.В. Антонов. - 4-е изд., перераб. и доп. - М. : ИНФРА-М, 2017. -366с. ISBN 5-06-004862-4. URL: <http://www.znaniyum.com>.

4. Живицкая Е.Н., Едемская О.П. Системный анализ и проектирование информационных систем : учеб.-метод. пособие для студентов специальности «Информационные системы и технологии в экономике». – Минск : БГУИР, 2005. - 59 с. URL: http://victor-safronov.ru/systems_analysis/lectures/zhivickaya/05.html

5. Тестирование по стратегии чёрного ящика. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki>

6. Методы тестирования программного обеспечения и их сравнение. Тестирование методом "черного ящика" и тестирование методом «белого ящика» URL:<http://fb.ru/article/247668/metodyi-testirovaniya-programmnogo-obespecheniya-i-ih-sravnenie-testirovanie-metodom-chernogo-yaschika-i-testirovanie-metodom-belogo-yaschika>

7. Малинин А.С., Мухин В.И. Исследование систем управления : учеб. для вузов. - 2-е изд. - М.: Издательский дом ГУ ВШЭ, 2004. - 400 с. - ISBN 5-7598-0270-4.

8. Макаров Р.И., Хорошева Е.Р. Методология проектирования информационных систем : учеб. пособие / Владим. гос. ун-т. Владимир, -2008. -334 с. ISBN 978-5-89368-817-7.

9. Коротков, Э. М. Исследование систем управления: учебник и практикум для академического бакалавриата / Э. М. Коротков. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Издательство Юрайт, 2015. - 226 с. ISBN 978-5-9916-5802-7.

10. Информационные системы и технологии в экономике и управлении. URL: https://studme.org/171905128785/informatika/sostav_informatsionnyh_sistem

11. Родионов И.Б. Теория систем и системный анализ URL: <http://victor-safronov.ru/systems-analysis/lectures/rodionov/05.html>

12. Методология информационного анализа URL: http://absolution.su/services/information_analysis/methodology_information_analyte/

13. Информационный анализ систем управления. URL: https://life-prog.ru/1_28217_informatsionniy-analiz-sistem-upravleniya.html

14. Кузнецов И.Н. Информация: сбор, защита, анализ Учебник по информационно аналитической работе. - М.: Яуза, 2001. - 97 с. URL: <https://bookap.info/okolopsy/analiz/g113.shtm>

15. Анализ информации – превращение данных в аналитические выводы ИКФ "АЛЪТ", Global Intelligence Alliance Перевод ABBYY Language Services URL: https://www.marketing.spb.ru/lib-research/Intelligence_Process.htm

16. Теория систем и системный анализ в управлении организациями: Справочник [Электронный ресурс] / ред.: В.Н. Волкова, ред.: А.А. Емельянов. - учеб. пособие. - М. : Издательство "Финансы и статистика", 2009. - 848с. - ISBN 978-5-279-02933-4 (Финансы и статистика). - ISBN 978-5-16-003529-1 (ИНФРА-М). - URL: <https://rucont.ru/efd/49520>

17. Исследование систем управления. Морфологический анализ управления URL: <http://kursach37.com/issledovanie-sistem-upravleniya/>

18. Методы морфологического анализа URL: http://studopedia.su/4_28853_metodi-morfologicheskogo-analiza.html

19. Витязев Г. Г. Анализ эффективности внедрения информационной системы на предприятии // Молодой ученый. - 2016. - №10. - С. 643-645. URL: <http://moluch.ru/archive/114/30238/>

20. Ядыков С. Эффективность информационных систем – докопаться до истины. // «Консультант» – 2010, № 5.

21. Анализ эффективности внедрения ИТ: семь раз отмерь... 20.04.2004 Ольга Кляшторная «Экономика и жизнь» №47, 2008 г. URL: <http://www.osp.ru/cio/2004/04/173274/>
22. Татьяна Бронникова. Оценка эффективности внедрения информационной системы управления предприятием. Измеримые цели и контроль их достижения. URL: <http://www.topsbi.ru/default.asp?artID=1573>
23. Костров А.В., Матвеев Д.А. Информационный менеджмент. Оценка эффективности информационных систем: Учеб. пособие/Владимирский государственный университет. – Владимир. 2004. - 116 с.
24. Каплан Р.С., Нортон Д.П. Сбалансированная система показателей. От стратегий к действию. – 3-е изд.- М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2017. - 320 с. ISBN: 978-5-9693-0358-4.
25. Ципес Г. Ключевые показатели деятельности в проектно-ориентированной компании. / Директор ИС, № 5. – 2003.
26. Леденёв Е. Е. BSC и EVA - конкуренты или союзники? / Корпоративный менеджмент. - 2004.
27. Кащеев Р. Balanced Scorecard: новое заклинание или стратегия управления? / Управление компанией, № 9. – 2002.
28. Построение системы стратегического управления компании по Balanced Scorecard (BSC). / Услуги. – ИBS, 2004.
29. Хорват П. Сбалансированная система показателей как средство управления предприятием. / Проблемы теории и практики управления. – 2004. № 4. С. 108 - 113.
30. Мордвинов С.В., Сумина Е.В. Balanced Scorecard как инструмент управления экономической стоимостью лесопромышленных предприятий // Электронный журнал "Исследовано в России", 6, 1325-1334, 2003. URL: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2003/109.pdf>

31. Управление качеством производственных процессов: учебное пособие / В.К. Федюкин. - М.: КНОРУС, 2012. - 232 с. – ISBN 978-5-406-00853-9.

32. Системный анализ в управлении : учеб. пособие / О.В. Булыгина, А.А. Емельянов, Н.З. Емельянова [и др.] ; под ред. д-ра экон. наук, проф. А.А. Емельянова. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2017.-450с. URL: <http://znanium.com/catalog/product/900361>

33. Анфилатов В.С. и др. Системный анализ в управлении : учеб. пособие / В.С. Анфилатов, А.А Емельянов, А.А. Кукушкин ; под ред. А.А. Емельянова. – М. : Финансы и статистика, 2003. - 368 с. – ISBN 5- 279-02435-X.

34. Мамиконов А.Г. Основы построения АСУ. – М.: Высш. шк., 1981. - 248 с.

35. Курносков Ю.В., Конотопов П.Ю. Аналитика: методология, технология и организация информационно-аналитической работы. – М. : Издательство «Русакс», 2004 г. - 550 с. – ISBN 5-93347-151-8.

36. Моделирование систем: учебник для академического бакалавриата / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. - 7-е изд. - М. : Издательство Юрайт, 2017. - 343 с. Серия : Бакалавр. Академический курс. – ISBN 978-5-9916-3916-3

37. Макаров Р.И., Хорошева Е.Р., Лукашин С.А. Автоматизация производства листового стекла (флоат-способ) / Под ред. Р.И. Макарова; Владим. гос. ун-т. Вдалимир, 2000. – 248с. – ISBN 5-89368-206-8.

38. Модели и методы решения проблемы выбора в условиях неопределенности. URL: <http://mirznanii.com/a/313496/modeli-i-metody-resheniya-problemy-vybora-v-usloviyakh-neopredelennosti>

39. Методология и технология имитационных исследований сложных систем: современное состояние и перспективы развития: Монография / В.В. Девятков - М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2013. - 448 с.: 60x90 1/16. - (Научная книга) ISBN 978-5-9558-0338-8 (Вузовский учебник) URL: <http://znanium.com/catalog/product/427491>

40. Автоматизированные информационные технологии в экономике : учебник/ М.И. Семенов, И.Т., Трубилин, В.И. Лойко, Т.П. Барановская; Под общ. ред. И.Т Трубилина. – М. : Финансы и статистика, 2003. – 414с. – ISBN 5-279-02162-8.

41. Садердинов А.А., Трайнев В.А. Построение комплексных программно-технических проектов интегрированных систем организационного управления (обобщение теории и практики проектирования). – М.: изд. Книготорговый центр» Маркетинг», 2001. – 287с. – ISBN: 5-94462-051-X.

Учебное издание

МАКАРОВ Руслан Ильич
ХОРОШЕВА Елена Руслановна

АНАЛИЗ И СИНТЕЗ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Учебное пособие

Издается в авторской редакции

Подписано в печать 25.03.19.
Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 14.65. Тираж 50 экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых.
600000, Владимир, ул. Горького, 87.