

Содержание

<u>Введение.....</u>	6
<u>№ 1. Системы и закономерности их функционирования и развития.....§</u>	9
Понятие о системе.....	9
1.1. Определение системы.....	9
1.2. Материальна или нематериальна система.....	10
1.3. Система и среда.....	11
§ 2. Понятия, характеризующие строение и функционирование систем.....	12
2.1. Элементы, компоненты, подсистемы.....	12
2.2. Связь.....	12
2.3. Цель.....	13
2.4. Структура.....	14
2.5. Понятия, характеризующие функционирование и развитие систем.....	14
§ 3. Классификация систем.....	15
3.1. Открытые и закрытые системы.....	15
3.2. Целенаправленные, целеустремленные системы.....	16
3.3. Классификация систем по сложности.....	16
3.4. Классификация систем по степени организованности.....	17
§ 4. Закономерности систем.....	20
4.1. Закономерности взаимодействия части и целого.....	21
4.2. Закономерности иерархической упорядоченности систем.....	22
4.3. Закономерности функционирования и развития систем.....	23
4.4. Закономерности осуществимости систем.....	25
§ 5. Закономерности целеобразования.....	27
5.1. Зависимость представления о цели и формулировки цели от стадии познания объекта (процесса) и от времени.....	27
5.2. Зависимость цели от внешних и внутренних факторов.....	27
5.3. Возможность (и необходимость) сведения задачи формулирования обобщающей (общей, глобальной) цели к задаче ее структуризации.....	28
5.4. Закономерности формирования структур целей.....	28
§ 6. Виды и формы представления структур.....	29
6.1. Сетевые структуры.....	29
6.2. Иерархические структуры.....	30
6.3. Многоуровневые иерархические структуры.....	31
6.4. Матричные структуры.....	32
6.5. Смешанные иерархические структуры с вертикальными и горизонтальными связями.....	32
6.6. Структуры с произвольными связями.....	33
<u>Тема № 2. Методы и модели теории систем и системного анализа.....</u>	34
§ 1. Проблема принятия решения.....	34
1.1. Как возникает проблема.....	34
1.2. Закон – теория – гипотеза – модель.....	35
§ 2. Классификация подходов и методов моделирования систем.....	36
2.1. Подходы к созданию системы.....	36
2.2. Классификации методов моделирования систем.....	37
§ 3. Методы формализованного представления систем (МФПС).....	39
3.1. Классификации МФПС.....	39
3.2. Аналитические и статистические методы.....	40
3.3. Методы дискретной математики (теория множеств, математическая логика, математическая лингвистика, семиотика, графы).....	42

§ 4. Методы активизации интуиции и опыта специалистов (МАИС)	47
4. 1. Методы типа «мозговой атаки» и «сценариев».....	47
4.2. Методы структуризации	48
4.3. Методы экспертных оценок.....	49
4.4. Методы типа «Дельфи».....	50
4.5. Методы организации сложных экспертиз.....	56
4.6. Морфологические методы.....	56
§5. Понятие о методике системного анализа.....	57
5.1. О разработке методике системного анализа.....	58
5.2. Примеры методик системного анализа.....	60
5.3. Информационные ресурсы системы.....	65

Тема № 3. Разработка и развитие систем организационного управления.....

§ 1. Рекомендации по разработке методике проектирования и развития системы организационного управления.....	67
1.1. Принципы разработки методике проектирования и развития предприятия (организации).....	67
1.2. Выбор методов и моделей для выполнения этапов методике.....	69
§ 2. Анализ факторов, влияющих на создание и функционирование предприятия (организации).....	69
2.1. Использование закономерности коммуникативности.....	69
2.2. Анализ рыночных ситуаций.....	71
§ 3. Анализ целей и функций системы управления предприятием (организацией).....	72
3.1. Задачи и принципы формирования и анализа структур целей и функций систем управления.....	72
3.2. Формирование структуры целей и функций СУ районом.....	72
§ 4. Разработка (корректировка) организационной структуры предприятия (организации).....	75
4.1. Анализ подходов к проектированию (совершенствованию) организационных структур.....	75
4.2. Обобщенная методика проектирования организационных структур систем управления.....	79

Тема № 4. Примеры применения методов теории систем и системного анализа для исследования сложных систем и принятия решений.....

§ 1. Модели постепенной формализации задач при организации технологических процессов производства и управления.....	83
1.1. Если число неизвестных больше, чем число уравнений.....	83
1.2. Модели постепенной формализации задач при организации технологических процессов производства.....	85
1.3. Расчет потребного времени, средств производства, исполнителей.....	86
§ 2. Применение морфологического подхода при принятии плановых решений в условиях позаказной системы производства.....	90
§ 3. Применение методов системного анализа при изучении сложной производственной системы.....	93
3.1. «Черный ящик».....	93
3.2. Морфологический и гистологический подходы.....	93
3.3. Целевой подход.....	94
3.4. Постепенная формализация задачи.....	95

3.5. А если – не ресторан?	103
§ 4. Изучение сложных биологических систем.....	103
4.1. Кошка – система? Изучение животных.....	103
4.2. Изучение человека.....	103
§ 5. Общие сведения об управлении сложными системами.....	105
5.1. Назначение управления.....	105
5.2. Существует ли наука об управлении?	107
5.3. Принципы управления теории автоматического регулирования.....	105
5.4. Способы управления государством, предприятием.....	109
5.5. Управление с помощью целеобразования.....	110
5.6. Искусство управления.....	111
<u>Заключение.....</u>	113
<u>Литература.....</u>	114

Введение.

Одной из новых проблем современной науки является разработка и внедрение в практику методов исследования сложных систем. К классу таких систем относятся крупные производственные, энергетические и гидротехнические комплексы с автоматизированным управлением; сами средства управления, создаваемые на базе автоматики, телемеханики, электроники и вычислительной техники; вычислительные комплексы, предназначенные для обработки информации и планирования народного хозяйства, и т. д.

При проектировании и создании сложных систем, их испытаниях и эксплуатации возникают многочисленные задачи, требующие знания количественных и качественных закономерностей, свойственных рассматриваемым системам.

Особенно большое значение приобрели так называемые **общесистемные** вопросы, относящиеся к общей структуре системы, организации взаимосвязи между ее элементами, совокупному взаимодействию элементов системы с внешней средой, централизованному управлению функционированием элементов и т. д.

Эти вопросы составляют существо так называемого **системного подхода** к изучению свойств реальных объектов и содержания сравнительно нового направления научной и инженерной мысли, получившего название **системотехники**. Дело в том, что в последнее время понятия системы, единства, взаимодействия и развития получили строгий научный смысл и породили новый научный метод, который находит широчайшее применение. В результате усложнения процесса инженерного проектирования сложных систем, необходимости его рациональной и научной организации возникла прикладная наука – **системотехника**. В дальнейшем системотехнические методы распространились на организацию инженерной, а затем и управленческой деятельности.

Сущность системного подхода, если его сформулировать наиболее коротко, состоит в том, чтобы найти логически целостные, конструктивные способы описания и исследования объектов, природа которых противоречива и заведомо более сложна, чем используемые описания, и с пользой применить эти описания для создания, совершенствования и управления такими объектами.

Системный подход означает, прежде всего, восприятие всех процессов и явлений в их диалектической противоречивости, взаимосвязанности, цельности и единстве. В результате объединения методов **системного анализа**, исследования операций, инженерной психологии, социологии, а также опыта инженерной и общественно-административной деятельности выработались специальные методы системотехники. Системотехника создала математический аппарат, позволяющий решать не только инженерные, но также и оперативные и организационные задачи, оптимизировать структуру организаций и направления их деятельности.

Системотехника особенно заметно развивалась в последние десятилетия. Можно отметить определенную связь между развитием и внедрением вычислительной техники и развитием системотехнических методов.

Основная область приложения системотехники – формализация сложных, неопределенных задач, представление их в виде, доступном для решения на вычислительных машинах. Это открывает путь к формализации и технологизации ряда человеческих функций, в том числе таких, которые ранее считались чисто творческими.

Системотехника учитывает как неформальные, человеческие факторы (предпочтения при выборе критериев и оценка результатов работы), так и формальные, количественные характеристики, присущие техническим средствам и системам в их функциональном единстве.

Успех в решении любой проблемы зависит, прежде всего, от верного понимания того, что в действительности она собой представляет, в чем ее сложность и где больше

всего следует опасаться ошибок. В практической деятельности мало понять и предсказать, необходимо определить цель, наметить линию поведения и конкретные мероприятия.

Теоретическими и прикладными аспектами решения проблем, требующих всестороннего, многопланового подхода, системного анализа, и занимается системотехника. Она дает правильную ориентацию в сложных ситуациях, формирует предпосылки для структуризации новых проблем, раскрывает методы нешаблонного мышления, помогает объединению аналитического и волевого факторов человеческой личности, обучает подготовке к принятию своевременных и эффективных решений.

Термин **«система»** и связанные с ним понятия комплексного **системного подхода** исследуются и подвергаются осмыслению философами, биологами, психологами, кибернетиками, физиками, математиками, экономистами, инженерами различных специальностей. Потребность в использовании этого термина возникает в тех случаях, когда невозможно что-то продемонстрировать, изобразить, представить математическим выражением и нужно подчеркнуть, что *это* будет большим, сложным, не полностью сразу понятным и, в то же время, целым и единым.

Например, «солнечная система», «система управления станком», «система организационного управления предприятием (городом, регионом и т. п.)», «экономическая система», «система кровообращения» и т. д.

В математике термин «система» используется для отображения совокупности математических выражений или правил – «система уравнений», «система счисления», «система мер» и т. п. Казалось бы, в этих случаях можно было бы воспользоваться терминами «множество» или «совокупность». Однако понятие «система» подчеркивает упорядоченность, целостность, наличие определенных закономерностей.

Интерес к системным представлениям проявляется не только как к удобному обобщающему понятию, но и как к средству постановки задач с большой неопределенностью. Возникло понятие, а затем и направление *принятие решений*, которое постановку задачи признает равноценным этапом ее решения. Появился термин *лицо, принимающее решение (ЛПР)*. Однако человек не всегда справляется с этой ролью. Для того, чтобы организовать, например, процесс проектирования, начали создаваться **системы организации проектирования, системы управления разработками** и т. п.

Иными словами, понятие «система» широко использовалось (и используется) в различных областях знаний, заинтересовало инженеров, и на определенной стадии развития научного знания **теория систем** оформилась в самостоятельную науку, как когда-то из прикладных арифметики, геометрии и др. сформировалась обобщенная теория «математика».

Приведем краткую историю становления терминологии в этой области.

В конце 19-го века стало резко увеличиваться число комплексных проектов и проблем, требующих участия в их решении специалистов различных областей знаний. Усложнилось управление экономикой стран, особенно тех, в которых преобладал принцип централизованного управления. Появилась потребность в специалистах «широкого профиля», обладающих знаниями не только в своей области, но и в смежных областях, и умеющих эти знания обобщать, использовать аналогии, формировать комплексные модели. Понятие системы, ранее употреблявшееся в быденном смысле, превратилось в специальную общенаучную категорию, начали появляться обобщающие научные направления, которые исторически иногда возникали параллельно на разной прикладной или теоретической основе и носили различные наименования.

Роль интеграции наук, организации взаимосвязей и взаимодействия между различными научными направлениями во все времена выполняла *философия* – «наука наук», которая одновременно являлась и источником возникновения ряда научных направлений.

В 30-е годы 20-го века философия явилась источником возникновения обобщающего направления, названного *теорией систем*. Людвиг фон Берталанфи, считающийся основоположником этого направления, хотя и являлся биологом по основной профессии, но первый доклад о своей новой концепции сделал на философском семинаре, пользуясь в качестве исходных понятий терминологией философии.

Наиболее конструктивным из направлений системных исследований в настоящее время считается *системный анализ*, который впервые появился в работах корпорации RAND в связи с задачами военного управления в 1948 году, а в отечественной литературе получил распространение после перевода книги С. Оптнера «Системный анализ деловых и промышленных проблем» в 60-х годах прошлого века.

Этот термин используется в публикациях неоднозначно. Однако, независимо от того, применяется термин «системный анализ» только к формированию целей и функций системы, к планированию развития предприятия, региона, или к исследованию системы в целом, включая и цели, и организационную структуру, работы этого направления отличаются от других направлений системных исследований тем, что в них предлагается методика проведения системного исследования, организация процесса принятия решения, делается попытка предложить подходы к выполнению этапов методики в конкретных условиях.

И второе важное отличие – работа с целями (их исследование, формулирование, структуризация или декомпозиция).

Некоторые авторы даже в определении системного анализа подчеркивают, что это методология исследования целенаправленных систем. При этом разработка методики и выбор методов и приемов выполнения ее этапов базируется на использовании понятий и закономерностей теории систем.

В настоящее время, в условиях внедрения в экономику рыночных принципов, предоставления большей самостоятельности предприятиям и регионам, роль методов и моделей системного анализа, как наиболее конструктивного направления системных исследований, возрастает, соответственно возрастает необходимость развития этих методов и приближения их к практическим потребностям.

Для понимания процессов организационного управления полезны (и даже необходимы) общеметодологические представления и закономерности теории систем. Разработка методик анализа целей, методов и моделей совершенствования организационной структуры, управления функционированием социально-экономических объектов стали в последнее время основным приложением системного анализа.

Отсюда очевидно, что эти направления совершенно необходимы при подготовке специалистов любых направлений. Однако, поскольку методики и модели системного анализа базируются на основных положениях теории систем, а при иллюстрации возможностей теории систем необходимы примеры, которые наиболее конструктивно представлены в работах по системному анализу, то все эти вопросы освещаются в рамках единой учебной дисциплины «Основы теории систем и системного анализа».

Тема №1. Системы и закономерности их функционирования и развития.

§ 1. Понятие о системе.

1.1. Определение системы.

Термин «система» используют в тех случаях, когда хотят охарактеризовать исследуемый или проектируемый объект как нечто целое (единое), сложное, о котором невозможно сразу дать представление, показав его, изобразив графически или описав математическим выражением.

Существует несколько десятков определений понятия «система». Их анализ показывает, что по мере развития теории систем и использования этого понятия на практике определение понятия «система» изменялось не только по форме, но и по содержанию.

В первых определениях в той или иной форме говорилось о том, что система – это *элементы* (части, компоненты) и *связи* между ними. Так, Берталанди определил 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 слова *συστήμα* (состав), т. е. составленное, соединенное из частей.

Затем в определениях системы появляется *цель*. Вначале – в неявном виде в определении Темникова «система – организованное множество» (в котором цель появляется при раскрытии понятия «организованное»). Потом – в виде конечного результата, системообразующего критерия, а позднее - и с явным упоминанием о цели.

В некоторых определениях уточняются условия целеобразования – **среда, интервал времени**, т. е. период, в рамках которого будет существовать система, и ее цели.

Например, определение Сагатовского: система – «конечное множество функциональных элементов и отношений между ними, выделенное из среды в соответствии с определенной целью в рамках определенного временного интервала».

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

Первое определение, в которое в явном виде включен наблюдатель, дал Черняк: «Система есть отражение в сознании субъекта (исследователя, наблюдателя) свойств объектов и их отношений в решении задачи исследования, познания».

В последующих вариантах этого определения Черняк стал учитывать и язык наблюдателя: «система есть отображение на языке наблюдателя (исследователя, конструктора) объектов, отношений и их свойств в решении задачи исследования, познания».

Вообще в определениях системы бывает и большее число составляющих.

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

С учетом этого и опираясь на более глубокий анализ сущности понятия «система», рассматриваемый ниже, следует, по-видимому, относиться к этому понятию как к категории **теории познания**. В связи с этим интересно обратить внимание на вопрос о материальности или нематериальности системы, рассматриваемый далее.

В различных конкретных ситуациях можно пользоваться различными определениями. Причем, по мере уточнения представлений о системе или переходе на другой уровень (страту) ее исследования определение системы не только может, но и должно уточняться.

Более полное 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 анализа. Например, в социальных 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 Урманцева, созданный им для исследования относительно невысоко развитых биологических объектов типа растений, не включает понятие цели как не свойственно для этого класса объектов, а понятие целесообразности развития отражает в форме «закон композиции»).

При проведении системного анализа можно вначале 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.

Выбор определения отражает принимаемую концепцию исследуемой или создаваемой системы и является фактически началом ее моделирования, т. е. помогает исследователю или разработчику начать ее описание.

1.2. Материальна или нематериальна система.

До недавнего времени довольно часто возникали дискуссии о том, материальны или нематериальны системы.

С одной стороны, стремясь подчеркнуть материальность систем, некоторые исследователи в своих определениях заменяли термин «элемент» терминами «вещь», «объект», «предмет»; и хотя последние можно трактовать и как абстрактные объекты или предметы исследования, все же авторы этих определений явно хотели обратить внимание на овеществленность, материальность системы.

С другой стороны, в приведенном выше определении Черняка и, особенно, в определении Оптнера («система есть средство решения проблемы»), систему можно трактовать только как отображение, т. е. как нечто, существующее лишь в сознании исследователя.

Бессмысленность спора о материальности и нематериальности системы показал Афанасьев, отметив: «... 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... ».

В связи с этим обратим внимание на то, что в Большой Советской Энциклопедии наряду с вышеприведенным дается следующее определение: 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 возможных их реализациях.

Таким образом, в понятии *система* (как и 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, Черняк, понимая систему, как «средство решения проблемы», а системный анализ – как «поиски простого в сложном», показывает, что один и тот же объект при исследовании может быть представлен в различных аспектах, как бы на разных уровнях (стратах) существования: от философского до материального воплощения.

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

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

Месарович, например, предлагает выделять условные уровни (страты) рассмотрения системы (см. рис. 1.1.)

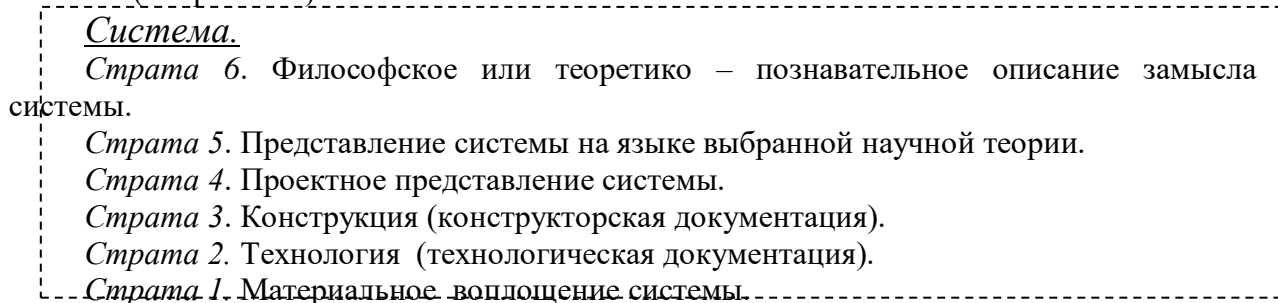


Рис 1.1.

1.3. Система и среда.

На первых этапах системного анализа важно уметь отделить (отграничить) систему от среды, с которой взаимодействует система. Иногда даже определения системы, применяющиеся на начальных этапах исследования, базируются на разделении системы и среды.

Частным случаем выделения системы из среды является определение ее через *входы* и *выходы*, посредством которых система общается со средой. В кибернетике и теории систем такое представление называют *черным ящиком*.

Такому подходу соответствует следующее определение среды: «среда есть совокупность всех объектов, изменение свойств которых влияет на систему, а также тех объектов, чьи свойства меняются в результате поведения системы».

Выделяет систему из среды *наблюдатель*, который отделяет (отграничивает) элементы, включаемые в систему, от остальных, т. е. от среды, в соответствии с целями исследования (проектирования).

При этом возможны три варианта положения наблюдателя, который:

1) может отнести себя к среде и представить систему как полностью изолированную от среды;

2) включить себя в систему и рассматривать ее с учетом своего влияния и влияния системы на свои представления о ней (ситуация, характерная для экономических систем);

3) выделить себя и из системы, и из среды и рассматривать систему как *открытую*, постоянно взаимодействующую со средой (такое представление необходимо для исследования развивающихся систем).

В последнем случае практически невозможно учесть все объекты, не включенные в систему и отнесенные к среде; их множество надо сузить с учетом цели исследования, точек зрения наблюдателя (ЛПР), путем анализа взаимодействия системы со средой, включив этот «механизм» анализа в методику исследования.

Уточнение или конкретизация определения системы влечет соответствующее уточнение ее взаимодействия со средой и определения среды. Среда неоднородна: *наряду с естественно - природной средой существуют искусственные – техническая среда созданных человеком машин и механизмов, экономическая среда, информационная, социальная среда.*

В процессе исследования граница между системой и средой может деформироваться. Уточняя модель системы, наблюдатель может выделять в среду некоторые составляющие, которые он первоначально включал в систему. И, наоборот, он может посчитать целесообразным составляющие среды, имеющие сильные связи с элементами системы, включить в систему.

§ 2. Понятия, характеризующие строение и функционирование систем.

2.1. Элементы, компоненты, подсистемы.

Под *элементом* принято понимать простейшую, неделимую часть системы. Однако ответ на вопрос, что является такой частью, может быть неоднозначным.

Например, в качестве элементов стола можно назвать «ножки, ящики, крышку и т. д.», а можно – «атомы, молекулы», в зависимости от того, какая задача стоит перед исследователем: изучить конструкцию или химический состав стола.

Аналогично в системе управления предприятием (СУП) элементами можно считать подразделения аппарата управления, цеха, участки, а можно – каждого сотрудника, рабочего или каждую операцию, которую он выполняет.

Обратим внимание на то, что элементы могут быть неоднородными.

Иными словами, систему можно расчленять на элементы различными способами, и это зависит от решаемой задачи, т. е.:

Элемент – это предел членения системы с точки зрения аспекта рассмотрения, решения конкретной задачи, поставленной цели.

При необходимости можно изменять принцип расчленения, выделять другие элементы и получать с помощью нового расчленения более адекватное представление об анализируемом объекте или проблемной ситуации.

Иногда система не может быть сразу разделена на составляющие, являющиеся пределом ее членения, т. е. на элементы.

В таких случаях используют другие термины, предусмотренные в теории систем: подсистемы, компоненты.

Понятие *подсистема* подразумевает, что выделяется относительно независимая часть системы, обладающая свойствами системы, и, в частности, имеющая подцель, на достижение которой ориентирована подсистема, а также другие свойства – свойство целостности, коммуникативности и т. п., определяемые закономерностями систем, рассматриваемыми ниже.

Если же части системы не обладают такими свойствами, а представляют собой просто совокупности однородных элементов, то такие части принято называть *компонентами*.

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

2.2. Связь.

Понятие «связь» входит в любое определение системы и обеспечивает возникновение и сохранение ее целостных свойств. Это понятие одновременно характеризует и строение (статическую) и функционирование (динамическую) систем. Связь определяют как ограничение степени свободы элементов. Действительно, элементы, вступая во взаимодействие (связь) друг с другом, утрачивают часть своих свойств, которыми они потенциально обладали в свободном состоянии.

Сколько должно быть связей и какие они должны быть для того, чтобы систему можно было считать системой?

Один из подходов к решению этой проблемы предлагается, например, Николаевым (см. В. И. Николаев, В. М. Брук. Системотехника: методы и приложения. Л., Машиностроение, 1985), который считает, что для того, чтобы система не распалась на части, необходимо обеспечить превышение суммарной силы (мощности) связей между элементами системы, т. е. внутренних связей, над суммарной мощностью связей между элементами системы и элементами среды, т. е. внешних связей.

Связи можно охарактеризовать *направлением, силой, характером (видом)*. По первому признаку связи делят на *направленные* и *ненаправленные*. По второму – на *сильные* и *слабые* (иногда пытаются ввести «шкалу» силы связей для конкретной задачи). По характеру (виду) различают связи *подчинения*, связи порождения (или *генетические*), *равноправные* (или *безразличные*) и связи *управления*.

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

Важную роль в моделировании систем играет понятие *обратной связи* (ОС), которая является основой кибернетических моделей управления, саморегулирования, развития систем, приспособления их к изменяющимся условиям существования.

ОС может быть *положительной*, сохраняющей тенденции происходящих в системе изменений того или иного выходного параметра, и *отрицательной* – противодействующей тенденциям изменения выходного параметра, т. е. направленной на сохранение, стабилизацию требуемого значения параметра (например, стабилизацию выходного напряжения или, в системах организационного управления, - количества выпускаемой продукции и т. п.).

Блок системы, реализующий ОС, на основе рассогласования ΔX между требуемым $X_{\text{ТРЕБ}}$ и фактическим X_1 значениями регулируемого параметра, вырабатывает соответствующее управляющее воздействие, корректирующее закон (программу) управления работой системы.

2.3. Цель.

Понятие *цель* и связанные с ним понятия *целесообразности*, *целенаправленности* лежат в основе развития системы.

Процесс целеобразования и соответствующий ему процесс обоснования целей в организационных системах весьма сложен. На протяжении всего периода развития философии и теории познания происходило развитие представлений о цели.

Анализ определений цели и связанных с ней понятий показывает, что в зависимости от стадий познания объекта, этапа системного анализа, в понятие «цель» вкладывают различные оттенки – от *идеальных устремлений* (Макаров: цель – «выражение активности сознания»; Акофф, Эмери: «человек и социальные системы вправе формулировать цели, достижение которых, как им заведомо известно, невозможно, но к которым можно непрерывно приближаться») до *конкретных целей – конкретных результатов*, достижимых в пределах некоторого интервала времени, формулируемых иногда даже в терминах *конечного продукта* деятельности.

В некоторых определениях цель как бы трансформируется, принимая различные оттенки в пределах условной «шкалы» - от *идеальных устремлений* к *материальному воплощению, конечному результату деятельности: цель* – «то, к чему стремится, чему поклоняется и за что борется человек» («борется» подразумевает достижимость) – см. Макаров. Категория цель в философии. М., Наука, 1974.

Рижские ученые кибернетик Растрин и врач – психиатр Граве под целью понимают «модель желаемого будущего» (при этом в понятие «модель» можно вкладывать различные оттенки – от идеальных устремлений до конечного результата), и вводят понятие *мечты* как разновидности цели:

«*мечта* – это цель, не обеспеченная средствами ее достижения». Противоречие, заключенное в понятии «цель», - необходимость быть побуждением к действию, «*опережающим отражением*» (термин введен Анохиным) или «*опережающей идеей*», и одновременно материальным воплощением этой идеи, т. е. быть достижимой, проявляясь с момента возникновения этого понятия: так, древнеиндийское «артха» означало одновременно «мотив», «причину», «желание», «цель» и даже «способ».

Для того чтобы отразить диалектическое противоречие, заключенное в понятии «цель», в большой Советской Энциклопедии дается следующее определение:

цель – «заранее мыслимый результат сознательной деятельности человека, группы людей».

2.4. Структура.

Система может быть представлена простым перечислением элементов или «черным ящиком» (моделью «вход - выход»). Однако чаще всего при исследовании объекта такого представления недостаточно, так как требуется выяснить, что собой представляет объект, что в нем обеспечивает выполнение поставленной цели, получение требуемых результатов. В этих случаях систему отображают путем расчленения на подсистемы, компоненты, элементы с взаимосвязями, которые могут носить различный характер, и вводят понятие структуры.

Структура (от латинского “structure” – строение, расположение, порядок) отражает определенные взаимосвязи, взаиморасположение составных частей системы, ее устройство (строение) – см. БСЭ и зд. II, т.41.

При этом в сложных системах структура включает не все элементы и связи между ними, а лишь наиболее существенные, которые мало меняются при текущем функционировании системы и обеспечивают существование системы и ее основных свойств.

Структура характеризует организованность системы, устойчивую упорядоченность элементов и связей, без качественного наполнения (субстрата).

Структурные связи обладают относительной независимостью от элементов и могут переноситься из одной системы в другую. При этом системы могут иметь различную физическую природу. Одна и та же система может быть представлена разными структурами в зависимости от стадии познания объектов или процессов, от аспектов их рассмотрения, цели создания. При этом по мере развития исследований или в ходе проектирования структура системы может изменяться. При этом структурные представления систем могут являться средством их исследования.

2.5. Понятия, характеризующие функционирование и развитие систем.

Процессы, происходящие в сложных системах, как правило, сразу не удается представить в виде математических соотношений или хотя бы алгоритмов. Поэтому, для того, чтобы хоть как-то охарактеризовать стабильную ситуацию или ее изменения, используются специальные термины, заимствованные теорией систем из теории автоматического регулирования, биологии, философии. Рассмотрим основные из этих терминов.

Состояние. Понятие «состояние» обычно характеризует мгновенную фотографию, «срез» системы, остановку в ее развитии. Его определяют либо через входные воздействия и выходные сигналы (результаты), либо через макропараметры, макросвойства системы (например, давление, скорость, ускорение).

Так, говорят о состоянии покоя (стабильные входные воздействия и выходные результаты), о состоянии равномерного прямолинейного движения (стабильная скорость) и т. д.

Поведение. Если система способна переходить из одного состояния в другое (например, $S_1 \rightarrow S_2 \rightarrow S_3 \rightarrow \dots$), то говорят, что она обладает «поведением». Этим понятием пользуются, когда неизвестны закономерности (правила) перехода из одного состояния в другое. Тогда говорят, что система обладает каким-то поведением и выясняют затем его характер, алгоритм.

Равновесие. Понятие «равновесие» определяют как способность системы в отсутствие внешних возмущающих факторов (воздействий) или при постоянных (неизменных) воздействиях сохранять свое состояние сколь угодно долго. Это состояние называют «состоянием равновесия». Поясняют это понятие обычно на примерах. Простейший пример – равновесие шарика на плоскости. Для экономических систем это понятие применимо достаточно условно.

Устойчивость. Под «устойчивостью» понимают способность системы возвращаться в состояние равновесия после того, как она была из этого состояния выведена под влиянием *внешних* (или, в системах с активными элементами, *внутренних*) возмущающих воздействий. Эта способность обычно присуща системам только тогда, когда отклонения не превышают некоторого предела.

Состояние равновесия, в которое система способна возвращаться, называют *устойчивым состоянием равновесия*. Возврат в это состояние может сопровождаться колебательным процессом.

В сложных системах возможны *неустойчивые состояния равновесия*. Это понятие также обычно поясняют на примерах.

Простейший пример – устойчивое состояние шарика в ямке до величины отклонений (под воздействием возмущений), которые не выбрасывают его из ямки.

Равновесие и устойчивость в экономических системах, несмотря на кажущуюся аналогию с техническими, - гораздо более сложные понятия, и ими можно пользоваться, в

основном, как некоторыми аналогиями для предварительного описания поведения системы.

Развитие. Это понятие помогает объяснить сложные процессы в природе и обществе. Исследование процесса развития, соотношения «развития» и «устойчивости», изучение механизмов, лежащих в их основе, - наиболее сложные задачи теории систем. Поэтому целесообразно выделять особый класс *развивающихся систем*, обладающих особыми свойствами, которые будут рассмотрены далее.

§3. Классификация систем.

Системы разделяют на классы по различным признакам, и в зависимости от решаемой задачи можно выбирать разные принципы их классификации. Первоначально предпринимались попытки классифицировать системы *по виду отображаемого объекта* (технические, биологические, экономические и т. п. системы); *по виду методов моделирования* (математические, физические, химические и др.). Затем стали предлагать классификации, которые помогают глубже понять сущность разных видов систем, выбрать методы их отображения и моделирования.

Рассмотрим примеры таких классификаций.

3.1. Открытые и закрытые системы.

Понятие «открытая система» ввел Бергаланфи.

Основные отличительные черты открытых систем – способность обмениваться со средой массой, энергией и информацией.

В отличие от них *закрытые* (иначе *замкнутые*) системы предполагаются полностью лишены этой способности, т. е. изолированными от среды.

Одна из наиболее важных особенностей открытой системы, исследованной Бергаланфи, состоит в следующем. В открытых системах проявляются термодинамические закономерности, которые противоречат второму началу термодинамики. (Напомним, что второй закон термодинамики (второе начало), сформулированный для закрытых систем, характеризует систему ростом энтропии, стремлением к неупорядоченности, разрушению).

Проявляется этот закон и в открытых системах (например, старение биологических систем). Однако, в отличие от закрытых, в открытых системах возможен как бы «ввод энтропии», ее снижение. «Подобные системы, - указал Бергаланфи, - могут сохранять свой высокий уровень и даже развиваться в сторону увеличения порядка сложности», т. е. в них проявляется рассматриваемая далее закономерность *самоорганизации* (хотя Бергаланфи этот термин не использовал). Именно поэтому для системы важно поддерживать обмен информацией со средой.

3.2. Целенаправленные, целеустремленные системы.

При изучении экономических, организационных объектов важно выделять класс целенаправленных или целеустремленных систем. В этом классе, в свою очередь, можно выделить: 1) системы, в которых *цели задаются извне* (обычно это имеет место в закрытых системах) и 2) системы, в которых *цели формируются внутри системы* (что характерно для открытых, *самоорганизующихся систем*).

3.3. Классификация систем по сложности.

Существует несколько подходов к разделению систем по сложности. Обычно сложность связывают с размерами системы. В то же время существует точка зрения, что *большие* (по величине, количеству элементов) и *сложные* (по сложности отношений,

алгоритмов поведения) системы – это разные классы систем (см. Черняк. Анализ систем в экономике).

Одна из наиболее полных и интересных классификаций по уровням сложности предложена Боулдингом (см. его «Общую теорию систем – скелет науки»). Выделенные в ней уровни приведены в нижеследующей таблице.

В классификации Боулдинга каждый последующий класс включает в себя предыдущий, характеризуется большим проявлением свойств открытости и непредсказуемости поведения, более сложными «механизмами» функционирования и развития.

Тип системы	Уровень сложности	Примеры
Неживые системы	Статические структуры (остовы). Простые динамические структуры с заданным законом поведения. Кибернетические системы с управляющими циклами обратной связи.	Кристаллы Часовой механизм Термостат
Живые системы	Открытые системы с самосохраняемой структурой (первая ступень, на которой возможно разделение на живое и неживое). Живые организмы с низкой способностью воспринимать информацию. Живые организмы с более развитой способностью восприятия информации, но не обладающие самосознанием. Системы, характеризующиеся самосознанием, мышлением и нетривиальным поведением. Социальные системы.	Клетки, гомеостат Растения Животные Люди Социальные организации

В классификации Боулдинга, рекомендации по выбору методов моделирования (в том числе, математических) имеются только для классов относительно низкой сложности (для уровня неживых систем), а для более сложных систем оговаривается, что дать такие рекомендации трудно.

3.4. Классификация систем по степени организованности.

Выделенные в этой классификации классы систем практически можно рассматривать как подходы к отображению объекта или решаемой задачи на начальном этапе моделирования. Этим классам можно поставить в соответствие методы формализованного представления систем (будут рассмотрены в теме №2), и, таким образом, определив класс системы, можно дать рекомендации по выбору метода, который позволит более адекватно ее отобразить.

Кратко охарактеризуем эти классы.

1. Представление объекта или процесса принятия решения в виде *хорошо организованной системы* возможно в тех случаях, когда исследователю удается

определить все элементы системы и их взаимосвязи между собой и с целями системы в виде **детерминированных** (аналитических, графических) **зависимостей**.

На представлении этим классом систем основаны большинство моделей физических процессов и технических систем. Для сложных объектов формирование таких моделей существенно зависит от ЛПР.

Например, работу сложного механизма приходится отображать в виде упрощенной схемы, учитывающей не все, но наиболее существенные с точки зрения автора модели и назначения механизма элементы и связи между ними.

Атом может быть представлен в виде планетарной модели, состоящей из ядра и электронов, что упрощает реальную картину, но достаточно для понимания принципов взаимодействия элементов этой системы.

Строго говоря, простейшие математические соотношения, отображающие реальные ситуации, также не являются абсолютно детерминированными, поскольку, например, при суммировании яблок не учитывается, что они не бывают абсолютно одинаковыми, а килограммы можно измерить лишь с некоторой точностью. Иными словами, для отображения сложного объекта в виде хорошо организованной системы приходится выделять существенные и не учитывать относительно несущественные для конкретной цели рассмотрения элементы (компоненты), а при необходимости более детального описания можно уточнить цель и построить новую систему.

Так, при необходимости, в описании атома можно учесть протоны, нейтроны, мезоны и другие микрочастицы, не рассматриваемые в планетарной модели системы – атома.

При представлении объекта в виде хорошо организованной системы проблемная ситуация может быть описана в виде **выражений, связывающих цель со средствами**. Эти выражения имеют разные названия: критерий функционирования, критерий (или показатель) эффективности, целевая функция и т.п. Они могут быть представлены сложным уравнением, формулой, системой уравнений или сложных математических моделей, включающих и уравнения, и неравенства, и т. п. Подобные выражения объединяют и цель, и средства. Пример получения такого выражения мы рассмотрим в теме №2.

Представление объекта в виде хорошо организованной системы применяется в тех случаях, когда может быть экспериментально показана правомерность применения полученных математических выражений, т. е. экспериментально доказана адекватность модели реальному объекту или процессу.

Для сложных задач, которые приходится решать при разработке технических комплексов, совершенствовании управления предприятиями и организациями и т. д., получить требуемые математические выражения крайне сложно. Более того, даже если это и удастся сделать, то практически невозможно поставить эксперимент, доказывающий адекватность модели.

Поэтому в большинстве случаев при представлении сложных объектов и проблем на начальных этапах исследования их отображают классами, характеризуемыми далее.

2. При представлении объекта в виде **плохо организованной** или **диффузной системы** не ставится задача определить все учитываемые компоненты и их связи с целями системы.

Система характеризуется некоторым набором макропараметров и закономерностями, которые выявляются на основе исследования не всего объекта или класса явлений, а путем изучения достаточно представительной **выборки** компонентов, характеризующих исследуемый объект или процесс. На основе такого выборочного исследования получают характеристики или **закономерности** (статистические, экономические и т. п.) и распространяют эти закономерности на поведение системы в целом. При этом делаются соответствующие оговорки. Например, при получении

статистических закономерностей их распространяют на поведение системы с какой-то **вероятностью**, которая оценивается с помощью специальных приемов, изучаемых в математической статистике.

В качестве примера применения диффузной системы обычно приводят отображение газа. При использовании газа для прикладных целей его свойства не определяют путем точного описания поведения каждой молекулы, а характеризуют газ макропараметрами – давлением, относительной проницаемостью, постоянной Больцмана и т. п. Основываясь на этих параметрах, разрабатывают приборы и устройства, использующие свойства газа, не исследуя при этом поведение каждой молекулы.

Если не удастся доказать представительность выборки или для этого требуется большое время, то применение отображения объектов в виде диффузных систем может привести к неверным решениям.

3. Отображение объектов в виде **самоорганизующихся** или **развивающихся** систем позволяет исследовать наименее изученные объекты и процессы с большой неопределенностью на начальном этапе постановки задачи.

Класс самоорганизующихся или развивающихся систем характеризуется рядом признаков, особенностей, приближающих их к реальным развивающимся объектам.

Эти особенности, как правило, обусловлены наличием в системе активных элементов и носят двойственный характер: они являются свойствами, полезными для существования системы, приспособляемости ее к изменяющимся условиям среды, но в то же время вызывают неопределенность, затрудняют управление системой.

Рассмотрим основные из этих особенностей более подробно:

- нестационарность (изменчивость, нестабильность) отдельных параметров и непредсказуемость поведения. В конкретных условиях благодаря наличию активных элементов у системы как бы проявляется «свобода воли»;
- уникальность и наличие предельных возможностей, что определяется имеющимися ресурсами (элементами, их свойствами) и характерными для определенного типа систем структурными связями;
- способность адаптироваться (приспосабливаться) к изменяющимся условиям среды и помехам (как к внешним, так и внутренним), что, оказалось бы, является весьма полезным свойством, однако адаптивность может проявляться не только по отношению к помехам, но и по отношению к управляющим воздействиям, что весьма затрудняет управление системой;
- способность противостоять энтропийным (разрушающим систему) тенденциям, обусловленная наличием активных элементов, стимулирующих обмен материальными, энергетическими и информационными продуктами со средой и проявляющих собственные «инициативы», благодаря чему в таких системах не выполняется закономерность возрастания энтропии (аналогичная второму закону термодинамики, действующему в закрытых системах, так называемому «второму началу») и даже наблюдаются неэнтропийные тенденции, т. е. собственно самоорганизация, развитие;
- способность вырабатывать варианты поведения и изменять свою структуру (если это необходимо), сохраняя при этом целостность и основные свойства;
- способность и стремление к целеобразованию; в отличие от закрытых (технических) систем, которым цели задаются извне, в системах с активными элементами цели формируются внутри системы;
- неоднозначность использования понятий. Например, «цель» - «средство», «система» - «подсистема» и т. п. Эта особенность проявляется при формировании структур целей, при разработке проектов сложных автоматизированных комплексов, когда лица, формирующие структуру системы, назвав какую-то ее часть подсистемой, через некоторое время начинают говорить о ней, как о системе, не добавляя

приставки «под», или подцели начинают называть средствами достижения вышестоящих целей, что часто вызывает дискуссии.

Рассматриваемый класс систем можно разбить на подклассы, выделив *адаптивные* или *самоприспосабливающиеся* системы, *самообучающиеся* системы, *самовосстанавливающиеся*, *самовоспроизводящиеся* и т. п. классы, в которых в различной степени реализуются рассмотренные выше и другие особенности.

Перечисленные особенности имеют разнообразные проявления, которые нужно учитывать при исследовании поведения человека, при управлении экономикой, предприятием, городом, страной.

Например, при создании и организации управления предприятиями часто стремятся отобразить их, используя теорию автоматического регулирования и управления, разрабатывающуюся для закрытых, технических систем и существенно искажающую понимание систем с активными элементами. Такое представление способно нанести вред предприятию, сделать его неживым «механизмом», не способным адаптироваться к среде и разрабатывать варианты своего развития.

Рассмотренные особенности противоречивы. Они в большинстве случаев являются и положительными, и отрицательными, желательными и нежелательными для создаваемой системы. Их не сразу можно понять и объяснить. Исследованием причин проявления подобных особенностей сложных объектов с активными элементами занимаются философы, психологи, специалисты по теории систем.

Основные изученные к настоящему времени закономерности построения, функционирования и развития систем, объясняющие эти особенности, будут рассмотрены ниже.

Проявление противоречивых особенностей развивающихся систем и объясняющих их закономерностей в реальных объектах необходимо изучать, постоянно контролировать, отражать в моделях и искать методы и средства, позволяющие регулировать степень их проявления.

При этом следует иметь ввиду *важное отличие* развивающихся систем с активными элементами от закрытых: пытаюсь понять принципиальные особенности моделирования таких систем, уже первые исследователи отмечали что (!) начиная с некоторого уровня сложности, систему легче изготовить и ввести в действие, преобразовать и изменить, чем отобразить формальной моделью.

По мере накопления опыта исследования и преобразования таких систем это наблюдение подтверждалось и была осознана *основная особенность* – принципиальная ограниченность формализованного описания развивающихся, самоорганизующихся систем.

Эта особенность, т. е. необходимость сочетания формальных методов и методов качественного анализа, и положена в основу большинства моделей и методик системного анализа. При формировании таких моделей меняется привычное представление о моделях, характерное для математического моделирования. Изменяется представление и о доказательстве адекватности таких моделей.

Основную конструктивную идею моделирования при отображении объекта классом самоорганизующихся систем можно сформировать следующим образом:

1) разрабатывается или выбирается *знаковая система*.

Такая система может разрабатываться на основе несколько унифицированного естественного языка, с использованием теоретико – множественных, логических, лингвистических и других методов, кратко характеризующихся в следующей теме. Она может быть названа *языком моделирования, языком проектирования* и т. п.;

2) с помощью этой знаковой системы фиксируют известные на данный момент *компоненты* и *связи* между ними;

3) вводятся (принимаются) **правила преобразования** полученного отображения (правила **структуризации** или **декомпозиции**, правила **композиции**, поиска **мер близости** на исследуемом пространстве состояний элементов);

4) путем преобразования полученного отображения с помощью введенных (принятых) правил получают новые данные (неизвестные ранее компоненты, взаимоотношения, зависимости, структуры), которые могут либо послужить основой для принятия решений, либо подсказать последующие шаги на пути подготовки решения;

5) полученные новые результаты включаются в первоначальное описание и процедура преобразования повторяется до тех пор, пока не будет найдено удовлетворительное решение.

Таким образом, можно накапливать информацию об объекте, фиксируя при этом все новые компоненты и связи (правила взаимодействия компонент), и, применяя их, получать отображения последовательных состояний развивающейся системы, постепенно создавая все более адекватную модель реального, изучаемого или создаваемого объекта. При этом информация об объекте может поступать от специалистов различных областей знаний и накапливаться во времени по мере ее возникновения (в процессе познания объекта).

Адекватность модели также доказывается как бы последовательно (по мере формирования модели) путем оценки правильности отражения в каждой последующей модификации модели компонентов и связей, необходимых для достижения поставленных целей.

Иными словами, моделирование становится своеобразным «механизмом» развития системы. Практическая реализация такого «механизма» связана с необходимостью разработки языка моделирования процесса принятия решения. В основу такого языка (знаковой системы) может быть положен один из методов моделирования систем, с которыми мы познакомимся в теме № 2. По мере развития модели методы могут меняться.

Такой подход и является основой постепенной формализации процессов принятия решений, т. е. основой **искусства формализации**.

§4. Закономерности систем.

Для формирования первоначального представления о системе необходимо понимать закономерности ее функционирования и развития. В процессе изучения особенностей функционирования и развития сложных систем с активными элементами был выявлен ряд закономерностей, помогающих глубже понять диалектику части и целого в системе, иерархическую упорядоченность, осуществимость и развитие систем. Эти закономерности помогают формировать более адекватные модели принятия решений. Рассмотрим основные из них.

4.1. Закономерности взаимодействия части и целого.

Целостность.

Закономерность целостности (**эммерджентность**) проявляется в системе в возникновении у нее новых, интегрированных качеств, не свойственных ее компонентам.

Проявление этой закономерности легко пояснить на примерах поведения популяций, социальных систем и даже технических объектов (свойства станка отличаются от свойств деталей, из которых он собран).

Для того, чтобы глубже понять закономерность целостности, необходимо, прежде всего, учитывать две ее стороны:

- 1) свойства системы (целого) не являются простой суммой свойств составляющих ее элементов (частей);
- 2) свойства системы (целого) зависят от свойств составляющих ее элементов (частей).

Кроме этих двух основных сторон, следует иметь в виду, что объединенные в систему элементы, как правило, утрачивают часть своих свойств, присущих им вне системы, т. е. система как бы подавляет ряд свойств элементов. Но, с другой стороны, элементы, попав в систему, могут приобрести новые свойства.

Поясним это на примерах.

Так, из датчиков, транзисторов, резисторов и других деталей может быть собрана система управления станком. При этом система, полученная из деталей – элементов, проявляет новые свойства по сравнению со свойствами каждого из отдельно взятых элементов, а элементы утрачивают при объединении в систему часть своих свойств. Например, транзистор может использоваться в различных режимах работы в разных устройствах – радиоприемнике, телевизоре и т. п., а став элементом системы управления станком, он утратил эти возможности и сохранил только свойство работать в необходимом для этой системы режиме.

Аналогично, некоторая производственная система в рабочее время подавляет у своих элементов-рабочих, например, их вокальные, хореографические и другие способности и использует только те свойства, которые нужны для процесса производства. Особенно подавляет проявление способностей конвейер.

Таким образом, первая сторона закономерности целостности характеризует изменение взаимоотношений системы как целого со средой (по сравнению с взаимодействием с ней отдельно взятых элементов) и утрату элементами некоторых свойств, когда они становятся элементами системы. Эти изменения бывают настолько разительными, что может показаться, будто свойства системы вообще не зависят от свойств элементов. Поэтому необходимо обращать внимание на вторую сторону целостности.

В самом деле, если транзистор или другой элемент вышел из строя или если в систему поставлен датчик с другой чувствительностью, то либо система управления станком вообще перестанет существовать и выполнять свои функции, либо, по крайней мере, изменятся ее характеристики (во втором случае).

Аналогично, замена элементов в организационной структуре системы управления предприятием (СУП) может существенно повлиять на качество функционирования как самой СУП, так и, в конечном итоге, предприятия.

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

В приведенном примере целостность определяется конструкцией системы управления станком, технологической схемой взаимодействия деталей и узлов. А вот в экономических, в организационных системах управления (СУ) не всегда сразу можно понять причину возникновения целостности, и требуется проводить анализ, позволяющий выявить, что привело к возникновению целостных, системных свойств.

Исследованию причин возникновения целостных свойств в теории систем уделяется большое внимание. Однако в ряде реальных ситуаций не удается выявить причины возникновения целостности. Тогда системные представления становятся средством исследования, особенно на начальном этапе, например, на уровне структур, пока не сформирована более детальная модель. Таким образом, с помощью понятий *система* и *структура* можно отображать проблемные ситуации с неопределенностью, при этом как

бы разделяют «большую» неопределенность на более «мелкие», которые в ряде случаев легче поддаются изучению, что помогает выявить причины качественных изменений при формировании целого из частей. Расчленив систему, можно анализировать причины возникновения целостных свойств и их сохранения.

Наряду с изучением причин возникновения целостности, можно получать полезные для практики результаты путем сравнительной оценки степени целостности систем (и их структур) при неизвестных причинах ее возникновения.

В связи с этим обратимся к закономерности, двойственной по отношению к закономерности целостности. Ее называют **физической аддитивностью, независимостью, суммативностью, обособленностью.**

Свойство физической аддитивности проявляется у системы, как бы распавшейся на независимые элементы, тогда система становится простой суммой элементов. Собственно, в этом крайнем случае и говорить о системе нельзя. Но, к сожалению, на практике существует опасность искусственного разложения системы на независимые элементы, даже когда при внешнем графическом изображении они кажутся элементами системы.

Строго говоря, любая развивающаяся система находится, как правило, между состоянием абсолютной целостности и абсолютной аддитивности, и выделяемое состояние системы (ее «срез») можно охарактеризовать степенью проявления одного из этих свойств или тенденций к его нарастанию или уменьшению.

Для оценки этих тенденций Холл ввел две сопряженные закономерности, которые он назвал **прогрессирующей факторизацией** – стремлением системы к состоянию со все более независимыми элементами, и **прогрессирующей систематизацией** – стремлением системы к уменьшению самостоятельности элементов, т. е. к большей целостности.

Общество, как развивающаяся система, всегда стоит перед выбором степени своей целостности. В этом смысле для характеристики различных его состояний как системы на практике вводят различные термины.

Например, **анархия** – беспредельная свобода, хаос, власть толпы, охлократия («охломон» - человек толпы); **свобода** – осознанная необходимость, с учетом прав другой личности; **демократия** – власть народа («демос» - народ), но упорядоченная законами; **порядок** – власть государства; **диктатура, тоталитаризм** (от немецкого “tot” - смерть) – абсолютная власть.

Руководители государства стремятся выбрать промежуточное состояние, которое обеспечило бы и целостные, системные свойства (такие как безопасность, обороноспособность, стабильность экономики и т. п.), и в то же время свободу граждан в проявлении их потребностей и способностей (что способствует развитию системы). Поэтому вводят понятия «**свободная регулируемая экономика**» или «**регулируемый рынок**» (поскольку рынок является основой свободно развивающейся экономики).

При этом следует иметь в виду, что, если через α и β обозначить, соответственно, степень целостности системы и коэффициент использования элементов в ней, которые принимают значения от 0 до 1, то всегда $\alpha + \beta = 1$.

Это означает, что невозможно одновременно обеспечить и большую целостность (устойчивость экономики, безопасность и т. п. общесистемные свойства) и беспредельную свободу граждан. В конкретных условиях нужно выбирать, чем пожертвовать для достижения желаемого в данный период состояния системы.

Интегративность.

Этот термин часто употребляется как синоним целостности. Однако некоторые исследователи (например, Афанасьев) выделяют эту закономерность как самостоятельную, стремясь подчеркнуть интерес не к внешним факторам проявления целостности, а к более глубоким причинам, обуславливающим возникновение этого свойства, к факторам, обеспечивающим сохранение целостности.

Интегративными называют системообразующие, системосохраняющие факторы, в числе которых важную роль играют:

- 1) *неоднородность и противоречивость элементов;*
- 2) *стремление их вступить в коалиции.*

В связи с этим отметим, что носителем целостного знания о мире являются философские концепции, опираясь на которые можно дополнить закономерность интегративности рекомендациями, базирующимися на законы диалектики.

4.2. Закономерности иерархической упорядоченности систем.

Эта группа закономерностей тесно связана с закономерностью целостности, с расчленением целого на части. Однако она характеризует и взаимодействие системы с ее окружением – со средой, надсистемой, подсистемами.

Коммуникативность.

Эта закономерность составляет основу определения Садовского и Юдина, данного нами выше, из которого следует, что система не изолирована от других систем, она связана множеством коммуникаций со средой, представляющей собой, в свою очередь, сложное и неоднородное образование, содержащее *надсистему* (систему более высокого порядка, задающую требования и ограничения исследуемой системе), *подсистемы* (нижележащие, подведомственные системы) и *системы одного уровня с рассматриваемой.*

Такое сложное единство со средой названо *закономерностью коммуникативности*, которая, в свою очередь, легко помогает перейти к иерархичности, как закономерности построения всего мира и любой выделенной из него системы.

Иерархичность.

Закономерность иерархичности или иерархической упорядоченности была в числе первых закономерностей теории систем, которые выделил и исследовал Бертуланфи. На выделении уровней иерархии базируется рассмотренная выше классификация Боулдинга.

Особенности иерархических структур систем (и иерархических систем) наблюдаются и на биологическом уровне развития Вселенной, и в социальных организациях, и при управлении предприятием, объединением, государством, и при представлении замыслов проектов сложных технических комплексов и т. п.

Таким образом, иерархические представления помогают лучше понять и исследовать феномен сложности. Выделим основные *особенности иерархической упорядоченности* с точки зрения полезности их использования в качестве моделей системного анализа.

1. В силу закономерности коммуникативности, которая проявляется не только между выделенной системой и ее окружением, но и между уровнями иерархии исследуемой системы, каждый уровень иерархической упорядоченности имеет сложные взаимоотношения с вышестоящим и нижестоящим уровнями: по отношению к вышестоящему он ведет себя как элемент, а к нижестоящему – как система (целое).

2. Важнейшая особенность иерархической упорядоченности заключается в том, что закономерность целостности проявляется в ней на каждом уровне иерархии. При этом объединение элементов в каждом узле иерархической структуры приводит не только к появлению новых свойств у узла и утрате объединяемыми компонентами свободы проявления некоторых своих свойств, но и к тому, что каждый подчиненный член иерархии приобретает новые свойства, отсутствовавшие у него в изолированном состоянии.

Благодаря этой особенности с помощью иерархических представлений можно исследовать системы и проблемные ситуации с неопределенностью.

3. При использовании иерархических представлений как средства исследования систем с неопределенностью происходит как бы «расчленение» «большой

неопределенности» на более «мелкие неопределенности», лучше поддающиеся исследованию.

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

Причем, это зависит:

а) от цели (разные иерархические структуры могут соответствовать разным формулировкам цели);

б) от выбранной методики структуризации;

в) от лиц, формирующих структуру: при одной и той же цели, если поручить формирование структуры разным лицам, то они, в зависимости от своего опыта, квалификации и знания объекта, могут получить разные структуры, т. е. по-разному раскрыть неопределенность проблемной ситуации.

4.3. Закономерности функционирования и развития систем.

При изучении и создании систем необходимо учитывать принципы их развития во времени, самоорганизации, при выработке которых могут помочь рассматриваемые ниже закономерности.

Историчность.

Любая система не может быть неизменной; она не только возникает, функционирует, развивается, но и погибает. Несложно привести примеры становления, расцвета, упадка (старения) и даже смерти (гибели) биологических и социальных систем.

В то же время в конкретных ситуациях бывает трудно определить эти периоды. Не всегда руководители организаций и конструкторы технических комплексов учитывают, что время является непременной характеристикой системы, что каждая система подчиняется закономерности историчности, и что эта закономерность – такая же объективная, как целостность, иерархичность и др.

Поэтому в практике проектирования и управления системами на эту закономерность обращают все больше внимания. (Например, при разработке технических изделий предусматривают необходимость их уничтожения после истечения срока службы; при разработке уставов предприятий предусматривают раздел о ликвидации предприятия).

Закономерность историчности можно учитывать, не только пассивно фиксируя старение, но и использовать ее для предупреждения «смерти» системы, разрабатывая «механизмы» ее реконструкции, реорганизации для сохранения в новом качестве.

Так, при разработке АСУП рекомендуется примерно в середине «жизненного цикла» разработки предшествующей очереди развития АСУП начинать формирование технического задания на проектирование ее следующей очереди.

Аналогичная процедура предусматривается при обновлении комплексных программ и основных направлений экономического и социального развития страны.

Таким образом, закономерность историчности подсказывает человечеству в целом, государству, отдельному предприятию и даже индивидууму следующую рекомендацию: ***выживай, преобразуясь!***

Закономерность самоорганизации.

В числе основных особенностей самоорганизующихся систем с активными элементами были названы способность противостоять энтропийным тенденциям, способность адаптироваться к изменяющимся условиям, преобразуя, при необходимости, свою структуру и т. п.

В основе этих внешне проявляющихся способностей лежит более глубокая закономерность, базирующаяся на сочетании в любой реальной развивающейся системе двух противоречивых тенденций:

- с одной стороны, для всех явлений, в том числе и для развивающихся, открытых систем справедлив второй закон термодинамики («второе начало»), т. е. стремление к

возрастанию энтропии, неупорядоченности, хаоса, к состоянию с наименьшей потенциальной энергией;

- с другой стороны, наблюдаются негэнтропийные тенденции, т. е. тенденции, снижающие энтропию, повышающие организованность и лежащие в основе эволюции.

Эту особенность развивающихся систем иногда называют **дуализмом**. В иерархических системах дуализм проявляется в том, что, в зависимости от преобладания энтропийных или негэнтропийных тенденций система любого уровня иерархии может либо развиваться в направлении более высокого уровня иерархии и переходить на него, либо, напротив, может происходить энтропийный процесс упадка и перехода системы на более низкий уровень существования.

На практике для того, чтобы охарактеризовать эти тенденции, используют термин **повышение организованности**, порядка. Поэтому закономерность проявления негэнтропийных тенденций удобно назвать **закономерностью самоорганизации**.

В исследование этой закономерности большой вклад внесли бельгийский ученый Пригожин, предложивший направление, называемое **синергетикой**, и украинский ученый Ивахненко, развивающий теорию самоорганизации для технических систем.

Первоначально, опираясь на Бергаланфи, исследователи объясняли способность системы противостоять энтропийным тенденциям открытостью системы, т. е. ее взаимодействием со средой. Но в дальнейшем появились исследования, опирающиеся на **активное начало компонентов системы**.

Существуют подходы, рекомендуемые для повышения организованности находить способы снижения энтропии, повышения упорядоченности деятельности. При этом основой рассматриваемой закономерности является диалектика части и целого в системе, которая была нами рассмотрена с точки зрения строения системы, отображения ее текущего состояния.

Стремясь понять и лучше отразить в модели процесс развития, становления системы, полезно рассматриваемую группу закономерностей дополнить закономерностями, базирующимися на законах диалектики: закономерность изменчивости, устойчивости, единства противоположностей, перехода количественных изменений в качественные.

4.4. Закономерности осуществимости систем.

Проблема осуществимости систем является наименее исследованной. Рассмотрим некоторые из закономерностей, помогающие понять эту проблему и учитывать ее при исследовании, проектировании и организации функционирования систем.

Эквифинальность.

Эта закономерность характеризует как бы предельные возможности систем. Бергаланфи, предложивший этот термин, определил ее как

«способность, в отличие от состояния равновесия в закрытых системах, полностью детерминированных начальными условиями, ... достигать не зависящего от времени состояния, которое не зависит от ее начальных условий и определяется исключительно параметрами системы».

Так, живые организмы по мере эволюции усложняются, и в разные периоды их жизни можно наблюдать различные состояния эквифинальности. В наибольшей мере это проявляется у человека.

Потребность во введении понятия эквифинальности возникает, начиная с некоторого уровня сложности систем. Бергаланфи не получил ответы на вопросы: какие именно параметры в конкретных условиях обеспечивают эквивалентность? Как проявляется закономерность эквивалентности в сообществах, в организационных системах? и т. п. Однако закономерность заставляет задуматься о предельных возможностях организмов, создаваемых предприятиями, систем управления отраслями, регионами, государством.

В качестве примера можно рассмотреть следующие основные уровни, состояния эквивалентности:

материальный уровень, который определяется врожденными потребностями и программами человека (например, самосохранения, т.е. поесть, поспать, одеться, иметь разного рода материальные блага);

эмоциональный уровень (доступные развлечения, эстетическое восприятие мира, потребность в проявлении и реализации чувств и т. п.);

семейно-общественный уровень (реализация программы продолжения рода, создания условий для воспитания потомства, ассоциирующихся традиционно с семьей, семейно-общественным укладом жизни);

социально-общественный, (определяемый соответствующими правилами сообщества, закрепленными в законодательстве, этических нормах, традициях и т. п.);

интеллектуальный, для которого характерна система ценностей, ориентированная, главным образом, на развитие творческих способностей личности.

Эти уровни (и соответствующие им приоритеты) различны у разных людей; проблемы, с ними связанные, могут занимать различное по степени важности место и у различных народов, и у одного и того же народа по мере его развития, и даже у одного и того же человека.

Особый интерес представляют исследования возможных уровней существования социально-общественных систем, что важно учитывать при определении целей развития социума и его образований – города, региона, государства. При этом согласовать противоречивые точки зрения в таких сложных системах помогает системный анализ, который сочетает формальные и неформальные методы, использует интуицию и опыт ЛПР – носителей системы ценностей, способных разрешать противоречия с учетом здравого смысла, необходимости сохранения человечества, региона, страны, планеты Земля.

Закон необходимого разнообразия.

На необходимость учитывать предельную осуществимость системы при ее создании в теории систем обратил внимание Эшби. Он сформировал закономерность с указанным названием. Но наиболее важным является одно из следствий этой закономерности, которое можно упрощенно пояснить следующим образом.

Когда исследователь (ЛПР, наблюдатель) N сталкивается с проблемой D , решение которой для него неочевидно, то объективно имеет место некоторое разнообразие возможных решений V_D (в принципе). Этому разнообразию противостоит разнообразие мыслей исследователя V_N . Задача исследования заключается в том, чтобы свести разнообразие $V_D - V_N$ к минимуму, а в идеале – к нулю.

Таким образом, создавая систему, способную справиться с решением проблемы, обладающей определенным разнообразием (сложностью), нужно обеспечить, чтобы система имела еще большее разнообразие (знание методов решения), чем разнообразие решаемой проблемы, или была способна создать в себе это разнообразие.

Применительно к системам управления (СУ) закон «необходимого разнообразия» может быть сформулирован следующим образом: разнообразие управляющей системы $V_{СУ}$ должно быть больше (или, по крайней мере, равно) разнообразию управляемого объекта $V_{ОУ}$.

Использование этого закона при разработке и совершенствовании СУ предприятиями и организациями помогает увидеть причины проявляющихся в них недостатков и найти пути повышения эффективности управления.

Так, применительно к управлению экономикой страны, объективно возможны такие пути увеличения $V_{СУ}$, как рост численности аппарата управления, повышение его

квалификации, механизация и автоматизация управленческих работ; уменьшение V_{OU} возможно за счет установления более четких и определенных правил поведения компонентов системы (унификация, стандартизация, типизация, введение поточного производства, сокращение номенклатуры деталей, узлов, технологической оснастки, вплоть до типизации организационных структур предприятий, что входит в противоречие с характеристиками, обеспечивающими существование объекта как развивающейся системы).

Можно снижать уровень требований к управлению, т. е. сокращать число контролируемых и регулируемых параметров управляемой системы, что не всегда желательно.

И, наконец, есть еще один путь – например, самоорганизация объектов управления путем создания саморегулирующихся подразделений, предприятий с относительной самостоятельностью и ограничением вмешательства централизованных органов управления. В настоящее время основное развитие получил именно этот последний путь, вначале – на основе хозрасчета, самоокупаемости и т. п., а затем – путем внедрения рыночных принципов в экономику.

закономерность потенциальной эффективности.

Развивая идею известного (в области радиотехники) ученого Котельникова о потенциальной помехоустойчивости систем, Флейшман связал сложность структуры системы со сложностью ее поведения; предложил количественные выражения предельных законов надежности, помехоустойчивости и других качеств системы; и показал, что на их основе можно получить количественные оценки осуществимости систем с точки зрения того или иного качества – оценки ***жизнеспособности и потенциальной эффективности*** сложных систем.

§5. Закономерности целеобразования.

Поскольку системный анализ, в первую очередь, занимается исследованием целей, рассмотрим основные закономерности целеобразования, которые полезно использовать на практике.

Первые две закономерности можно популярно представить на примере Растригина «Мечты влюбленной девушки» (см. Растригин Л. А. Кибернетика и психика).

В саду на скамейке сидит девушка и вспоминает юношу, с которым познакомилась накануне у подруги: «Симпатичный молодой человек, и, кажется, он отличил меня от других: во всяком случае, со мной танцевал дважды...»

Через неделю: «Да, действительно, он чаще других приглашает меня танцевать. Интересно, догадается ли он проводить меня домой?...» Еще через две недели: «Мы уже ходим в кино, театр. Но он не решается даже взять меня за руку. Может быть, пригласить его домой, познакомить с родителями? »

Через год: «Все говорят – жених. Правда, предложения он мне еще не сделал. Но так хорошо в его могучих объятиях... Обо всем забываешь...»

А вот другой пример. Та же девушка, но другой молодой человек. «На вид показался такой приятный, симпатичный. А полез обниматься прямо в прихожей, когда подавал мне

пальто. А у дома даже пытался меня поцеловать. Нет, не пойду к Маринке, если он будет там околачиваться. Наверное, завсегдатай баров, пьяница и хулиган».

Делаем выводы. Очевидно, в обоих случаях цель у девушки была одна: найти друга, чтобы и в кино, и в объятиях было хорошо... Но в первом случае молодой человек ставил девушку в ситуации, когда она выдвигала подцели по мере достижения предыдущей – и добился успеха. А во втором случае юноша хотел, чтобы она сформировала сразу финальную цель, которая пока была ей еще непонятной ... И потерпел фиаско.

Вот так и умелый руководитель должен почувствовать настроение коллектива и не настаивать сразу на понимании выдвигаемой им цели – требования, а как бы «расцепить» цель во времени и добиваться, чтобы подчиненные понимали или даже сами формулировали подцели по мере формирования предыдущей.

5.1. Зависимость представления о цели и формулировки цели от стадии познания объекта (процесса) и от времени.

Приведенный пример и анализ определений понятия «цель» позволяет сделать вывод о том, что, формулируя цель, нужно стремиться отразить в формулировке основное противоречие: ее активную роль в познании, в управлении, и, в то же время, необходимость сделать ее реалистичной, направить с ее помощью деятельность на получение определенного полезного результата.

При этом формулировка цели и представление о цели зависят от стадии познания объекта, и по мере развития представления о нем цель может переформулироваться.

5.2. Зависимость цели от внешних и внутренних факторов.

При анализе причин возникновения и формулируя целей нужно учитывать, что на цель влияют как *внешние* по отношению к системе факторы (внешние требования, потребности, мотивы, программы), так и **ВНУТРЕННИЕ** факторы (потребности, мотивы, программы самой системы и ее элементов, исполнителей цели); при этом последние являются такими же объективными факторами, как и внешние.

Цели могут возникать на основе взаимодействия (противоречий, коалиций) как между внешними и внутренними факторами, так и между внутренними факторами, существовавшими ранее и вновь возникающими в системе.

Эта закономерность характеризует очень важное отличие «открытых», развивающихся систем с активными элементами от технических систем, отображаемых обычно замкнутыми или «закрытыми» моделями, при управлении которыми обычно оперируют понятием «цель» как внешним по отношению к системе.

5.3. Возможность (и необходимость) сведения задачи формулирования обобщающей (общей, глобальной) цели к задаче ее структуризации.

Анализ процессов формулирования обобщенной (глобальной) цели в сложных системах показывает, что эта цель первоначально возникает в сознании руководителя или иного ЛПР не как единичное понятие, а как некоторая достаточно «размытая» область. Исследования психологов показывают, что цель на любом уровне управления вначале возникает в виде некоторого «образа» или «области» цели. При этом достичь одинакового понимания этой области цели всеми ЛПР, по-видимому, принципиально невозможно без ее детализации в виде неупорядоченного или упорядоченного (в структуре) набора одновременно возникающих взаимосвязанных подцелей, которые делают ее более конкретной и понятной для всех участников процесса целеобразования.

Сказанное позволяет сделать вывод о том, что задача формулирования обобщающей цели в сложных системах не только может, но и должна сводиться к задаче структуризации или декомпозиции цели.

Структура цели, коллективно формируемая, помогает достичь одинакового понимания общей цели всеми ЛПР и исполнителями.

5.4. Закономерности формирования структур целей.

Следующие закономерности развивают рассмотренные выше применительно к структурам целей.

Зависимость способа представления целей от стадии познания объекта.

Цели могут представляться в форме различных структур, т. е. с помощью, например, сетевых графиков (декомпозиция во времени), в виде иерархий различного вида (декомпозиция в пространстве), в матричной (табличной) форме.

На начальных этапах моделирования системы, как правило, удобнее применять декомпозицию в пространстве, используя (предпочтительнее) древовидные иерархические структуры.

Представление развернутой последовательности подцелей (функций) в виде сетевой модели требует хорошего знания объекта, знания законов его функционирования, технологии производства и т.п. Иногда сетевая структура может быть сформирована не сразу, а последующие подцели могут выдвигаться по мере достижения предыдущих, т. е. пространство между обобщающей целью и первоначальным пониманием первой подцели будет заполняться постепенно. Такое представление может быть использовано и как средство управления, когда руководитель хорошо представляет себе конечную цель и ее декомпозицию во времени, но не уверен, что конечную сразу поймут исполнители; тогда он может выдвигать перед ними подцели постепенно, по мере достижения предыдущей, корректируя их с учетом мнений и возможностей исполнителей, т. е. «расщепить» цель (как в примере с девушкой).

Перспективным представляется развертывание во времени иерархических структур целей, т. е. сочетание декомпозиции цели в пространстве и во времени.

Проявление в структуре целей закономерности целостности.

В иерархической структуре закономерность целостности (эммерджентности) проявляется на любом уровне иерархии. Применительно к структуре целей это означает, что, с одной стороны, достижение цели вышестоящего уровня не может быть полностью обеспечено достижением подчиненных ей подцелей, хотя и зависит от них, а, с другой стороны, потребности, интересы, программы (как внешние, так и внутренние) нужно исследовать на каждом уровне структуризации, и получаемые разными ЛПР расчленения подцелей, в силу различного раскрытия неопределенности, могут оказаться разными, т. е. разные ЛПР могут предложить разные иерархические структуры целей, а также функций, даже при использовании одних и тех же методик структуризации.

Закономерности формирования иерархических структур целей.

Учитывая, что наиболее распространенным способом представления целей в системах организационного управления являются древовидные иерархические структуры («деревья целей»), рассмотрим основные рекомендации по их формированию.

1. Приемы, применяющиеся при формировании древовидных иерархий целей, можно свести к двум подходам:

а) формирование структур «сверху» - методы структуризации, декомпозиции, целевой или целенаправленный подход;

б) формирование структур целей «снизу» - подход, который называют *морфологическим, лингвистическим, тезаурусным, терминальным*.

На практике обычно эти подходы сочетаются.

2. Цели нижележащего уровня иерархии можно рассматривать как средства для достижения целей вышестоящего уровня; при этом они же являются целями для уровня нижележащего по отношению к ним (свойство «двуликого Януса»). Поэтому в реальных условиях наряду с понятиями *цель*, *подцель* удобно использовать на разных уровнях и понятия *направление*, *программа*, *задание*, *задача* и др.

3. В иерархической структуре по мере перехода с верхнего уровня на нижний происходит как бы смещение рассмотренной выше «шкалы» от цели – направления (цели – идеала, цели – мечты) к конкретным целям и функциям, которые на нижних уровнях структуры могут выражаться в виде ожидаемых результатов конкретной работы с указанием критериев оценки ее выполнения.

4. Для того чтобы структура целей была удобной для анализа и организации управления, к ней рекомендуется предъявлять некоторые требования: расчленение на каждом уровне должно быть соразмерным, а выделенные части – логически независимыми; признаки декомпозиции (структуризации) в пределах одного уровня должны быть едиными; число уровней иерархии и число компонентов в каждом узле должно быть вполне определенным, а для обзорности – не слишком большим (обычно 7 ± 2).

§6. Виды и формы представления структур.

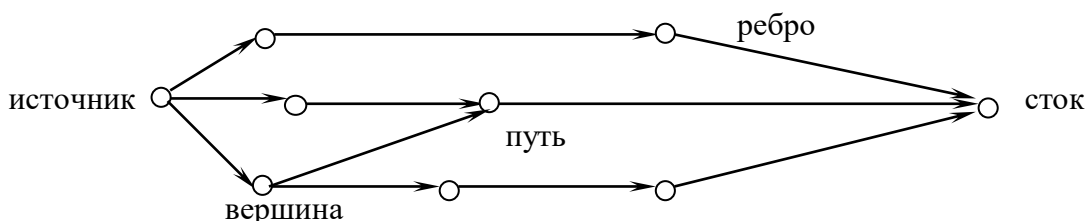
Структурные представления могут являться средством исследования систем. Различные виды структур имеют специфические особенности и могут рассматриваться как самостоятельные понятия теории систем и системного анализа.

Обычно понятие *структура* связывают с графическим отображением. Однако это не обязательно. Структура может быть представлена и в матричной форме, в форме множеств, с помощью языка топологии, алгебры и других средств моделирования систем.

Кратко охарактеризуем основные виды структур.

6.1. Сетевые структуры.

Сетевая структура (или, иначе, сеть) представляет собой декомпозицию системы во времени. Такие структуры могут отображать порядок действий технической системы (телефонная сеть, электрическая сеть, компьютерные сети и т. п.), этапы деятельности человека (при производстве продукции – сетевой график, при проектировании – сетевая модель, при планировании – сетевой план и т. д.).

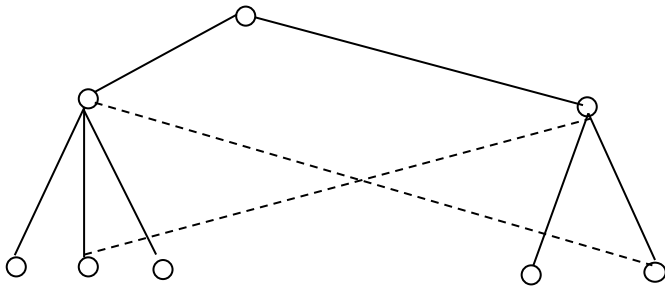


При применении сетевых моделей пользуются определенной терминологией: вершина, ребро, путь, критический путь и т. д.

Элементы сетей могут быть расположены последовательно и параллельно. Сети бывают разные. Наиболее распространены и удобны для анализа *однонаправленные сети*. Но могут быть сети и с обратными связями, с циклами.

6.2. Иерархические структуры.

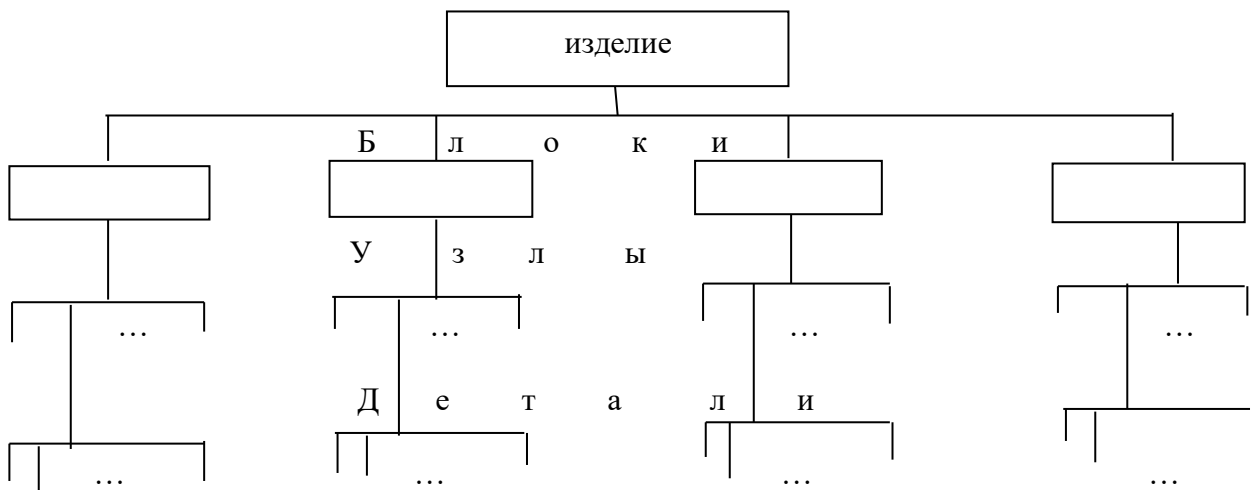
Иерархические структуры представляют собой декомпозицию системы в пространстве. Все компоненты (вершины, узлы) и связи (дуги, соединения узлов) существуют в этих структурах одновременно (не разнесены во времени).



Такие структуры могут иметь не два (как для простоты показано на рисунке), а большее число уровней декомпозиции (структуризации). Структуры, в которых каждый элемент нижележащего уровня подчинен одному узлу (одной вершине) вышестоящего, называют **древовидными структурами**, структурами «типа дерева», структурами, на которых выполняется отношение «древесного порядка», иерархическими структурами с **сильными связями**. Структуры, в которых элемент нижележащего уровня может быть подчинен двум и более

узлам (вершинам) вышестоящего (на рисунке добавились пунктирные линии), называют иерархическими структурами со **слабыми связями**.

Наибольшее распространение имеют древовидные иерархические структуры, с помощью которых представляются конструкции сложных технических изделий и комплексов, структуры классификаторов и словарей, структуры целей и функций и т. п.



Аналогично представляются производственные структуры предприятий: предприятие – производства – цехи – участки, а также организационные структуры предприятий.

Иерархии со «слабыми» связями применяют в тех случаях, когда цели сформулированы слишком близко к идеальным устремлениям и недостаточно средств для их реализации.

В общем случае термин «иерархия» шире: он означает соподчиненность, порядок подчинения низших по должности и чину лиц высшим. Он возник как наименование «служебной лестницы» в религии, широко применяется для характеристики взаимоотношений в аппарате управления государством, армией и т. п. Затем концепция

иерархии была распространена на любой согласованный по подчиненности порядок. Поэтому, в принципе, в иерархических структурах важно лишь выделение уровней подчиненности, а между уровнями и между компонентами в пределах уровня могут быть любые взаимоотношения.

В соответствии с этим, существуют структуры, использующие иерархический принцип, но имеющие специфические особенности, и их целесообразно выделить особо.

6.3. Многоуровневые иерархические структуры.

В теории систем Месаровича (см. Месарович, Мако, Такахара. Теория иерархических многоуровневых систем) предложены особые классы иерархических структур типа «страт», «слоев», «эшелонов», отличающиеся различными принципами взаимоотношений элементов в пределах уровня и различным правом вмешательства вышестоящего уровня в организацию взаимоотношений между элементами нижележащего.

Страты.

При отображении сложных систем основная проблема состоит в том, чтобы найти компромисс между простотой описания, позволяющей составить и сохранять целостное представление об исследуемом или проектируемом объекте, и детализацией описания, позволяющей отразить многочисленные особенности конкретного объекта.

Один из путей решения этой проблемы – задание системы семейством моделей, каждая из которых описывает поведение системы с точки зрения соответствующего уровня абстрагирования. Для каждого уровня существуют характерные особенности, законы и принципы, с помощью которых описывается поведение системы на этом уровне. Такое представление названо *стратифицированным*, а уровни абстрагирования – *стратами*.

В качестве простейшего примера стратифицированного описания можно привести отображение ЭВМ в виде двух страт: нижняя – *физические операции* (система описания на языке физических законов, управляющих работой и взаимодействием ее механических и электронных элементов), верхняя – *математические* и *логические операции* (программирование и реализация программ, осуществляемые с помощью абстрактных, нефизических понятий, информационные потоки, команды языков программирования и т. п.).

При необходимости отражения сложного программного обеспечения может быть рассмотрена еще более высоко расположенная страта – *системная страта*.

Аналогичное представление используется при разработке банков и баз данных, в которых принято выделять физический уровень хранения данных, логический уровень и системно-логический уровень.

В стратифицированном виде можно представить проблему моделирования текста: буквы – слова – предложения – абзацы – текст. При этом могут быть введены правила преобразования элементов одного уровня в другой или, наоборот, разборки текста.

Страты могут выделяться по разным принципам. Например, при представлении СУ предприятием страты могут соответствовать сложившимся уровням управления: управление *технологическими* процессами (собственно производственным процессом) и *организационное* управление предприятием. Если предприятие входит в объединение, то к этим двум стратам может быть добавлен уровень объединения.

На каждой страте может использоваться свое описание, своя модель, но система сохраняется до тех пор, пока не изменится представление на верхней страте – ее концепция, замысел, который нужно стремиться не исказить на каждой последующей страте.

Слои.

Второй вид многоуровневой структуризации предложен Месаревичем для организации процессов принятия решений.

Для уменьшения неопределенности ситуации выделяются **УРОВНИ СЛОЖНОСТИ** принимаемого решения – слои, т. е. определяется совокупность последовательно решаемых проблем. При этом выделение проблем осуществляется таким образом, чтобы решение вышележащей проблемы определяло ограничения (допустимую степень упрощения) при моделировании на нижележащем уровне, т. е. снижало бы неопределенность нижележащей проблемы, но без утраты замысла решения общей проблемы.

Эшелоны.

Понятие многоэшелонной иерархической структуры вводится следующим образом: система представляется в виде относительно независимых, взаимодействующих между собой подсистем; при этом некоторые (или все) подсистемы имеют права принятия решений, а иерархическое расположение подсистем (многоэшелонная структура) определяется тем, что некоторые из них находятся под влиянием или управляются вышестоящими. Уровень такой иерархии называют *эшелоном*.

Основной отличительной особенностью многоэшелонной структуры является представление подсистемам всех уровней определенной свободы в выборе их собственных решений, причем, эти решения могут быть (но не обязательно) не теми решениями, которые бы выбрал вышестоящий уровень. Представление свободы действий в принятии решений компонентам всех эшелонов иерархической структуры повышает эффективность ее функционирования. Возникающие при этом противоречия (конфликты) разрешаются с помощью управляющих воздействий со стороны вышестоящих уровней иерархии. При этом, в зависимости от степени этого воздействия, употребляются термины (понятия) «управление» и «координация».

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

6.4. Матричные структуры.

Взаимоотношения между уровнями иерархической структуры бывает удобно представить в виде матрицы (таблицы). На практике так поступают при, например, оформлении всевозможных планов выполнения сложных работ, поскольку помимо иерархической соподчиненности работ в нем нужно еще указать исполнителей, сроки выполнения, формы отчетности и другие сведения, необходимые для контроля выполнения плана.

Матричные структуры могут быть двух, трех и многомерными.

6.5. Смешанные иерархические структуры с вертикальными и горизонтальными связями.

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

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

Примером такого построения может служить система управления экономикой страны: правительство с его министерствами (общегосударственные органы управления – общегосударственный уровень) – региональные органы управления (администрации регионов, городов), как региональный уровень и, наконец, уровень управления предприятиями и организациями.

В этой структуре существуют как вертикальные связи (сильные и слабые), так и горизонтальные (для выработки согласованных решений и действий, взаимного обмена информацией и т. п.).

В период перестройки экономики, при предоставлении большей самостоятельности предприятиям и организациям горизонтальные связи все больше возникают и на нижних уровнях.

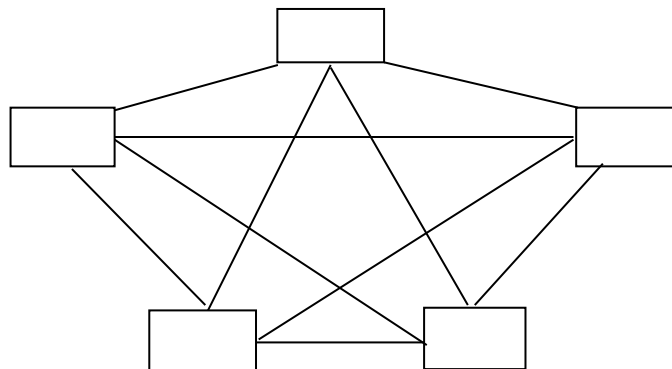
Смешанный характер носит и организационная структура современного предприятия (объединения, акционерного общества и т. п. организаций).

6.6. Структуры с произвольными связями.

Этот вид структур обычно используется на начальном этапе познания объекта, новой проблемы, когда идет поиск способов взаимоотношений между перечисляемыми компонентами, нет ясности в характере связей между элементами, и не могут быть определены не только последовательность их взаимодействия во времени (сетевые модели), но и распределение элементов по уровням иерархии.

При этом важно обратить внимание на достаточно распространенную ошибку при применении произвольных структур.

В связи с неясностью взаимодействий между элементами вначале стремятся установить и представить графически все связи (см. рисунок).



Однако такие представления не добавляют ничего нового к представлению элементов без связей, поскольку принятие решений всегда связано с установлением **НАИБОЛЕЕ СУЩЕСТВЕННЫХ СВЯЗЕЙ**.

Тема №2. Методы и модели теории систем и системного анализа.

§ 1. Проблема принятия решения (ППР).

1.1. Как возникает проблема.

В любой сфере деятельности человек принимает решения. Однако в тех случаях, когда решение задачи базируется на законах физики, химии и других фундаментальных областей знаний, или когда задача может быть поставлена в терминах конкретного класса прикладных задач, для которого разработан соответствующий математический аппарат, применять термин «проблема принятия решения» нет необходимости.

Потребность в этом термине возникает в тех случаях, когда задача настолько усложняется, что для ее постановки и решения не может быть сразу определен подходящий аппарат формализации, когда процесс постановки задачи требует участия специалистов различных областей знаний.

Это приводит к тому, что постановка задачи становится *проблемой*, для решения которой нужно разработать специальные подходы, приемы, методы.

Поясним процесс превращения, казалось бы, достаточно простой задачи в ППР. Рассмотрим пример задачи по перемещению из одного пункта в другой. Такого рода задачи возникают при доставке грузов на предприятие, выпускаемой продукции – потребителю, и, наконец, – повседневно перед каждым человеком при перемещении, например, из дома на работу.

Задачу можно поставить следующим образом:

Задана *цель* – достичь пункта А (или переместить груз из В в А); имеются возможные *средства* – путь (дорога, маршрут), транспорт; требуется: *обеспечить реализацию цели*.

Если нет никаких других оговорок, требований, то задачи, как таковой, собственно, нет, поскольку безразлично, какой маршрут и какие транспортные средства выбрать.

Для того, чтобы возникла необходимость принимать решение (возникла задача), нужно ввести *критерий* (или несколько критериев), отражающий *требования* к достижению цели.

Задачи нет и в тех случаях, когда ЛПР не может задать требования, сформировать критерий достижения цели, или неизвестен набор средств достижения цели, т. е. имеет место *задача с неопределенностью*.

В качестве критерия в рассматриваемой задаче можно, например, принять требование осуществить перемещение «за время t^* » или «к такому-то времени t^* ».

Для решения задачи нужно определить взаимосвязи цели со средствами ее достижения, что в данной задаче легко сделать путем оценки средств (дорога оценивается длиной пути L ; транспорт – скоростью V транспортного средства (в простейшем случае – средней скоростью) и установления связей этих оценок с критерием.

В данном примере в качестве выражения, связывающего цель со средствами, можно использовать закон движения, который в общем виде представляется, как $t = f(L, v)$.

Таким образом, для принятия решения нужно получить выражение, связывающее цель со средствами ее достижения с помощью вводимых критериев оценки достижимости цели и оценки средств.

Если такое выражение получено, то задача решена: изменяя либо v при $L = \text{const}$, либо v и L одновременно, можно получить варианты решения и выбрать из них наиболее приемлемый.

Однако при постановке рассматриваемой задачи могут быть учтены не только обязательные, основные требования, отражаемые с помощью критерия, но и

дополнительные требования, которые могут выступать в качестве *ограничений* (в данной задаче это могут быть, например, затраты на создание или приобретение средств транспортировки грузов, наличие денежных средств у человека, выбирающего вид транспорта, и т. п.).

Такая постановка задачи, предложенная Канторовичем, является основой теории оптимизации и нового направления математики – *математического программирования*, широко используемого в экономике для задач планирования.

Таким образом, для принятия решения необходимо получить *выражение, связывающее цель со средствами ее достижения*. Такие выражения получили в параллельно возникавших прикладных направлениях различные названия: *критерий функционирования, критерий* (или *показатель*) *эффективности, целевая* (или *критериальная*) *функция, функция цели* и т. п.

1.2. Закон – теория – гипотеза - модель.

Получить выражения, связывающие цель со средствами, несложно, если известен *закон* (в рассматриваемом примере – закон движения). Если закон неизвестен, то стараются определить *закономерности* на основе статистических исследований или исходя из наиболее часто встречающихся на практике экономических или функциональных зависимостей.

Если и это не удастся сделать, то выбирают или разрабатывают *теорию*, в которой содержится ряд утверждений и правил, позволяющих формулировать концепцию и конструировать на ее основе процесс принятия решения.

Если и теория не существует, то выдвигается *гипотеза*, и на ее основе создаются *модели*, с помощью которых исследуются возможные варианты решения.

Существуют различные определения понятия «*модель*». Одно из наиболее понятных дал С. Лем: «Моделирование – это подражание природе, учитывающее немногие ее свойства». «Немногие» - это принципиально, поскольку, если пытаться полностью отобразить сложный объект, то получится необозримое описание, и решение не будет принято, а модель для того и создается, чтобы отобразить наиболее существенное для принятия решения.

«Моделируя, следует упрощать» (Лем). При этом на более высоком уровне представления объекта моделирования необходимо учитывать результаты предшествующего уровня.

В наиболее общем случае могут учитываться и варьироваться не только *компоненты* (средства достижения цели) и *критерии* (отражающие требования и ограничения), но и сами *цели*, если первоначальная их формулировка не привела к желаемому результату, т. е. цели неточно отразили потребности ЛПР.

В то же время, при постановке задачи в числе критериев могут быть и принципиально не формализуемые. Например, даже в рассмотренной, казалось бы, простейшей задаче наряду с критерием времени и ограничением по затратам можно учесть и такие, принципиально неформализуемые критерии, как безопасность (для рабочих) транспортировки грузов, удобство приведения в действие транспортно-распределительных устройств или их остановки; такие критерии, как «комфорт».

В этом случае полностью формализованная постановка задачи оказывается нереализуемой. Возможны и другие ситуации, затрудняющие формализацию критериев или формирование выражения, связывающего цель со средствами.

При решении задач организации современного производства требуется учитывать все большее число факторов различной природы, являющихся предметом исследования различных областей знаний. В этих условиях один человек не может принять решение о выборе факторов, влияющих на достижение цели, не может определить существенные взаимосвязи между целями и средствами. В формировании и анализе модели принятия

решения должны участвовать коллективы разработчиков, состоящие из специалистов различных областей знаний, между которыми нужно организовать взаимодействие и взаимопонимание. При этом проблема принятия решений (ППР) становится проблемой коллективного выбора целей, критериев, средств и вариантов достижения цели, т. е. **проблемой коллективного принятия решения**.

Для ППР характерно, как правило, сочетание качественных и количественных методов. Принятие решений в управлении промышленностью (в СУП) часто связано с дефицитом времени: лучше принять, возможно, не самое лучшее решение, но в требуемый срок, так как в противном случае решение может и не понадобиться. Поэтому решение нередко приходится принимать в условиях **неполной информации (неопределенности)**. В таких случаях разрабатывают порядок решения проблемы, методику принятия решений.

В простейшем случае такая методика может включать следующие основные этапы:

- определить область ППР (проблемную ситуацию);
- сформулировать цель или требования, которые нужно обеспечить в результате решения проблемы;
- выявить наиболее значимые (релевантные) факторы, влияющие на решение;
- выбрать или разработать подходы, методы, методику, которые позволяют сформулировать или поставить задачу, а в результате – найти решение.

В более сложных проблемных ситуациях каждый из этих этапов может представлять собой самостоятельную задачу, разделен на подэтапы. Этапы могут повторяться: уточняются цели, подходы, методы.

Для того чтобы помочь в более сжатые сроки поставить задачу, проанализировать цели, определить возможные средства, отобрать требуемую информацию (характеризующую условия принятия решения и влияющую на выбор критериев и ограничений), применяют системные представления, методы системного анализа.

С помощью закономерностей теории систем, рассмотренных в теме №1, и методов системного анализа, рассматриваемых ниже, можно обеспечить взаимодействие и взаимопонимание между специалистами различных областей знаний, участвующими в постановке и решении задачи, помочь исследователям организовать процесс коллективного принятия решения.

Для реализации этого процесса нужно выбрать методы системного анализа. А для обеспечения возможности их сравнения их нужно классифицировать.

§2. Классификация подходов и методов моделирования систем.

2.1. Подходы к созданию системы.

Традиционный подход, применяющийся в математических исследованиях, состоит в следующем: определяют элементы – переменные и связывают их соответствующим соотношением (формулой, уравнением, системой уравнений), отображающим принцип взаимодействия элементов.

Когда задачи усложнились и такое соотношение не удавалось сразу найти, то предлагалось формировать «пространство состояний» элементов и вводить «меры близости» между элементами этого пространства.

Такой же подход пытались вначале применить для исследования сложных систем. Предлагалось обследовать систему, выявить все элементы и связи между ними. При обследовании применялись разные способы:

- 1) **архивный** (изучались документы и архивы предприятия);

- 2) **опросный** или **анкетный** (опрашивались сотрудники, в том числе, с помощью специально разработанных опросников - анкет). Этот подход иногда называли **перечислением** системы.

Однако первые же попытки применить такой подход к исследованию. СУП и СУ организациями, показал, что «перечислить» сложную систему практически невозможно.

В истории разработки АСУ был такой случай. Разработчики написали несколько десятков томов с результатами обследования системы, а так и не смогли приступить к созданию АСУ, поскольку не могли гарантировать полноты описания. Руководитель разработки был вынужден уволиться, а впоследствии стал изучать системный подход и популяризировать его.

Растринг и Граве в книге «Кибернетика и психика» популярно поясняют невозможность такого подхода на примере «Как изучать ресторан?»

«Чтобы нам никто не мешал, проникнем в ресторан глубокой ночью и составим внутренний план помещения. Отметим наличие столов, стульев, шкафов, ... Более дотошный исследователь заглянет «глубже». Он отколупает штукатурку и установит ее химический состав, определит породу дерева, из которого сделаны оконные рамы, взломает шкаф, достанет посуду и узнает название фабрики, которая ее выпускала, произведет тщательный анализ отходов. Он получит массу полезной, но, увы, и бесполезной информации».

Такой подход называют **МОРФОЛОГИЧЕСКИМ** (первый случай) или (второй случай) **ГИСТОЛОГИЧЕСКИМ**. Даже если исследователи напишут подробнейший трактат такого рода, они так и не поймут, что же это такое – ресторан.

Учитывая трудности перечисления системы, с самого начала возникновения системных теорий исследователи искали подходы к ее анализу и созданию.

Приведем основные из них.

Американский исследователь систем Месарович предложил подходы, которые он назвал **целенаправленным** и **терминальным** (от «терм» - элементарная частица, интересующая исследователя).

Польский ученый Куликовски предложил назвать аналогичные подходы **декомпозицией** и **композицией** системы.

Американская корпорация RAND предложила подход к созданию сложных программ и проектов, названный **«деревом целей»**.

В практике используются термины **язык моделирования**, **язык автоматизации проектирования**, **тезаурусный подход** («тезаурус» - термин для описания структуры языка.)

Можно считать, что существуют как бы два подхода к отображению систем:

а) **«сверху»** - методы структуризации, декомпозиции, целевой (целенаправленный) подход;

б) формирование структур целей **«снизу»** - подход, который называют морфологическим, тезаурусным, терминальным.

На практике эти подходы обычно сочетаются. При этом для класса самоорганизующихся, развивающихся систем следует применять подход, основанный на идее **постепенной формализации** процесса принятия решений, включая в модель получаемые по мере проведения исследований все больше результатов и получая, таким образом, все более адекватную модель реального или создаваемого объекта. На определенном этапе можно ввести количественные оценки, и, в результате, в ряде случаев может быть получена формальная модель.

Иными словами, процесс постепенной формализации задачи может стать обоснованием формальной модели с постепенным доказательством ее адекватности на каждом витке моделирования.

Такой подход может быть назван **искусством формализации**.

2.2. Классификация методов моделирования систем.

Постановка любой задачи заключается в том, чтобы перевести ее словесное, *вербальное* описание в *формальное*.

В случае относительно простых задач такой переход осуществляется в сознании человека, который не всегда даже может объяснить, как он это сделал. Если полученная формальная модель (математическая зависимость в виде формулы, уравнения, системы уравнений) опирается на фундаментальный закон или подтверждается экспериментом, то этим доказывается ее адекватность отображаемой ситуации, и модель рекомендуется для решения задач соответствующего класса.

По мере усложнения задач получение модели и доказательство ее адекватности усложняются. Вначале эксперимент становится дорогим, а иногда и опасным (например, при создании сложных технических комплексов, при реализации космических программ и т. д.), а применительно к экономическим объектам эксперимент зачастую просто нереализуем на практике.

Задача переходит в класс ППР, и постановка задачи, формирование модели, т. е. перевод вербального описания в формальное, становится частью процесса принятия решения.

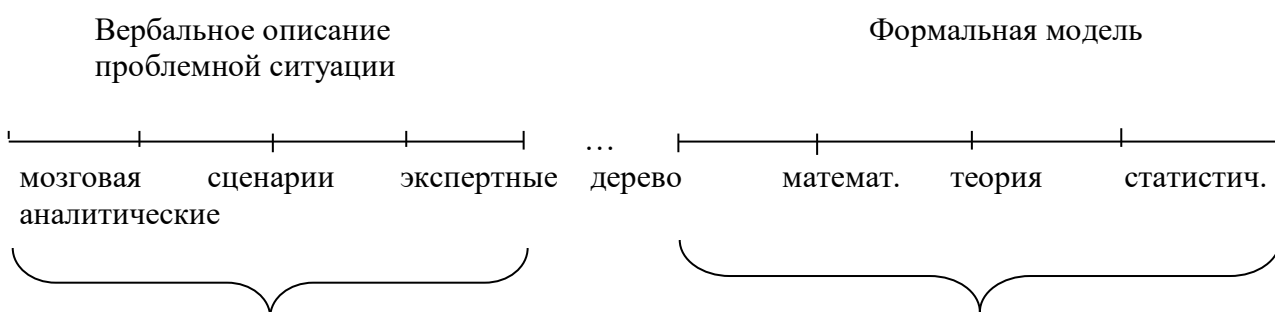
Большинство реальных ситуаций проектирования сложных технических комплексов и управления экономикой необходимо отображать классом самоорганизующихся систем, модели которых должны постоянно корректироваться и развиваться.

В результате перевод вербального описания в формальное, осмысление, интерпретация получаемых результатов становятся неотъемлемой частью практически каждого этапа моделирования сложной, развивающейся системы, «механизма» принятия решений. Возникают вопросы; как формировать такие развивающиеся модели (или «механизмы»), как доказывать адекватность моделей?

Для решения проблемы перевода вербального описания в формальное стали развиваться специальные приемы и методы. Так, возникли методы типа «мозговой атаки», «сценариев», экспертных оценок, «дерева целей» и т. п.

В свою очередь, развитие математики шло по пути расширения средств постановки и решения трудноформализуемых задач. Наряду с детерминированными, аналитическими методами классической математики возникли теория вероятностей и математическая статистика (здесь доказательство адекватности модели заменяется доказательством представительности выборки). Для задач с большой степенью неопределенности инженеры стали привлекать теорию множеств, математическую логику, математическую лингвистику, теорию графов, что во многом стимулировало развитие этих направлений. Математика стала постепенно накапливать средства работы с неопределенностью, со смыслом, который классическая математика исключала из рассмотрения.

Таким образом, между неформальным, образным мышлением человека и формальными моделями классической математики сложился целый «спектр» методов, которые помогают получать и уточнять (формализовать) вербальное описание проблемной ситуации, с одной стороны, и связывать формальные модели с реальностью, с другой (см. рис):



МАИС

МФПС

Поэтому удобным оказывается методы моделирования систем разделить на два больших класса: методы формализованного представления систем (МФПС) и методы, направленные на активизацию использования интуиции и опыта специалистов (МАИС).

Такое разделение методов находится в соответствии с основной идеей системного анализа, которая состоит в сочетании в моделях и методиках формальных и неформальных представлений, что помогает в разработке методик, выборе методов постепенной формализации отображения и анализа проблемной ситуации. Однако строгого разделения на формальные и неформальные методы не существует. Можно говорить только о большей или меньшей степени формализованности или, напротив, большей или меньшей опоре на «здравый смысл». Кстати, системный анализ иногда определяют как «формализованный здравый смысл», или «здравый смысл, на службу которому поставлены математические методы».

Еще раз подчеркнем: специалист по системному анализу должен понимать, что любая классификация условна. Она лишь средство, помогающее ориентироваться в огромном числе разнообразных методов и моделей. Поэтому разрабатывать классификацию нужно обязательно с учетом конкретных условий, особенностей моделируемых систем (процессов принятия решений) и предпочтений ЛПР, которым можно предложить выбрать классификацию.

Отметим, что существуют новые методы, базирующиеся на сочетании средств МАИС и МФПС. Их иногда называют *специальными методами*. К ним относятся такие методы моделирования систем, как имитационное динамическое моделирование, ситуационное моделирование, структурно-лингвистическое моделирование, методы, основанные на информационном подходе к моделированию и анализу систем.

§ 3. Методы формализованного представления систем (МФПС).

3.1. Классификации МФПС.

В большинстве применявшихся при исследовании систем классификаций выделяли *детерминированные* и *вероятностные* (статистические) методы или классы моделей, которые сформировались еще в конце XIX века. Затем появились классификации, в которых в самостоятельные классы выделились *теоретико – множественные представления, графы, математическая логика* и некоторые новые разделы математики.

Например, в классификации современного математического аппарата для инженеров Сигорский выделяет: множества, матрицы, графы, логику и вероятности.

В одной из первых классификаций, предложенных специально для целей системных исследований, академик Кухтенко, наряду с выделением таких уровней математического абстрагирования, как *общеалгебраический, теоретико-множественный, логико-лингвистический*, предлагает рассматривать *информационный и эвристический* уровни изучения сложных систем.

Отметим группы методов, выделенных в классификации Темникова: аналитические методы, статистические методы, теоретико-множественные представления, логические методы, лингвистические и семиотические представления, графические представления.

Существуют и другие классификации.

В любой из классификаций приводятся лишь укрупненные группы - направления, которые непрерывно развиваются, и в их рамках появляются методы с расширенными, по сравнению с исходными, возможностями.

Кроме того, в математике постоянно возникают новые направления как бы «на пересечении» методов, отнесенных к указанным в классификациях группам.

Так, на пересечении аналитических и теоретико-множественных представлений возникла и развивается *алгебра групп*; параллельно в рамках алгебры групп и теории множеств развивается *комбинаторика*; теоретико-множественные и графические представления стали основой возникновения *топологии*; статистические и теоретико-множественные методы инициировали возникновение *теории «размытых» множеств*, которая, в свою очередь, явилась началом развития нового направления – *нечетких формализаций* и т. д.

Практически невозможно создать единую классификацию, которая включала бы все разделы современной математики. В то же время приведенные направления помогают понять особенности конкретных методов, использующих средства того или иного направления или их сочетания, помогают выбирать методы для конкретных приложений.

Все методы современной математики не может знать глубоко ни один специалист, однако при выборе метода важно понимать особенности того или иного направления и возможности его использования, а, выбрав метод, пригласить специалистов, владеющих им.

При выборе метода моделирования для постановки принципиально новых задач с большой начальной неопределенностью удобно связать классификацию методов формализованного представления с классификацией систем.

Так, применительно к классификации Темникова и классификации систем по степени их организованности: если предварительный анализ проблемной ситуации показывает, что она может быть представлена в виде хорошо организованных систем, то можно выбирать методы моделирования из классов аналитических и графических методов; если специалисты по теории систем и системному анализу рекомендуют представить ситуацию в виде *плохо организованных* или *диффузных систем*, то следует обратиться, прежде всего, к статистическому моделированию, а если не удастся доказать адекватность его применения, то надо искать закономерности в специальных методах (например, в экономике, социологии и т. п.); при представлении ситуации классом самоорганизующихся систем следует применять методы дискретной математики, разрабатывая на их основе языки моделирования и автоматизации проектирования и, как правило, формировать модель, сочетая методы из групп МАИС и МФПС.

3.2. Аналитические и статистические методы.

Кратко охарактеризуем особенности, достоинства и недостатки этих классов методов с точки зрения возможности использования при моделировании (представлении) систем.

Аналитическими в рассматриваемой классификации названы методы, которые отображают реальные объекты и процессы в виде точек, совершающих какие-либо перемещения в пространстве или взаимодействующих между собой в соответствии с определенными соотношениями, имеющими силу *закона*.

Основу понятийного (терминологического) аппарата этих представлений составляют понятия классической математики: *величина, формула, функция, уравнение, система уравнений, логарифм, дифференциал, интеграл* и т. д. Для аналитических представлений

характерно не только стремление к строгости терминологии, но и к закреплению за некоторыми специальными величинами определенных букв (символов). Например, удвоенное отношение площади круга к площади вписанного в него квадрата - π , основание натурального логарифма - ℓ , ...

На базе аналитических представлений возникли и развиваются математические теории различной сложности – от аппарата классического *математического анализа* до таких сравнительно новых разделов современной математики, как *математическое программирование* (линейное, нелинейное, динамическое и т. п.), *теория игр* (матричные игры с чистыми стратегиями, дифференциальные игры и т. п.).

Эти теоретические направления стали основой многих прикладных, в том числе, таких как *теория автоматического управления*, *теория оптимальных решений* и т. д.

При моделировании систем применяется широкий спектр символических представлений, использующих «язык» классической математики. Однако далеко не всегда эти символические представления адекватно отражают реальные сложные процессы. Большинство из направлений математики не содержит средств постановки задачи и доказательства адекватности модели. Последняя доказывается экспериментом, который по мере усложнения проблем также становится все более сложным, дорогостоящим, не всегда бесспорен и реализуем.

В то же время в состав этого класса методов, как было указано, входит такое относительно новое направление математики, как *математическое программирование*, которое содержит средства постановки задачи и расширяет возможности доказательства адекватности модели. Привлекательность методов математического программирования для решения слабоформализованных задач (каковыми, как правило, являются задачи планирования, распределения работ и ресурсов, загрузки оборудования и другие задачи управления современным предприятием на начальном этапе их постановки) объясняется рядом особенностей, отличающих эти методы от методов классической математики:

- вводятся понятия *целевая функция и ограничения*, которые являются фактически некоторыми ***средствами постановки задачи***;

- дается представление об *области допустимых решений*;

- появляется *возможность объединения* в единой модели *разнородных критериев* (измеряемых в разных единицах – метрах, килограммах, штуках и т. п.), что очень важно при отображении реальных проектных и производственных ситуаций;

- модель математического программирования допускает (и даже ориентирует на это) *выход за границу области определения переменных*, в то время как методы классической математики требуют введения строгих начальных и граничных условий, значений которых не может принимать переменная в процессе анализа модели;

- изучение методов решения задач математического программирования позволяет получить представление о пошаговом приближении к решению, т. е. *пошаговом алгоритме* получения результатов моделирования.

Обратим внимание на то, что аналитические методы применяются в тех случаях, когда свойства системы можно отобразить с помощью детерминированных величин и зависимостей, т. е. когда знания о процессах и событиях в некотором интервале времени позволяют полностью определить поведение их вне этого интервала.

Эти методы используются при решении задач движения и устойчивости, оптимального размещения, распределения работ и ресурсов, выбора наилучшего пути, оптимальной стратегии поведения, в том числе в конфликтных ситуациях, и т. п.

В то же время при практическом применении аналитических представлений для отображения сложных систем следует иметь в виду, что они требуют установления всех детерминированных связей между учитываемыми компонентами и целями системы в виде аналитических зависимостей. Для сложных многокомпонентных, многокритериальных систем и задач получить требуемые аналитические зависимости крайне трудно. Более

того, даже если это и удастся, то практически невозможно доказать правомерность применения таких выражений, т. е. адекватность модели рассматриваемой задаче.

В этих ситуациях следует обращаться к другим методам моделирования.

Статистические представления сформировались как самостоятельное научное направление в середине XIX века (хотя возникли значительно раньше). Основу их составляет отображение процессов и явлений с помощью случайных (стохастических) событий, поведение которых описывается соответствующими вероятностями (*статистическими характеристиками и статистическими закономерностями*).

Статистические отображения системы в общем случае (по аналогии с аналитическими) можно представить в виде как бы «размытой» точки (размытой области) в n -мерном пространстве, в которую переводит систему (или ее учитываемые в модели свойства) некоторый оператор. При этом «размытую» точку следует понимать как некоторую область, характеризующую движение системы (ее поведение); при этом границы области заданы с некоторой вероятностью ρ («размыты») и движение точки описывается некоторой случайной функцией.

Закрепляя все параметры этой области, кроме одного, можно исследовать зависимость поведения системы от значений этого параметра – получить статистическое распределение по параметру (одномерное). Аналогично можно получить двумерную, трехмерную и т. д. картины статистического распределения. В формализованном виде эти зависимости представляются в виде соответствующих законов распределения случайных величин и их числовых характеристик.

Практическое применение получили, в основном, одномерные распределения, что связано со сложностью получения статистических закономерностей и доказательства их адекватности для конкретных приложений, которые базируются на понятии выборки и ее количественных характеристик.

На базе статистических представлений развивается ряд математических теорий, которые изучают отдельно: *математическая статистика* (объединяющая различные методы статистического анализа); *теория статистических испытаний* (основой которой является метод Монте-Карло); развитие этой теории – *теория статистического имитационного моделирования*; *теория* выдвижения и проверки *статистических гипотез*, базирующаяся на общей *теории статистических решающих функций Вальда*; *теория потенциальной помехоустойчивости*; обобщающая последние два направления *теория статистических решений*, в рамках которой, в свою очередь, возникли новые полезные для практики направления.

Перечисленные направления в большинстве своем носят теоретико-прикладной характер и возникали из потребностей практики. В то же время есть ряд дисциплин, которые носят более выраженный прикладной характер. В их числе: *статистическая радиотехника*, *статистическая теория распознавания образов*, *экономическая статистика*, *теория массового обслуживания*, а также развившиеся из направлений, возникших на базе аналитических представлений, *стохастическое программирование*, новые разделы *теории игр* и т. п.

Расширение возможностей отображения сложных систем и процессов по сравнению с аналитическими методами можно объяснить тем, что при применении статистических представлений процесс постановки задачи как бы частично заменяется статистическими исследованиями, позволяющими, не выявляя все статистические связи между изучаемыми объектами (событиями) или учитываемыми компонентами сложной системы, на основе выборочного исследования (исследования представительной (репрезентативной) выборки) получать статистические закономерности и распространять их на поведение системы в целом.

Однако, если не удастся доказать репрезентативность выборки или для этого требуется недопустимо большое время, то применение статистических методов может привести к неверным результатам.

В таких случаях целесообразно обратиться к методам, объединяемым под общим названием – *методы дискретной математики*, которые помогают разработать языки моделирования, модели и методики постепенной формализации процесса принятия решения.

3.3. Методы дискретной математики (теория множеств, математическая логика, математическая лингвистика, семиотика, графы).

Теоретико – множественные, логические, лингвистические, семиотические, графические методы возникали как самостоятельные направления и первоначально развивались независимо друг от друга. В последующем обобщающий аппарат теоретико-множественных представлений оказался столь удобным, что позволил объединить эти представления в единую область – *дискретную математику*.

В то же время, для того, чтобы правильно применять методы, полезно кратко рассмотреть особенности и возможности всех названных групп методов.

Теоретико – множественные представления.

Они базируются на таких понятиях, как *множество*, *элементы* множества, *отношения* на множествах. Понятие «множество» относится к числу интуитивно постигаемых понятий, которым трудно дать определение. Это понятие содержательно эквивалентно понятиям *совокупность*, *собрание*, *ансамбль*, *коллекция*, *семейство*, *класс* и другим обобщающим понятиям.

Один из основоположников теории множеств Кантор дал такое определение: «множество – это многое, мыслимое нами как единое».

При использовании теоретико-множественных представлений, в соответствии с концепцией Кантора, можно вводить *любые отношения*, которые особенно наглядны применительно к операциям объединения, пересечения и дополнения (отрицания), когда они представлены в виде диаграмм (кругов) Эйлера – Венна.

Теории, развивающиеся на базе теоретико-множественных представлений, первоначально использовали отношения, подобные функциям алгебры логики, и, в первую очередь, *бинарной алгебры логики Буля*. В большинстве работ эти представления излагаются на примере теории чисел, для развития которой достаточно основных элементарных отношений: принадлежности (\in , \notin), включения (\subset , $\not\subset$), объединения (\cup), пересечения (\cap), отрицания (\neg).

По мере приложения теоретико-множественных представлений к более сложным проблемам отношения начинают заимствоваться из математической лингвистики (которую теория множеств, в свою очередь, помогает развивать), а при отображении особо сложных проблемных ситуаций с неопределенностью формируемую или исследуемую систему отображают множествами с отношениями произвольного типа (так, при применении теоретико-множественных представлений в ситуационном моделировании используются отношения «*быть над*», «*быть под*», «*находиться рядом*» и т. п., которые допустимо обозначить в разрабатываемом на этой основе языке моделирования произвольными символами, удобными для ЛПР).

Множества можно преобразовать путем установления взаимоотношений между элементами разных исходных множеств. Из двух или нескольких множеств можно сформировать новое множество. Так, из множеств «женихи» и «невесты» в ЗАГСе путем

проведения соответствующей операции (процедуры регистрации брака) формируется множество «семьи», которое состоит из принципиально новых элементов: мужа и жены.

Важным понятием для использования теоретико-множественных представлений является понятие *континуума* (от латинского *continuum* - непрерывный) – обобщающего множества (как бы единого непрерывного пространства), в рамках которого осуществляются операции над множествами. В случае моделирования развивающихся систем *континуум* постоянно видоизменяется.

Благодаря тому, что, в соответствии с первоначальной концепцией Кантора, при применении теории множеств допустимо введение любых, произвольных отношений, теоретико – множественные представления стали использоваться как обобщающий язык при сопоставлении различных направлений математики и других дисциплин.

Теоретико-множественные представления явились основой для возникновения ряда новых направлений и для развития существующих, таких как *теория чисел, комбинаторика, топология, теории «размытых» множеств*, а также создания *информационно – поисковых языков, языков автоматизации моделирования, математической теории систем*.

Использование теоретико - множественных представлений при моделировании систем позволяет организовать взаимодействие и взаимопонимание между специалистами различных областей знаний. Это достигается путем описания системы на языке моделирования, базирующемся на теоретико – множественных представлениях.

Математическая логика.

Базовыми понятиями математической логики являются: высказывание, предикат, логические функции (операции), кванторы, логический базис, логические законы (законы алгебры логики).

Под высказыванием в алгебре логики понимается повествовательное предложение (суждение), которое характеризуется определенным значением истинности. В простейших случаях используются два значения истинности: истинно - ложно, да – нет, 1 – 0. Такая алгебра логики, в которой переменная может принимать только два значения истинности, называется *бинарной алгеброй логики Буля* (по имени ее создателя).

Предикат – выражение, грамматически имеющее форму высказывания, но содержащее переменные некоторых подмножеств, на которых они определены. При замене переменных элементами соответствующего подмножества предикат обращается в высказывание. Частным случаем предиката является *пропозиционная функция* – функция одной или нескольких переменных, принимающих значения в множестве, состоящем из двух элементов: единица и нуль.

Применение переменных высказываний служит для выражения общности и позволяет формировать законы алгебры логики для любых высказываний данного вида.

Из одного или нескольких высказываний или предикатов можно образовывать новые высказывания или предикаты. Объединение простых высказываний в сложные производится на основе определенных логических правил (операций, функций).

Кроме логических функций, в логике предикатов имеются еще операции, называемые «кванторами».

Кванторы – это специальные операции, которые служат для выражения общности суждений и связанных с ними понятий и позволяют на формальном языке исчисления предикатов говорить не об одном объекте, а о целом классе объектов (это кванторы общности \forall , существования \exists и единственности $E!$).

Полную систему логических функций называют логическим базисом. Для того чтобы система функций представляла собой базис, она должна обладать определенными свойствами.

В условиях выполнения требований к базису в алгебре логики доказывают теоремы, демонстрирующие свойства операций над высказываниями. Такие доказуемые теоремы называют законами алгебры логики. Применяя эти законы, формально можно получить правильный результат, не вникая в смысл исследований.

Логические представления сыграли большую роль в развитии теоретической основы алгоритмизации и программирования. В частности, они лежат в основе *теории алгоритмов*.

Логические представления применяют при исследовании новых структур систем разной природы (технических объектов, текстов и др.), в которых характер взаимодействия между элементами не настолько ясен, чтобы возможно было их представление аналитическими методами, а статистические исследования либо затруднены, либо не привели к выявлению устойчивых закономерностей.

В то же время следует иметь в виду, что с помощью логических алгоритмов можно описать не любые отношения, а лишь те, которые предусмотрены законами алгебры логики.

В настоящее время логические представления широко применяются при исследовании и разработке автоматов разного рода, автоматических систем контроля, при решении задач распознавания образов. На их основе развивается самостоятельный *раздел теории формальных языков* моделирования проблемных ситуаций и текстов.

В то же время смысловыражающие возможности логических методов ограничены базисом и не всегда позволяют адекватно отобразить реальную проблемную ситуацию. Поэтому стали предприниматься попытки создания логик, в которых переменная может принимать не только крайние значения «истинно» - «ложно», но и какие-либо из промежуточных значений – так называемых *многозначных логик*, вплоть до непрерывной. Пока эти попытки, в основном, неудачны из-за трудностей создания соответствующего непротиворечивого логического базиса.

Лингвистические, семиотические представления.

Математическая лингвистика и семиотика – самые «молодые» методы формализованного отображения систем.

Математическая лингвистика возникла во второй половине XIX века как средство формализованного изучения естественных языков и вначале развивалась как *алгебраическая лингвистика*, первые полезные результаты которой связаны со структурным (иначе, структуралистским) подходом к исследованию естественного языка. В силу отсутствия в тот период концепции развития языка эти работы привели к тупику в попытках построения универсальной формальной грамматики, поэтому был период, когда структурализм считался неперспективным направлением развития науки о языке и даже был гоним.

Активное возрождение математической лингвистики началось в 50 – 60-е годы XX века и связано в значительной степени с потребностями прикладных технических дисциплин, усложнившиеся задачи которых перестали удовлетворять методы классической математики, а в ряде случаев – и формальной математической логики.

Семиотика возникла как наука о *знаках, знаковых системах*. Однако некоторые школы семиотики равноправно пользуются понятиями математической лингвистики, такими как *тезаурус, грамматика, семантика* и т. п., не выделяя при этом в отдельное направление *лингвосемиотику*. В то же время именно в лингвосемиотике достигнуты наиболее конструктивные результаты, которые могут быть полезны при исследовании систем различной физической природы.

Поэтому для целей приложения математической лингвистики и семиотики к системным исследованиям удобно рассматривать эти направления совместно, не оговаривая особо, что фактически речь идет о лингвосемиотике.

Основными понятиями, на которых базируются лингвистические представления, являются такие понятия: тезаурус, грамматика, семантика, прагматика.

Термин *тезаурус* (в переводе с греческого – сокровищница, богатство, клад, запас и т. п.) в общем случае характеризует «совокупность научных знаний о явлениях и законах внешнего мира и духовной деятельности людей, накопленную всем человеческим обществом». В информатику этот термин введен в 1956 году Кемориджской группой по изучению языков. (В эпоху Возрождения тезаурусами называли энциклопедии).

В математической лингвистике и семиотике термин «тезаурус» используется в более узком смысле, для характеристики конкретного языка, его многоуровневой структуры. Для этих целей удобно пользоваться одним из принятых в лингвистике определений: «*Тезаурус* – множество смысловыражающих элементов языка с заданными смысловыми отношениями».

Это определение позволяет представить структуру языка в виде уровней (страт) множеств (например, слов, словосочетаний, предложений, абзацев и т. п.), смысловыражающие элементы каждого из которых формируются из элементов предшествующих структурных уровней.

Иногда вместо термина «смысловыражающие элементы» используется термин «синтаксические единицы» тезауруса, который, вообще говоря, менее удачен, поскольку не отражает появление смысла при переходе на новый уровень.

В таком толковании понятие тезауруса можно использовать при создании искусственных языков – языков моделирования, автоматизации проектирования, информационно – поисковых языков – поскольку позволяет охарактеризовать язык с точки зрения уровней обобщения.

Можно говорить о *глубине тезауруса* того или иного языка, характеризуемой числом уровней, о *видах уровней обобщения*, и, пользуясь этими понятиями, сравнивать языки, выбирать более подходящий для рассматриваемой задачи или, охарактеризовав структуру языка, организовать процесс его разработки.

Под *грамматикой* понимаются правила, с помощью которых формируются смысловыражающие элементы языка. Грамматику иногда называют *синтактикой*, *синтаксисом*, что сужает понятие грамматики, исключая из него *морфологию*.

Пользуясь этими правилами, можно *порождать* (формировать) грамматически (синтаксически) правильные конструкции или *распознавать* их грамматическую правильность.

Термин «грамматика» употребляется в лингвистике и как укороченная замена термина «формальная грамматика», который имеет иной смысл.

Под *семантикой* понимается *содержание, значение, смысл* формируемых или распознаваемых конструкций языка, под *прагматикой* – полезность для данной цели или задачи.

Например, иллюстрацией синтаксической правильности и семантической бессмыслицы может быть предложение: «Глокая куздра тшето борзданула бокра и курдычет бокренка» (здесь нет ни одного слова естественного языка, имеющего смысл). Или еще: «Муха лукаво всплеснула зубами» - синтаксически верно, но бессмысленно в обиходной речи, т. е. семантически неверно. И еще: «Маленькая девочка собирает цветы на лугу» - для директора предприятия прагматически неверно. Иное дело «Иванов (работник предприятия) собирает цветы на лугу» (вместо того, чтобы быть на рабочем месте).

При создании и использовании искусственных языков применяют такие понятия структурной лингвистики, как «порождающая» и «распознающая» грамматика.

Под *порождающей грамматикой* понимается совокупность правил, с помощью которых обеспечивается возможность формирования (порождения) из первичных элементов (словаря) синтаксически правильных конструкций.

Под *распознающей грамматикой* понимаются правила, с помощью которых обеспечивается возможность распознавания синтаксической правильности предложений, фраз или других фрагментов языка.

На базе лингвистических представлений развивается *теория формальных грамматик* (иначе, *теория формальных языков*). **Формальный язык** определяют как множество предложений (или цепочек), каждое из которых имеет конечную длину и построено с помощью некоторых операций (правил) из конечного множества элементов (символов), составляющих алфавит языка. Естественно, что вид порождаемых предложений зависит от вида правил (исчисления) и от последовательности их применения (алгоритма). Очевидно понятие «грамматически правильно» - то-есть, соответствует правилам рассматриваемой грамматики.

Создавая предложения по формальным правилам, можно при этом не вполне соответствовать нормам естественного языка. Так, поступая по правилам (в соответствии с формальной грамматикой), разработанным на основе пушкинского стиля, мы бы могли получить, например, такое предложение: «Я решение свое принял правильное»(подобно фразе «Я памятник себе воздвиг нерукотворный»).

Аналогично можно создавать языки моделирования структур, языки автоматизации проектирования сложных устройств и систем определенного класса, используя различные формальные грамматики (соответствующие решаемой задаче).

При разработке языков программирования, языков моделирования, языков автоматизации проектирования (и иных формальных языков) необходимо учитывать следующую закономерность:

чем большими смысловыражающими возможностями обладает знаковая система, тем в большей мере растет в ней число алгоритмически неразрешимых проблем (т. е. тем менее доказательны в ней формальные процедуры).

Семиотические представления пользуются другими, по сравнению с математической лингвистикой, средствами исследования семантических возможностей языков. В частности, понятием «*треугольника Фреге*», согласно которому любой знак имеет **форму**, **синтаксис** (обозначаемое знаком) и **семантику** (смысл, значение). Такая исходная терминология позволяет конструировать грамматику, используя более широкий спектр отношений, которые могут иметь произвольный вид. Такие языки необходимы при расшифровке, например, древних рукописей, при автоматизации процесса перевода с одного языка на другой. Создание таких языков - сложный и трудоемкий процесс.

Графические методы.

Понятие *граф* первоначально было введено Леонардом Эйлером. *Графические представления* позволяют наглядно отображать структуры сложных систем и процессов. Они могут рассматриваться как промежуточные между МФПС и МАИС.

(Действительно, такие средства как графики, диаграммы, гистограммы, древовидные иерархические структуры можно отнести к средствам активизации интуиции специалистов).

В то же время, есть и возникшие на основе графических представлений методы, которые позволяют ставить и решать вопросы организации процессов управления, проектирования и являются математическими методами в традиционном смысле.

Таковы, в частности, **геометрия**, **теория графов** и возникшие на основе последней прикладные теории – PERT (Program Evaluation and Review Technique – Методика оценки и контроля программ), **сетевого планирования и управления (СПУ)**, позднее и ряд методов **статистического сетевого моделирования**.

В связи с большой распространенностью сетевого планирования остановимся кратко на его недостатках.

При формировании сетевых планов необходимо участие высококвалифицированных специалистов, хорошо знающих процессы, происходящие в системе (эту работу нельзя поручить техническим работникам, которые полезны лишь при оформлении сетевых графиков и обработке результатов оценки).

Отметим, кроме того, что доля «ручного» труда ЛПР при разработке сетевого графика составляет по оценкам специалистов, до 95% общих затрат времени на анализ ситуаций и процессов с использованием сетевого моделирования.

Для снижения доли «ручного» труда полезно сочетать графические представления с лингвистическими и семиотическими, разрабатывая языки автоматизации формирования сетевой модели.

Завершая рассмотрение методов дискретной математики, следует отметить, что необходимость в их использовании возникает в тех случаях, когда алгоритм, который всегда, в конечном итоге, желательно получить для обеспечения процесса принятия решения, не удастся сразу представить с помощью аналитических или статистических методов. В этих случаях теоретико – множественные, логические, лингвистические или графические методы помогают зафиксировать в алгоритме опыт или эвристики ЛПР.

§ 4. Методы активизации интуиции и опыта специалистов (МАИС).

Рассматриваемые ниже подходы и методы возникали и развивались как самостоятельные и для обобщения в теории систем вначале их называли *качественными* или *экспертными*, поскольку они представляют собой подходы, в той или иной мере активизирующие выявление и обобщение мнений опытных специалистов – экспертов (в широком смысле термин «эксперт» в переводе с латинского означает «опытный»).

Однако есть и особый класс методов, связанных с *непосредственным опросом экспертов, который называют методом экспертных оценок*.

Поэтому был предложен обобщающий термин, вынесенный в название параграфа. Этот термин, хотя и несколько громоздкий, в большей мере, чем другие, отражает суть методов, к которым прибегают специалисты в тех случаях, когда не могут сразу описать рассматриваемую проблемную ситуацию аналитическими зависимостями или выбрать иной из методов формализованного представления для формирования модели принятия решения.

4.1. Методы типа «мозговой атаки» и «сценариев».

Концепция *мозговой атаки* или *мозгового штурма* получила широкое распространение с начала 50-х годов XX века как «метод систематической тренировки творческого мышления», направленный на «открытие новых идей и достижение согласия группы людей на основе интуитивного мышления».

Мозговая атака основана на гипотезе, что среди большого числа идей имеется по меньшей мере несколько хороших, полезных для решения проблемы, которые нужно выявить.

Методы этого типа известны также под названием *коллективной генерации идей (КГИ), метода обмена мнениями*.

Обычно при проведении мозговой атаки или сессии КГИ стараются выполнить определенные правила, суть которых сводится к тому, чтобы обеспечить как можно большую свободу мышления участников КГИ и высказывания ими новых идей. Для этого рекомендуется сформулировать проблему в основных терминах, выделив центральный пункт обсуждения, высказывать и подхватывать любые идеи, даже если они вначале

кажутся сомнительными или абсурдными (обсуждение и оценки идей проводятся позднее), не допускать критики, не объявлять ложной и не прекращать обсуждать ни одну идею, высказывать как можно больше идей (желательно нетривиальных), стараться создавать как бы цепные реакции идей, оказывать, поддержку и поощрения, необходимые для того, чтобы освободить участников от скованности.

В зависимости от принятых правил и жесткости их выполнения различают *прямую мозговую атаку, метод обмена мнениями, методы типа комиссий, судов* (в последнем случае создаются две группы: одна группа вносит как можно больше предложений, а вторая старается их максимально раскритиковать). Мозговую атаку можно проводить в форме *деловой игры* и т. п.

На практике подобием сессий КГИ являются совещательные органы разного рода: конструктораты, директораты, заседания ученых и научных советов, специально создаваемые временные комиссии, комитеты, «мозговые тресты», не опирающиеся на постоянный персонал, и т. п.

В реальных условиях достаточно трудно обеспечить жесткое выполнение требуемых правил, создавать атмосферу мозговой атаки: на конструкторатах, директоратах, заседаниях советов мешает влияние должностной подчиненности; собрать специалистов на межведомственные комиссии трудно. Поэтому желательно применять способы опроса компетентных специалистов, не требующие их присутствия и устного высказывания своих мнений в конкретном месте и в конкретное время. Методами типа «сценариев» называют методы подготовки и согласования представлений о проблеме или анализируемом объекте, изложенных в письменном виде. Первоначально «сценарий» предполагал подготовку текста, содержащего логическую последовательность событий или возможные варианты решения проблемы, развернутые во времени. Однако позднее обязательное требование временных координат было снято, и «сценарием» стал называться любой документ, содержащий анализ рассматриваемой проблемы и предложения по ее решению или по развитию системы, независимо от того, в какой форме он представлен.

Как правило, на практике предложения для подготовки подобных документов пишутся экспертами вначале индивидуально, а затем формируется согласованный текст.

«Сценарий» предусматривает не только содержательные рассуждения, помогающие не упустить детали, которые невозможно учесть в формальной модели (в этом, собственно, и заключается основная роль сценария), но и содержит, как правило, результаты количественного технико – экономического или статистического анализа с предварительными выводами. Группа экспертов, подготавливающая «сценарий», пользуется обычно правом получения необходимых сведений от предприятий и организаций.

На практике по типу «сценариев», например, разрабатывались прогнозы в отраслях промышленности. Их разновидностью можно считать комплексные программы научно – технического прогресса, а также его социально – экономических последствий.

В последнее время понятие «сценария» расширяется: в него вводятся количественные параметры и устанавливаются их взаимозависимости, предлагаются методики подготовки «сценария» с использованием ЭВМ.

Однако «сценарий» - это все же текст со всеми свойствами естественного языка, обуславливающими возможность его неоднозначного толкования. Поэтому его следует рассматривать как основу для разработки более формализованного представления о будущей системе или решаемой проблеме.

4.2. Методы структуризации.

Структурные представления разного рода позволяют разделить сложную проблему с большой неопределенностью на более мелкие, лучше поддающиеся изучению, что можно

рассматривать как некоторый метод исследования, именуемый иногда *системно – структурным*.

Виды структур, получаемые путем расчленения системы во времени (сетевые структуры) или в пространстве (иерархические структуры разного рода, матричные структуры) были рассмотрены в теме № 1.

Методы структуризации являются основой любой методики системного анализа, любого сложного алгоритма организации проектирования или принятия управленческого решения.

4.3 Методы экспертных оценок.

Изучению особенностей и возможностей применения экспертных оценок посвящено много работ. В них рассматриваются:

- 1) проблемы формирования экспертных групп, включая требования к экспертам, размеры группы, вопросы тренировки экспертов, оценки их компетентности;
- 2) формы экспертного опроса (анкетирование, интервью, смешанные формы опроса) и методики организации опроса (в том числе, методики анкетирования, мозговая атака, деловые игры и т. п.);
- 3) подходы к оцениванию (ранжирование, нормирование, различные виды упорядочивания, в том числе, методы предпочтения, попарных сравнений и т. п.);
- 4) методы обработки экспертных оценок;
- 5) способы определения согласованности мнений экспертов, достоверности экспертных оценок и методы повышения согласованности оценок путем использования соответствующих способов обработки результатов экспертного опроса.

Разновидностью экспертного опроса являются социологические измерения. При их проведении обычно используют качественные шкалы разного рода, которым становятся в соответствие количественные оценки степени значимости (“очень важно”, “важно”, “скорее важно, чем нет” и т. д.) или оценивается введённый в вопросе качественный признак (в форме “ полностью согласен”, “согласен”, “не согласен”, “категорически не согласен”, или “да”, “скорее да, чем нет”, “скорее нет, чем да”, “нет” и т. д.).

При этом могут применяться соответствующие методы обработки результатов; например, при использовании шкалы Лайкерта задаваемые вопросы оцениваются по пятибалльной шкале (5 – “полностью согласен”, 4 – “согласен” и т. д.), а при обработке результатов опроса при этом используется метод суммарных оценок.

Выбор подходов и методов зависит от конкретных задач и условий проведения экспертизы. Однако существуют некоторые общие проблемы, которые необходимо понимать при проведении любых экспертных опросов.

Кратко охарактеризуем их.

Возможность использования экспертных оценок, обоснование их объективности обычно базируются на том, что неизвестная характеристика исследуемого явления трактуется как случайная величина, отражением закона распределения которой является индивидуальная оценка специалиста – эксперта о достоверности и значимости того или иного события.

При этом предполагается, что истинное значение исследуемой характеристики находится внутри диапазона экспертных оценок, получаемых от группы экспертов, и что обобщенное коллективное мнение является достоверным.

Однако не для любых опросов это справедливо.

Проблемы, для решения которых применяются экспертные оценки, можно разделить на два класса.

К первому классу относятся проблемы, которые достаточно хорошо обеспечены информацией и для которых можно использовать “принцип хорошего измерителя”, считая эксперта хранителем большого объема информации, а групповое мнение экспертов – близким к истинному.

Ко второму классу относятся проблемы, в отношении которых знаний для уверенности в справедливости названных предложений недостаточно, экспертов нельзя рассматривать как “хороших измерителей”, и необходимо осторожно подходить к обработке результатов экспертного опроса, поскольку в этом случае мнение одного (единичного) эксперта, больше внимания, чем другие, уделяющего исследованию малоизученной проблемы, может оказаться наиболее значимым, а при формальной обработке оно будет утрачено. В связи с этим к задачам второго класса, в основном, следует применять качественную обработку результатов. Использование методов усреднения (справедливых для “хороших измерителей”) в данном случае может привести к существенным ошибкам.

Задачи коллективного принятия решений по формированию целей, совершенствованию методов и форм управления обычно можно отнести к первому классу. При этом для повышения объективности результатов нужно при обработке оценок выявлять противоречивые и “редкие ” мнения и подвергать их более тщательному анализу.

Другая особенность, которую нужно иметь в виду при применении экспертных оценок, заключается в следующем: даже в случае решения проблем, относящихся к первому классу, нельзя забывать о том, что экспертные оценки несут в себе не только *узкосубъективные черты*, присущие отдельным экспертам, но и *коллективносубъективные черты*, которые не исчезают при обработке результатов опроса (а при применении характеризуемой ниже Дельфи–процедуры и методов повышения согласованности мнений экспертов даже могут усиливаться).

Один из способов устранения недостатков, связанных с рассматриваемой особенностью, – при применении экспертных опросов для принятия решений в организационных системах обращать особое внимание на формирование экспертной группы на методы обработки результатов опроса, особо выделяя и учитывая редкие и противоречивые мнения; а на получаемые усредненные оценки смотреть как на некоторую “общественную точку зрения”, зависящую от уровня знаний общества относительно предмета исследования, который может изменяться по мере развития системы и наших представлений о ней. Такой способ получения информации о сложной проблеме должен стать своего рода “механизмом” в сложной системе, т. е. необходимо создавать регулярную систему работы с экспертами.

Есть ещё одна особенность, которую называют “эффектом Эдипа”. Она заключается в том, что эксперт – лидер при организации экспертного опроса в форме Дельфи – процедуры с устным обсуждением результатов оценки между турами опроса может постепенно “увести” группу экспертов в желаемом направлении.

Рассмотренные особенности экспертных оценок приводят к необходимости разработки методов организации сложных экспертиз, которые помогают, расчлняя большую неопределенность на части, вводя критерии оценки и применяя различные формы опроса, получать более объективные и достоверные оценки.

В качестве одного из методов повышения согласованности экспертных оценок применяют Дельфи–метод, или метод “дельфийского оракула”.

4.4 Методы типа “Дельфи”.

Метод “Дельфи” или метод “дельфийского оракула” первоначально был предложен Хелмером и его коллегами как итеративная процедура при проведении мозговой атаки, которая способствовала бы снижению влияния психологических факторов при проведении заседаний и повышению объективности результатов. Однако почти одновременно “Дельфи” – процедуры стали средством повышения объективности экспертных опросов с использованием количественных оценок при сравнительном анализе составляющих “деревьев целей” и при разработке “сценариев”.

Основные средства повышения объективности результатов при применении метода “Дельфи” – *использование обратной связи*, ознакомление экспертов с результатами предшествующего тура опроса и учет этих результатов при оценке значимости мнений экспертов.

В конкретных методиках, реализующих процедуру “Дельфи”, эта идея используется в разной степени.

Так, в упрощенном виде организуется последовательность итеративных циклов мозговой атаки. В более сложном варианте разрабатывается программа последовательных индивидуальных опросов с использованием методов анкетирования, исключающих контакты между экспертами, но предусматривающих ознакомление их с мнениями друг друга между турами.

В развитых вариантах Дельфи–процедура представляет собой программу последовательных индивидуальных опросов с использованием методов анкетирования. Вопросники от тура к туру уточняются. Экспертам присваиваются весовые коэффициенты значимости их мнений (коэффициенты компетентности), вычисляемые на основе предшествующих опросов, также уточняемые от тура к туру и учитываемые при получении обобщенных результатов опроса. Для снижения таких факторов, как внушение или приспособляемость к мнению большинства, иногда требуется, чтобы эксперты обосновывали свою точку зрения, но это не всегда приводит к желаемому результату, а напротив, может усилить эффект приспособляемости или рассматриваемый ниже *эффект Эдина*.

Количественные и качественные экспертные оценки.

А. Методы получения количественных экспертных оценок.

1. Непосредственная количественная оценка.

Непосредственная количественная оценка используется как в случае, когда надо определить значение показателя для оцениваемого объекта, измеряемого количественно, так и в случае, когда надо оценить степень сравнительной предпочтительности различных объектов.

В первом случае каждый из экспертов непосредственно указывает значение показателя для оцениваемого объекта. Это может быть конкретное численное значение показателя для оцениваемого объекта, например: стоимость жилой квартиры; цена единицы продукции, при которой она может иметь конкурентоспособный спрос; предполагаемая ёмкость рынка; оптимальный объём производства и т. д.

Если эксперт затрудняется указать конкретное значение показателя, он может указать диапазон, в котором лежит значение оцениваемого показателя.

Во втором случае, когда оценивается сравнительная предпочтительность объектов по тому или иному показателю, количественная оценка, указываемая экспертом, определяет степень их сравнительной предпочтительности.

Заранее необходимо условиться, что, скажем большее значение оценки соответствует более предпочтительному альтернативному варианту. Иногда количественную оценку сравнительной предпочтительности объектов целесообразнее осуществлять в баллах, используя специально разработанные балльные шкалы.

2. Метод средней точки.

Метод используется, когда альтернативных вариантов достаточно много. Если через $f(a_1)$ обозначим оценку первого альтернативного варианта значения показателя, относительно которого определяется сравнительная предпочтительность объектов, через $f(a_2)$ – оценку второго альтернативного варианта, то далее эксперту предлагается подобрать третий альтернативный вариант a_3 , оценка которого $f(a_3)$ расположена в середине, между значениями $f(a_1)$ и $f(a_2)$, и равна их полусумме. При этом в качестве первого и второго альтернативных вариантов целесообразно выбрать наименее и наиболее предпочтительные альтернативные варианты.

Далее эксперт указывает альтернативный вариант a_4 , значение которого $f(a_4)$ расположено посередине, между $f(a_1)$ и $f(a_3)$, и альтернативный вариант a_5 , значение которого $f(a_5)$ расположено посередине, между $f(a_1)$ и $f(a_4)$.

Процедура завершается, когда определяется сравнительная предпочтительность всех участвующих в экспертизе альтернативных вариантов.

Этот метод может быть использован также при экспертной оценке численных значений показателей, имеющих количественный характер.

3. Метод Черчмена –Акоффа.

Метод Черчмена –Акоффа используется при количественной оценке сравнительной предпочтительности альтернативных вариантов и допускает корректировку оценок, даваемых экспертами.

В методе предполагается, что оценки альтернативных вариантов – неотрицательные числа, что если альтернативный вариант a_1 предпочтительнее варианта a_2 , то $f(a_1) > f(a_2)$, а оценка одновременной реализации альтернативных вариантов a_1 и a_2 равняется $f(a_1) + f(a_2)$.

Все альтернативные варианты ранжируются по предпочтительности, и каждому из них эксперт назначает количественные оценки, как правило, в долях единицы.

Далее эксперт сопоставляет по предпочтительности альтернативный вариант a_1 и сумму остальных альтернативных вариантов. Если он предпочтительнее, то и значение $f(a_1)$ должно быть больше суммарного значения остальных альтернативных вариантов, в противном случае – наоборот. Если эти соотношения не выполняются, то оценки должны быть соответствующим образом скорректированы.

Если a_1 менее предпочтителен, чем сумма остальных альтернативных вариантов, то он сравнивается с суммой остальных альтернативных вариантов, за исключением последнего.

Если альтернативный вариант a_1 на каком-то шаге оказался предпочтительнее суммы остальных альтернативных вариантов и для оценок это соотношение подтверждается, то a_1 из дальнейших рассмотрений исключается.

Этот процесс продолжается до тех пор, пока последовательно не будут рассмотрены все альтернативные варианты.

При практическом применении в случае достаточно большого числа сравниваемых альтернативных вариантов в метод могут быть внесены некоторые коррективы, снижающие его трудоёмкость. Так, например, сразу может определяться сумма наибольшего числа альтернативных вариантов с отбрасыванием менее предпочтительных вариантов, которая меньше, чем $f(a_1)$, и т. д.

4. Метод лотерей.

Согласно этому методу, для любой тройки альтернативных вариантов a_1, a_2, a_3 , упорядоченных в порядке убывания предпочтительности, эксперт указывает такую вероятность p , при которой альтернативный вариант a_2 равноценен лотерее, при которой альтернативный вариант a_1 встречается с вероятностью p , а альтернативный вариант a_3 – с вероятностью $1-p$. На основании последовательной оценки сравнительной предпочтительности некоторого числа троек альтернативных вариантов рассчитываются числа U_1, U_2, \dots, U_n , с помощью которых формируется линейная “функция полезности”:

$$U_1p_1 + U_2p_2 + \dots + U_n p_n,$$

где p_1, \dots, p_n – вероятности, с которыми рассматриваются альтернативные варианты a_1, \dots, a_n .

Эта формула позволяет сравнивать по предпочтительности различные лотереи, характеризующиеся различными вероятностями реализации альтернативных вариантов a_1, \dots, a_n .

В. Методы получения качественных экспертных оценок.

Иногда специфика объектов экспертного оценивания такова, что эксперты затрудняются дать количественные оценки значений оцениваемых показателей либо объекта в целом, а в некоторых случаях такие оценки попросту неоправданны и не позволяют получить достаточно надёжную экспертную информацию.

В этих случаях нередко существенно более оправданным является использование методов качественной оценки объектов экспертизы.

Бывают также ситуации, когда характер экспертной информации таков, что количественные оценки в привычном смысле невозможны. Поэтому далее мы приведём описание методов, которые могут быть использованы именно для получения качественных оценок объектов или показателей, их характеризующих.

1. Экспертная классификация.

Этот метод целесообразно использовать, когда необходимо определить принадлежность оцениваемых альтернативных вариантов к установленным и принятым к использованию классам, категориям, уровням, сортам и т. д. (далее – классы).

Он может быть использован и тогда, когда конкретные классы, к которым должны быть отнесены оцениваемые объекты, заранее не определены. Может быть заранее не определено и число классов, на которые производится разбиение оцениваемых объектов. Оно может быть установлено лишь после завершения процедуры классификации.

Если эксперту необходимо отнести каждый из альтернативных вариантов к одному из заранее установленных классов, то наиболее распространена процедура последовательного предъявления эксперту альтернативных вариантов. В соответствии с имеющейся у него информацией об оцениваемом объекте и используемой им оценочной системе эксперт определяет, к какому из классов объект принадлежит.

После завершения процедуры последовательного предъявления оцениваемых альтернативных вариантов эксперту может быть предъявлен результат его оценки в виде распределения всех оцененных им альтернативных вариантов по классам.

На этом этапе эксперту, как правило, предоставляется возможность, исходя из общего результата классификации, внести коррективы в данные им оценки.

Если проводится коллективная экспертиза, то результаты экспертной классификации, указанные каждым из экспертов, обрабатываются с целью получения результирующей коллективной экспертной оценки.

В зависимости от целей экспертизы может возникнуть необходимость отнесения альтернативных вариантов к упорядоченным классам. Скажем, необходимо отнести оцениваемые объекты к соответствующим категориям, причем, так, чтобы более предпочтительные объекты были отнесены к более предпочтительным категориям.

Естественно, это отражается на процедуре экспертной классификации. Но главное, чтобы эксперт однозначно понимал поставленную перед ним задачу.

Если число классов, на которые должны быть разбиты альтернативные варианты, заранее не оговаривается, то целесообразно использование следующей процедуры.

Эксперту предъявляется пара альтернативных вариантов и предлагается определить, относятся ли они к одному классу или разным.

После этого эксперту последовательно предлагаются оцениваемые альтернативные варианты и выясняется, может ли каждый из них быть отнесен к одному из образовавшихся к тому времени классов или необходимо для данного альтернативного варианта образовать новый класс.

Процедура завершается после того, как эксперту будут предъявлены все альтернативные варианты.

2. Метод парных сравнений.

Метод парных сравнений является одним из наиболее распространенных методов оценки сравнительной предпочтительности альтернативных вариантов.

При использовании этого метода эксперту последовательно предлагаются пары альтернативных вариантов, из которых он должен указать более предпочтительный.

Если эксперт относительно какой-либо пары объектов затрудняется это сделать, он вправе посчитать сравниваемые альтернативные варианты равноценными либо несравнимыми.

После последовательного предъявления эксперту всех пар альтернативных вариантов определяется их сравнительная предпочтительность по оценкам данного эксперта.

В результате парных сравнений, если эксперт оказался последовательным в своих предпочтениях, все оцениваемые альтернативные варианты могут оказаться проранжированными по тому или иному критерию, показателю или свойству. Если эксперт признал некоторые альтернативные варианты несопоставимыми, то в результате будет получено лишь их частичное упорядочение.

В практике использования метода парных сравнений нередко приходится сталкиваться с непоследовательностью и даже противоречивостью оценок экспертов. В этих случаях необходимо проведение специального анализа результатов экспертизы.

Отметим также, что при достаточно большом числе оцениваемых альтернативных вариантов процедура парного сравнения всех возможных их пар становится трудоёмкой для эксперта. В этом случае целесообразно применение соответствующих модификаций метода парных сравнений.

Например, если предположить непротиворечивость оценок эксперта, то практически достаточно однократного предъявления каждого альтернативного варианта в паре с каким-либо другим.

3. Ранжирование альтернативных вариантов.

Достаточно распространенной процедурой является также непосредственное ранжирование экспертом по предпочтительности оцениваемых альтернативных вариантов. В этом методе эксперту предъявляются отобранные для сравнительной оценки альтернативные варианты, но желательно не более $20 \div 30$, для их упорядочения по

предпочтительности. Если альтернативных вариантов больше, то целесообразно использование соответствующих модификаций метода ранжирования.

Например, при этом ранжировании альтернативных вариантов может предшествовать их разбиение на упорядоченные по предпочтению классы с помощью метода экспертной классификации.

Ранжирование сравниваемых объектов эксперт может осуществить различными способами. Приведем два из них.

В соответствии с первым эксперту предъявляется весь набор альтернативных вариантов, и он указывает среди них наиболее предпочтительный. Затем эксперт указывает наиболее предпочтительный альтернативный вариант среди оставшихся и т. д., пока все оцениваемые альтернативные варианты не будут им проранжированы.

При втором способе эксперту первоначально предъявляются два альтернативных варианта или больше, которые ему предлагается упорядочить по предпочтениям. Если эксперту первоначально предлагается несколько альтернативных вариантов для упорядочения по предпочтениям, то он на этом этапе может воспользоваться первым способом ранжирования.

После проведения первоначального ранжирования эксперту последовательно предлагаются новые, ещё не оцененные им, альтернативные варианты. Эксперт должен определить место вновь предъявляемого альтернативного варианта среди уже проранжированных.

Процедура завершается после предъявления и оценки последнего альтернативного варианта.

4. Метод векторов предпочтений.

Этот метод чаще используется при необходимости получения коллективного экспертного ранжирования. Экспертам предъявляется весь набор оцениваемых альтернативных вариантов и предлагается для каждого из них указать, сколько, по их мнению, других альтернативных вариантов превосходит данный. Эта информация предъявляется в виде вектора, первая компонента которого – число альтернативных вариантов, которые превосходят первый, вторая компонента – число альтернативных вариантов, которые превосходят второй, и т. д.

Если, например, оценивается 10 альтернативных вариантов, то вектор предпочтений может выглядеть так: (3,7,0,4,8,6,1,9,5,2).

Если в векторе предпочтений каждое число встречается ровно один раз, то экспертом указано строгое ранжирование альтернативных вариантов по предпочтениям. В противном случае полученный результат не является строгим ранжированием и отражает затруднения эксперта при оценке сравнительной предпочтительности отдельных альтернативных вариантов.

Метод векторов предпочтений отличается сравнительной нетрудоёмкостью и может использоваться с учетом характера экспертизы. Этот метод может быть применен и в случае, когда у эксперта имеются затруднения при использовании других методов оценки сравнительной предпочтительности альтернативных вариантов.

При коллективной экспертизе, проводимой с использованием метода векторов предпочтений, целесообразно рассчитывать результирующее коллективное ранжирование, отражающее коллективную точку зрения всех экспертов.

5. Дискретные экспертные кривые (ДЭК).

Если целью является разработка прогнозов или анализ динамики изменения показателей, характеризующих объект, то целесообразно воспользоваться дискретными экспертными кривыми.

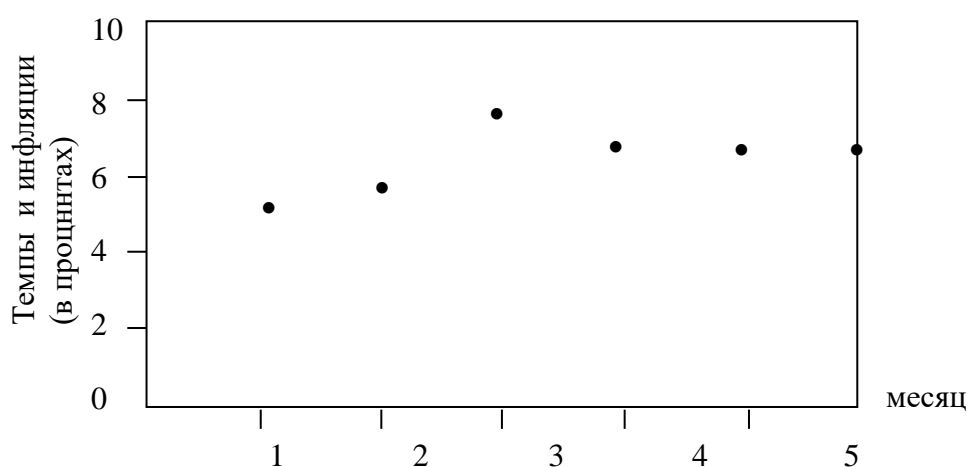
При построении ДЭК определяется набор характерных точек, в которых наблюдается или ожидается смена тенденции изменения значений показателя от рассматриваемого параметра, а также значения показателя в характерных точках.

На участках между характерными точками предполагается, что значения показателя изменяются линейно, т. е. две соседние характерные точки кривой могут быть соединены отрезками прямой линии.

Если есть достаточно веские основания для того, чтобы определить нелинейные изменения значений показателя на участках кривой между соседними характерными точками, имеет смысл от ДЭК перейти к экспертным кривым (ЭК).

При построении ЭК отрезки прямых могут быть заменены отрезками нелинейных кривых либо кривых, построенных непосредственно экспертами.

В качестве примера ДЭК приведём экспертную кривую ожидаемого изменения темпов инфляции в период с октября 1995 года по март 1996 года, разработанную экспертами в июне 1995 года.



Экспертные кривые могут эффективно использоваться как при анализе ситуации принятия решения, так и непосредственно при выработке и принятии управленческих решений.

4.5. Методы организации сложных экспертиз.

Рассмотренные выше недостатки экспертных оценок привели к необходимости создания методов, повышающих объективность получения оценок путем расчленения большой первоначальной неопределенности проблемы, предлагаемой эксперту для оценки, на более мелкие, лучше поддающиеся осмыслению.

В качестве простейшего из этих методов может быть использован способ усложненной экспертной процедуры, предложенный в методике ПАТТЕРН. В этой методике выделяются группы критериев оценки и рекомендуется ввести весовые коэффициенты критериев. Введение критериев позволяет организовать опрос экспертов более дифференцированно, а весовые коэффициенты повышают объективность результирующих оценок.

Развитием этого метода является введение коэффициентов компетентности экспертов и различные методы совершенствования обработки оценок, даваемых разными экспертами по различным критериям.

В качестве второго метода организации сложных экспертиз можно отметить *метод решающих матриц*, идея которого была предложена Пospelовым как средство стратифицированного представления проблемы с большой неопределенностью (разделение на проблемы и пошаговое получение оценок). Например, оценка влияния фундаментальных научно-исследовательских работ на проектирование сложного объекта. При этом непосредственно экспертами оцениваются только веса направлений работ (подпроблем), которые затем нормируются на каждом из уровней (строк матрицы). Таким образом, каждая строка характеризует относительный вклад каждой подпроблемы в реализацию всей проблемы, а внутри подпроблемы – каждого направления, ...

В результате при использовании метода решающих матриц оценка относительной важности сложной альтернативы сводится к последовательности оценок более частных альтернатив, что обеспечивает их большую достоверность при прочих равных условиях. Иными словами, большая неопределенность, имевшая место в начале решения задачи, как бы разделена на более “мелкие”, лучше поддающиеся оценке, в соответствии с одной из основных идей системного анализа.

Метод решающих матриц применялся для реализации крупных дорогостоящих проектов (космос, оборона, фундаментальные НИР, ...), при создании, реконструкции, конверсии предприятий и научно-исследовательских организаций, инвестируемых государством, т. е. в ситуациях, для которых повышаются требования к тщательности анализа факторов, влияющих на принятие решений.

4.6. Морфологические методы.

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 средневековой модели логического перебора Луллия. Однако в систематизированном виде методы морфологического анализа сложных проблем были разработаны швейцарским астрономом Цвикки, и долгое время морфологический подход к исследованию сложных систем был известен под названием *метода Цвикки*.

Основная идея морфологического подхода – систематически находить наибольшее число, а в пределе – все возможные варианты поставленной проблемы или реализации системы путем комбинирования основных (выделенных исследователем) структурных элементов системы или их признаков. При этом система или проблема может разбиваться на части разными способами и рассматриваться в различных аспектах.

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. Наибольшую известность получили три первых метода.

Метод систематического покрытия поля предполагает, что существует некоторое число “опорных пунктов” знания в любой исследуемой области. На этом пространстве опорных пунктов, используя известные правила и принципы мышления, с помощью МСПП ищут возможные варианты решения поставленной проблемы.

Этими опорными 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.

Метод отрицания и конструирования основывается на соображениях, которые Цвикки сформулировал следующим образом:

“На пути конструктивного прогресса лежат догмы и компромиссные или диктаторские ограничения. Следовательно, есть смысл их отрицать, а то, что получается из отрицания, необходимо конструктивно переработать”.

В соответствии с этим МОК реализуется с помощью трёх 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 мозговой атаки.

Метод морфологического ящика 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, от которых зависит решение проблемы); процедура анализа может быть итеративной с изменением набора параметров по мере уточнения представления об исследуемом объекте или процессе принятия решений;
3. деление параметров по их значениям (формирование классификаторов по выбранным признакам) и представление их в виде матриц-строк; набор значений (по одному из каждой строки) различных параметров представляет собой возможный вариант решения моделируемой задачи;
4. оценка всех имеющихся в МЯ вариантов;
5. выбор наилучшего варианта решения задачи (морфологический перебор), используя специально введенные для этого критерии отбора (один или несколько).

Для облегчения этой работы специально создаются и используются языки моделирования, планирования и проектирования, которые применяются для “порождения” возможных ситуаций в системе, возможных вариантов решения и их оценки.

§ 5. Понятие о методике системного анализа.

Методика системного анализа разрабатывается и применяется в тех случаях, когда у ЛПР на начальном этапе нет достаточных сведений о проблемной ситуации, чтобы выбрать метод её формализованного представления, сформировать математическую модель или применить один из новых подходов к моделированию, сочетающих качественные и количественные приемы.

Методика может помочь организовать процесс количественного принятия решений с привлечением специалистов различных областей знаний, с использованием разных методов формализованного моделирования (их группы МФПС) и методов активизации ЛПР (из группы МАИС), со сменой методов по мере познания объекта (ситуации), что и обеспечивает *постепенную формализацию* процесса принятия решения, с пошаговым доказательством адекватности формируемой модели принятия решения.

5.1. О разработке методики системного анализа.

При разработке методики нужно определить последовательность этапов и подэтапов, рекомендовать методы для их выполнения, предусмотреть, при необходимости, возврат к предыдущим этапам.

Такая последовательность упорядоченных этапов и подэтапов с рекомендованными методами и приёмами их выполнения представляет собой *структуру методики системного анализа*.

При оформлении методики в качестве документа сохраняется последовательность этапов, определяемая структурой методики, кратко характеризуется сущность каждого этапа, методы и сроки его выполнения, исполнители и ЛПР, а при необходимости изменить последовательность выполнения этапов вводятся условия, в соответствии с которыми это осуществляется. При этом, в зависимости от назначения методики, этапы детализируются по-разному. В одних методиках основное внимание уделяется разработке и исследованию альтернатив принятия решений, в других – этапу обоснования целей и критериев их достижения, в третьих – выбору решения, в четвертых – этапам управления процессом реализации уже принятого решения.

В реальных условиях выполнение отдельных этапов может занимать достаточно много времени. Поэтому для более четкого выполнения этапов возникает необходимость их детализации, разделения на подэтапы.

Включать большое количество этапов и подэтапов в единую методику, реализуемую в течение длительного периода, неудобно. Такая методика становится мало пригодной для практического применения. Поэтому часто весь процесс принятия решения делят на подпроцессы (или подзадачи) и отдельно разрабатывают:

- *методику анализа целей;*
- *методику формирования и исследования альтернативных вариантов принятия решения;*
- *методику реализации принятых решений и т. п.*

При разработке системы методик для совершенствования управления предприятиями следует отдельно разрабатывать *методику совершенствования (преобразования) организационной структуры предприятия* (как одного из важнейших средств достижения цели).

Можно также разрабатывать отдельную *методику обследования существующей системы*, однако этот этап чаще удобнее предусмотреть в каждой из методик. При разработке методики для любой из названных задач вначале удобно выделить два крупных этапа, которые отделяют процесс *собственно формирования модели* от процедуры её *оценки и анализа*, т. к. эти этапы обычно выполняются с использованием разных методов.

В обобщённом виде эти этапы можно назвать следующим образом:

Этап 1. Формирование первоначального варианта (вариантов) модели принятия решения (структуры целей, сетевой или другого вида модели альтернативных вариантов решения и т. п.)

Этап 2. Оценка, анализ первоначального варианта (вариантов) модели принятия решений (структуры целей и т. п.) и выбор наилучшего варианта (или корректировка первоначального варианта, если он был единственным).

Возможные наименования этих этапов применительно к конкретным задачам – анализа целей, организации процесса принятия управленческого или проектного решения и т. п. приведены в таблице.

Решаемая проблема (задача)	Наименование этапа	
	Этап 1.	Этап 2.
Анализ целей. Формирование основных направлений развития предприятия или организации. Выбор структуры плана	Формирование первоначального варианта (вариантов) структуры целей (направлений, плана).	Оценка, анализ первоначального варианта (вариантов) структуры целей (плана) и выбор наилучшего варианта или корректировка структуры.
Организация процесса принятия решения (для управленческой или проектной задачи).	Формирование первоначальной модели принятия решения (вариантов решения, путей реализации управленческого решения) .	Анализ модели принятия решения и выбор наилучшего варианта (вариантов, путей) решения задачи.
Организация процесса реализации решения (для управленческих решений).	Формирование вариантов прохождения решения в СУ (вариантов организационно – технологических процедур подготовки и реализации решения).	Анализ вариантов прохождения решения и выбор наилучшего варианта организационно – технологической процедуры подготовки и реализации решения.

Следует отметить, что выделенные два укрупненных этапа методики могут повторяться поочередно несколько раз, так как решение, принятое на втором этапе, может помочь уточнить модель, формируемую на первом.

Этапы могут повторяться до тех пор, пока решение будет получено. Для принятия решения о необходимости повторения этапов в методике также следует предусмотреть соответствующий подэтап (в блок-схеме методики такие подэтапы обозначают ромбом-символ выбора в алгоритмах).

Предварительный выбор подходов и методов выполнения этапов может быть отражен в методике сразу, в формулировках подэтапов. Но часто желательно предусмотреть в методике несколько методов выполнения этапов и возможность выбора путей реализации методики ЛПР в конкретных условиях её применения.

Некоторые этапы и подэтапы в методике могут выполняться параллельно, и тогда методику удобно представлять в виде сетевой модели, т. е. в виде графических схем с последовательными и параллельными этапами. При таком представлении методики в ней легко отразить возможность возврата к предыдущим подэтапам и соответствующие подэтапы выбора дальнейшего пути.

Различные этапы и подэтапы методики системного анализа могут выполняться с использованием разных методов и подходов. Методы могут выбираться как из числа формальных, так и из числа методов, направленных на активизацию интуиции и опыта ЛПР (МАИС).

При выполнении первого из рассмотренных основных этапов методики, т. е. при формировании первоначального варианта (вариантов) модели принятия решения или структуры (сетевой, типа “дерева”), наиболее часто используются методы из группы МАИС–“сценарии”, “мозговая атака”, методы структуризации, морфологический подход.

В ряде случаев (наряду с МАИС) могут использоваться и МФПС. Для разработки языков моделирования (первоначального отображения модели, вариантов принятия решения) всё более широкое распространение получают теоретико-множественные, логические и лингвистические представления. Первоначальные варианты принятия решений могут быть представлены в виде сетевых моделей и других видов графов.

Может применяться и форма постановки задачи в виде модели математического программирования, т. е. определения целевой функции и ограничений.

Спектр подходов и методов, которые применяются для реализации второго этапа, также широк. При этом практически ни одна методика не обходится без использования экспертных оценок, различных приёмов их получения и методов обработки – от традиционного усреднения этих оценок до методов организации сложных экспертиз и оптимизационных моделей, использующих полученные от экспертов оценки в качестве исходной основы.

Выбор методов формирования и оценки моделей в методике системного анализа зависит от степени неопределенности проблемной ситуации, для исследования или управления которой разрабатывается методика. Поэтому при разработке методики целесообразно вначале обосновать, каким классом систем может быть отображена проблемная ситуация, и на этой основе решать вопрос о выборе методов моделирования.

Например, можно воспользоваться рекомендациями о соответствии классов систем и различных методов моделирования: для хорошо организованных систем можно применять методы поиска экстремумов функций или методы математического программирования, для плохо организованных (диффузных) – статистические закономерности; для самоорганизующихся – языки моделирования на основе теоретико-множественных, логических, лингвистических представлений, методы активизации интуиции и опыта ЛПР.

На начальном этапе разработки методики нужно выбрать, с какого подхода начинать исследования:

- с “перечисления” системы (подход “снизу”) или
- с описания эквививальности системы, формулировки “области” или “образа” цели и её структуризации (подход “сверху”).

Для более полной реализации методики разрабатываются средства автоматизации в виде специализированных диалоговых процедур (... анализа целей и функций, организации сложных экспертиз,...).

5.2. Примеры методик системного анализа.

Первые методики разрабатывались применительно к формированию структур целей и функций систем управления. Рассмотрим примеры таких методик.

Методика ПАТТЕРН.

Первой методикой системного анализа, в которой были определены порядок, методы формирования и оценки приоритетов элементов структур целей (названных в методике “деревьями целей”), была методика PATTERN. Английское pattern – а) шаблон, б) прицел. Аббревиатура английского: Planning Assistance Through Technical Evaluation from Relevans Number (помощь планированию посредством относительных показателей технической оценки).

Инициатором создания методики стал Дэвис, вице-президент фирмы “Хонниуэлл” корпорации RAND, одной из так называемых “думающих”, бесприбыльных корпораций, занимающихся разработкой военных доктрин, рекомендаций по выбору проектов новых систем оружия, исследованием военного и научного потенциала “противника”, рынков сбыта оружия и тому подобными проблемами анализа и прогнозирования развития военного потенциала США.

Назначением, конечной целью создания системы ПАТТЕРН была подготовка и реализация планов обеспечения военного превосходства США над всем миром. Перед разработчиками методики ПАТТЕРН была поставлена задача – связать воедино военные и научные планы правительства США.

Принципиальная структура методики ПАТТЕРН может быть представлена так:



На рисунке представлена блок-схема, приводившаяся в первых публикациях методики. Однако, в принципе, в методике можно выделить два основных этапа, рассмотренных выше:

- 1) формирование варианта (вариантов) “дерева целей”;
- 2) оценка составляющих структуры с использованием трех групп критериев оценки: относительной важности, взаимной полезности, состояния и сроков разработки.

В качестве основы для формирования и оценки “дерева целей” разрабатывались “сценарий ” и прогноз развития науки и техники. Эти подэтапы можно считать составляющими первого из названных обобщенных этапов.

Пример варианта “дерева целей”, построенных при выполнении одного из проектов ПАТТЕРН:



Практика использования системы ПАТТЕРН показала, что она позволяет проводить анализ сложных проблемных ситуаций, распределять по важности огромное количество данных в любой области деятельности, исследовать взаимное соотношение постоянных и переменных факторов, на которых основывается и на которые влияют принимаемые решения.

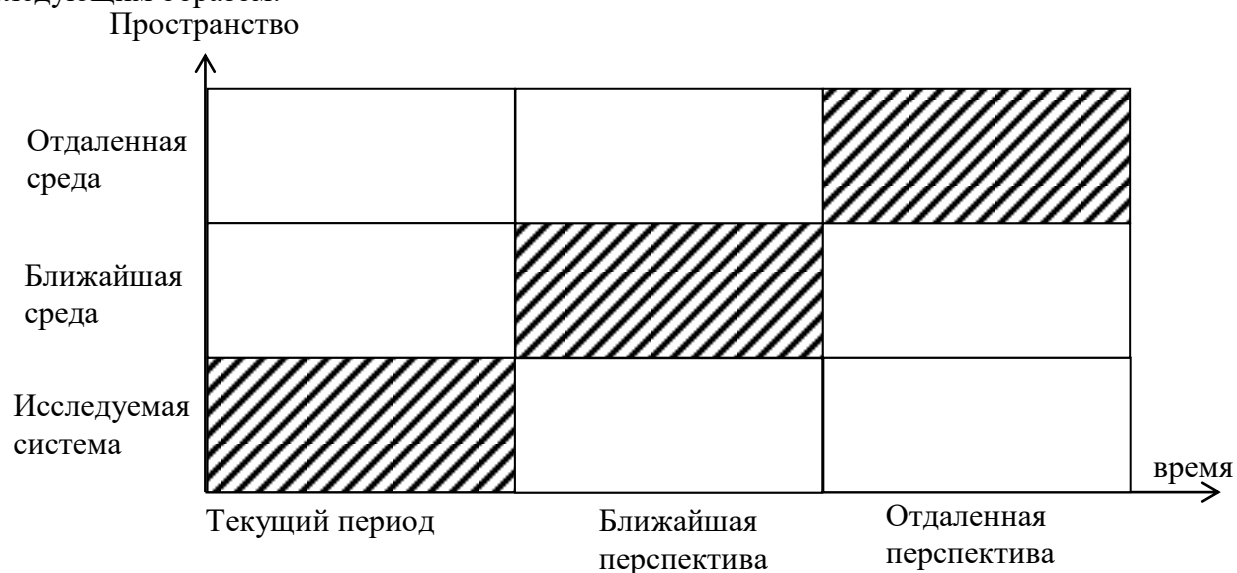
Система ПАТТЕРН явилась важным инструментом анализа труднорешаемых проблем с большой неопределенностью, прогнозирования и планирования их выполнения. Основные идеи методики применялись в различных областях: научные исследования, проектирование и создание систем различной сложности в научно-исследовательских организациях и на предприятиях, расширение рынков сбыта военно-космической продукции и т. п.

Ввиду особой значимости после 1965 года эти работы получили гриф закрытости и публикаций о них не было. В СССР работы подобного рода начались с исследования опыта США.

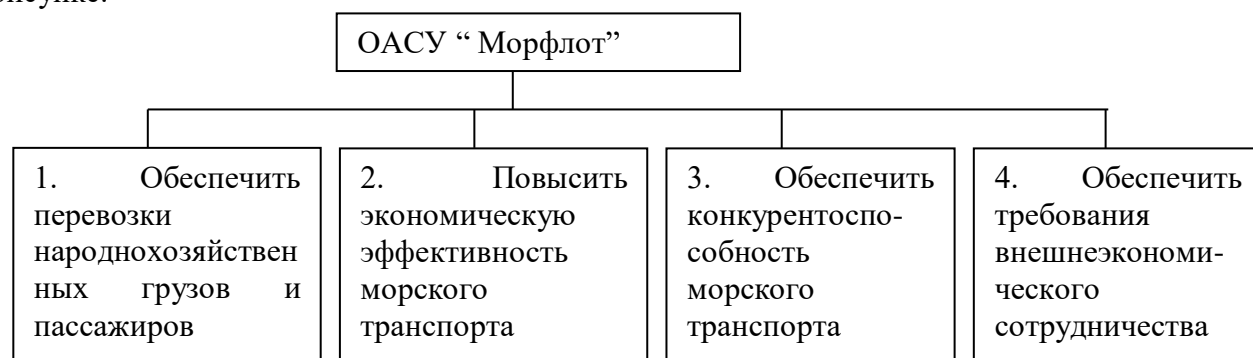
Главное достоинство методики состоит в том, что в ней определены классы критериев оценки *относительной важности, взаимной полезности, состояния и сроков разработки*. Эти классы до сих пор являются основой при определении системы оценок составляющих структур целей.

Поскольку важным первым шагом является логика формирования структуры целей, принципы и приёмы структуризации, советские учёные с самого начала применения системного анализа основное внимание уделяли разработке принципов и приёмов формирования первоначального варианта структуры целей (“дерева целей”), составляющие которого подлежат затем оценке и анализу.

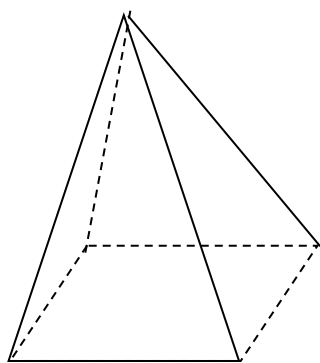
Первыми отечественными работами, в которых предложены не только принципы формирования “дерева целей”, но и признаки структуризации, были работы Черняка (1973 г.). в частности, им предложена концепция о соответствии двух “шкал” развития сложных систем – пространственной и временной, что схематично можно обозначить следующим образом:



Пример использования этого принципа при формировании структуры целей и функций Отраслевой АСУ морским транспортом – ОАСУ “Морфлот” – приведен на рисунке:



Принцип выделения составляющих на верхнем уровне структуры “дерева” для решения новых, неисследованных проблем (“что нужно *узнать*”, “что нужно *создать*”,



“что нужно *организовать*”); принцип “пирамидки” (см.рис.), помогающий понять, что выделяемые ветви “дерева целей” характеризуют *объем* “области цели” (опыт показал, что раскрыть “область цели ” помогает последовательное перемещение по граням “пирамидки” с возвратом на новом витке к уже структурированным ветвям с учётом нового видения проблемы) и ряд других приёмов

и признаков, нашедших широкое применение в практике формирования структур целей при разработке отраслевых АСУ.

Наиболее осознанную полноту структуризации позволяют получить методики, опирающиеся на соответствующие философские концепции представления системы. Например, методики, базирующиеся на концепциях, положенных в основу определения системы. Первой из таких методик была методика, основанная на определении системы, учитывающем только *элементы, связи между ними и свойства*, характеризующие элементы и связи.

Эту методику разработали философ Уемов и специалист по АСУ Кошарский. Она обращает внимание на то, что в формулировке целей обязательно должны присутствовать и подлежащее (элемент системы), и сказуемое, характеризующее связи, взаимоотношения, функции, выполняемые элементами системы.

Другая методика базируется на определении системы философа Сагатовского. Это определение (см. тему №1) учитывает понятие *цели* и взаимодействие системы *со средой*. Разработана методика томскими учеными под руководством Перегудова.

Основным признаком структуризации в этой методике является «*пространство инициирования целей*». Этот признак соответствует закономерности *коммуникативности*, рассмотренной в теме №1. Он обращает внимание на необходимость учета требований и потребностей *надсистемы, подведомственных систем* (помещения, оборудование, финансовая система, персонал и т. д.), *актуальной среды* (поставщики, соисполнители работы, конкуренты) и *собственно системы*.

Методика нашла наибольшее применение в условиях периода перехода к рыночной экономике, нестабильности среды, в которой функционирует предприятие или организация.

В ситуациях, когда об объекте или виде деятельности практически нет сведений, при исследовании новых видов деятельности полезна методика Волковой, базирующаяся на *концепции деятельности*. В этой методике структуризация системы производится с использованием следующих признаков: сферы деятельности, структура деятельности (включающая цели, содержание и формы, методы, средства деятельности, «входы» в систему) и виды деятельности.

Интересную методику для структуризации целей системы, стремящейся к идеалу, предложили американец Рассел и англичанин Эмери. В этой методике верхние уровни структуры целей для системы (в их терминологии - общины), стремящейся к идеалу, содержат следующие составляющие (см. рис. 1): *изобилие* (политико – экономическая функция), *правда* (познание истины, формирование идеалов, ценностных ориентаций общества, что обеспечивается в обществе наукой и образованием), *добро* (функция разрешения внутриличностных и межличностных конфликтов и конфликтов между социальными коллективами, т. е. этика, религия, юриспруденция и т. п.), *красота* (функция эстетики, гармонии, формирования и развития личности, гражданственности, культуры общества).

Эта методика позволяет обеспечить полноту структуризации таких организаций, цели и функции которых должны охватывать разносторонние условия существования и развития личности. Например, ее применяют при структуризации функций системы управления городом, регионом.

5.3. Информационные ресурсы системы.

В настоящее время осознана роль информации как важнейшего ресурса предприятия, организации, региона, общества в целом.

Информация как ресурс.

Под ресурсами обычно понимают материальные средства (минеральные, энергетические, лесные и т. п.). Однако с древних времен опыт поколений, фиксируемый в различных формах (от наскальных рисунков до современных типографических изданий и ЭВМ) является основой технического, а затем научно-технического прогресса, а по мере развития и усложнения технологий «информационная поддержка» способностей разума человека становится все более значимой.

В то же время, осознание того факта, что информация является важным ресурсом любой деятельности, что развитие информационной сферы (инфраструктуры) является основой развития технологий и цивилизации в целом, пришло не сразу. Более того, на промышленных предприятиях значимость эффективного развития их информационной сферы не всегда осознается и в настоящее время.

В период, когда стали явно ощущаться проблемы «информационного взрыва» (увеличение потока документов, рост численности работников, для которых регистрация и обработка информации стали основной профессией, и т. п.), начали создаваться автоматизированные информационные системы (АИС), с помощью которых буквально «заваливали» столы руководителей распечатками различных форм, содержащих разнообразные сведения о состоянии производства, района и т. д. Однако эти горы «информации», по мнению управленческих работников, не только не помогали им, но, наоборот, создавали дополнительные хлопоты.

В чем же дело? Почему информация, роль которой как важнейшего ресурса развития технологий и производства в целом теоретически осознана, не всегда становится фактически действенным ресурсом в практической деятельности предприятий и организаций?

Долгое время такое положение пытались объяснить отсутствием хорошей «инструментальной поддержки» информационных процессов. Однако и в настоящее время, когда в большинстве организаций имеются персональные ЭВМ, локальные вычислительные сети, доступ к международным информационным системам, положение меняется достаточно медленно. По-видимому, дело не только в техническом обеспечении, а в каких – то принципиальных особенностях информации как ресурса, в недостаточном понимании необходимости комплексного использования информационных ресурсов.

Исследованием феномена информации и ее особенностей занимаются философы, экономисты, технологи, специалисты по техническим наукам. Обобщая и преломляя результаты этих исследований применительно к проблеме использования информации как ресурса предприятий и организаций, можно выделить следующие *основные специфические особенности информации*, обуславливающие ее отличие от других видов ресурсов.

Основная характеристика ресурсов - их потенциальная эффективность. Потенциальная эффективность минеральных ресурсов, сырья уменьшается по мере их использования. В случае возобновляемых ресурсов их потенциальная эффективность может восстанавливаться, но для этого требуется определенный (часто значительный) период времени.

Потенциальная эффективность искусственно создаваемых технических средств, в том числе, оборудования также имеет предел, определяемый их сроком службы, и исчезает после списания технического средства.

Иначе обстоит дело с информационными ресурсами: их потенциальная эффективность не исчезает не только после однократного, но и многократного использования одной и той же информации (уменьшение эффективности может быть связано только с устареванием информации).

Более того, принципиальной особенностью информации является ее **тиражируемость**. Иногда говорят, правда, и о тиражируемости технического средства, например, станка. Но, опять – таки, в этом случае речь идет о тиражировании конструкции станка, идеи, т. е. информации, а на создание каждого экземпляра станка одного и того же типа снова нужно затратить труд. В то время как при тиражировании информации труд (умственный) на ее создание больше не тратится, а труд, затрачиваемый на размножение информации, незначителен и им, как правило, можно пренебречь при оценке эффективности использования информации.

Таким образом, если учесть тиражируемость и многократность использования, то информация, в принципе, может иметь практически неубывающую потенциальную эффективность, которая часто реализуется далеко не сразу, а спустя многие годы (как бывало, например, с рядом открытий, изобретений или новых идей, не понятых поколениями при жизни их авторов).

Другой вопрос – фактически реализуемая эффективность. В случае материальных ресурсов ее можно оценить коэффициентом использования материалов, сырья, электроэнергии и т. п., к. п. д. оборудования и других технических средств. При оценке же эффективности использования информации следует иметь ввиду еще одну ее принципиальную особенность: информация становится информацией только в случае, когда есть *источник*, *переносчик* (в том числе, передатчик, носитель) и *приемник* (потребитель), который должен «хотеть» воспринять информацию и быть способным ее понять и использовать.

Иными словами, создаваемые информационные массивы только тогда становятся информацией, а соответственно и информационными ресурсами, когда они «находят» своего пользователя, которому информация представляется именно в то время, когда она ему нужна для принятия конструкторских, технологических или управленческих решений.

Обратим внимание еще на одну принципиальную особенность информации. Материя и информация – парные философские категории, так что появление новой информации всегда сопутствует появлению (созданию) новых форм существования материальных объектов и процессов, независимо от того, осознают ли этот факт их создатели.

В настоящее время виды информационных ресурсов и особенности их использования в различных сферах деятельности еще недостаточно изучены. Свойства информации как ресурса по-разному проявляются в зависимости от ее характера, источника, формы представления и т. п. Поэтому необходим комплексный (системный) анализ информационных ресурсов, с тем чтобы научиться оценивать возможности их более эффективного использования.

Тема №3. Разработка и развитие систем организационного управления.

Проблема разработки систем управления предприятиями, организациями, регионами является одной из первых проблем, для решения которой стали применяться методы и модели системного анализа.

В условиях перехода к рыночным принципам экономики, к равноправию всех форм собственности в многоукладной системе хозяйствования значимость этой проблемы возрастает, поскольку возникают предприятия и организации различных организационно-правовых форм, осуществляется преобразование действующих. Такие преобразования в непрерывно изменяющейся рыночной среде осуществляются постоянно, и становится актуальной методическая поддержка процесса проектирования (адаптации, развития) предприятий, научно-исследовательских организаций и других социально - экономических объектов и систем организационного управления ими.

§ 1. Рекомендации по разработке методики проектирования и развития системы организационного управления.

1.1. Принципы разработки методики проектирования и развития предприятия (организации).

Система организационного управления (СОУ) предприятием или любой организацией, в том числе, непромышленной сферы, должна обеспечить адаптацию предприятий (организаций) к постоянно изменяющейся среде, сохранение их целостности при предоставлении свободы развития субъектам производственной (или иной) деятельности (способствующей повышению эффективности их труда), т. е. обеспечить существование предприятия (организации) как самоорганизующейся системы.

Сложность проблемы проектирования СОУ обусловлена необходимостью поиска компромисса между целостностью представления сложного объекта и детализацией описания его компонентов в процессе разработки и реализации проекта.

Эту проблему можно решить с помощью семейства моделей, объединяемых многоуровневой методикой, базирующейся на стратифицированном представлении процесса проектирования. При этом можно выделять следующие уровни абстрагирования – от замысла (концепции) до материального воплощения: *теоретико – методологический* или *концептуальный* (для организационных систем этот уровень обычно завершается разработкой устава предприятия, концепции его перспективного развития);

научно – исследовательский (в результате НИР выбираются и предлагаются теоретические и прикладные модели, позволяющие провести необходимый анализ для выполнения последующих проектных работ);

проектный (завершающийся определением комплекса методов и средств решения проблемы);

инженерно – конструкторский (для организационных систем этот уровень завершается разработкой структур, программных средств);

технологический (разработка организационно – технологических процедур подготовки и реализации проектных и управленческих решений, разработка информационной технологии реализации программных продуктов);

материальное воплощение, реализация системы (для организаций это – комплекс нормативно – технических и нормативно – методических документов, обеспечивающих реализацию принятых проектных или управленческих решений, т. е. положения, методики, инструкции, стандарты и т. п. нормативные документы).

При необходимости в конкретной методике некоторые страты могут быть объединены, как это имеет место для проектного и инженерно – конструкторского уровня в варианте, приведенном ниже в качестве примера в таблице 1.1.

Этот путь от замысла системы до ее реализации, который проходит в процессе проектирования любая система, может быть весьма длительным. При этом разные составляющие СОУ, порядок разработки которых может быть представлен последовательно и параллельно выполняемыми этапами и подэтапами, могут проходить этот путь неодновременно. В этой сложной ситуации разрабатываемая методика позволит сохранять целостное представление о СОУ и процессе ее проектирования.

При развитии СОУ любое нововведение или комплекс нововведений в управлении проходит такой же путь, и методика также помогает в планировании процессов их внедрения, в обсуждении результатов, разрешении противоречий, возникающих из-за часто проявляющегося на практике смешивания понятий разных страт.

После выделения страт на каждой из них определяется последовательность этапов и выбираются методы, модели, методики их реализации.

1.2. Выбор методов и моделей для выполнения этапов методики.

Анализ особенностей и закономерностей самоорганизующихся систем, как было показано выше, позволяет сделать вывод о принципиальной ограниченности их формализованного описания. Поэтому при выборе методов выполнения этапов разрабатываемой методики следует использовать (или предложить собственную) классификацию методов моделирования таких систем, в которой выделяется два основных класса – МАИС и МФПС. Классификация помогает выбирать методы моделирования для реализации этапов многоуровневой методики и разрабатывать модели, базирующиеся на постепенной формализации задач принятия решения.

При выборе методов следует учитывать особенности объекта, для которого проектируется СОУ, степень осведомленности о нем на начальном этапе проектирования, наличие аналогов и возможность заимствования готовых моделей и автоматизированных процедур. В процессе разработки методики необходимо обосновать выбор методов для основных этапов и дать примеры реализации этих методов.

Ниже мы дадим краткие характеристики укрупненных этапов методики, рекомендации и примеры выбора методов их выполнения.

§ 2. Анализ факторов, влияющих на создание и функционирование предприятия (организации).

2.1. Использование закономерности коммуникативности.

Для обеспечения полноты анализа факторов, влияющих на создание и функционирование предприятия, целесообразно использовать закономерность коммуникативности, в соответствии с которой в составе сложной среды, инициирующей факторы, выделяются: *надсистема*, определяющая требования к проектируемой СОУ, ограничивающая ее деятельность и потребляющая результаты этой деятельности; *подведомственные системы*, обеспечивающие деятельность рассматриваемой СОУ материальными, кадровыми, информационными и иными ресурсами; системы,

находящиеся в равноправных отношениях с проектируемой СОУ, - *актуальная или существенная среда*, в которой можно выделить *дружественную, конкурентную и безразличную*; внутренняя среда *собственно системы*, которая существует в самоорганизующихся системах в форме инициатив активных элементов или создаваемых ими помех. Примеры факторов приведены на рис. 2.1.

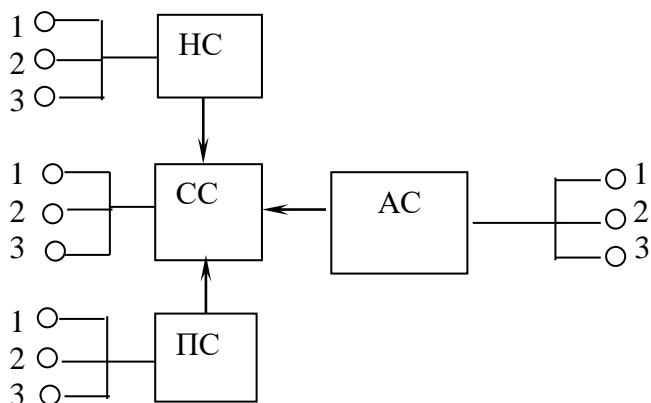


рис. 2.1.

На рис. 2.1. обозначено:

НС – надсистема (требования и потребности), которая включает в себя: 1 – законодательные акты, регламентирующие формы собственности, налоговую политику, уставной капитал и т. п.; 2 – состояние экономики (стабильность, инфляция, угроза кризиса и т. п.); 3 – платежеспособный спрос на продукцию (услуги), наличие госзаказа, целевой программы;

СС – собственно система (состояние), которая включает в себя: 1 – юридический статус, организационно - правовая форма, учредители; 2 – особенности организации, органы управления; 3 – нормативно – методическое обеспечение;

ПС – подведомственные системы, включающие: 1 – начальный капитал, помещение, имущество и другие средства; 2 – стабильность источников материальных ресурсов; 3 – кадры и их стабильность;

АС – актуальная (существенная) среда, в которой выделяется: 1 – дружественная (поставщики, партнеры, контрагенты, кооперирование, спонсоры, частные банки, прямые договоры. рынки); 2 – конкурентная (предприятия – конкуренты в городе, в регионе, в своей стране, в других странах); 3 – безразличная (экологическая среда, фирмы – аналоги (потенциальные партнеры или конкуренты) в своей стране и других).

Для обеспечения повторяемости процесса выявления факторов и накопления опыта разных экспертов следует использовать автоматизированные диалоговые процедуры анализа факторов (АДПАФ), которые позволяют опрашивать экспертов и, обобщая результаты опросов, накапливать все более полный перечень факторов, являющийся основой для дальнейшей их оценки и анализа. По своей сути это человеко – машинные процедуры.

Обеспечить еще большую полноту выявления факторов позволяет использование информационного подхода, который помогает учесть развитие факторов. Пример формулировок факторов, полученных с использованием такого подхода, приведен в таблице 2.1.

При анализе факторов используются методы организации сложных экспертиз и автоматизированные средства для их реализации.

Таблица 2.1.

Исходная сущность фактора	Сущность процесса изменения понятия о факторе	Сущность изменения эволюции понятия о факторе.
1. Наличие начального капитала	Возможность получения начального капитала за время τ (τ - срок изменения начального состояния фактора)	Возможность расширения (ускорения накопления) капитала.

2. Наличие помещения для предприятия	Возможность приобретения или получения в аренду помещения для предприятия (с указанием сроков).	Возможность расширения помещения (площадей) для предприятия (с указанием ускорения расширения).
3. Номенклатура выпускаемой продукции (услуг)	Обновление номенклатуры выпускаемой продукции (с указанием сроков).	Скорость обновления (ускорения изменения) номенклатуры выпускаемой продукции (услуг).
4. Объем выпускаемой продукции (по видам изделий)	Изменение объема выпускаемой продукции (кг/месяц, м/неделя, руб./год и т. д.).	Скорость изменения объема выпуска продукции (по видам изделий).
5. Наличие кадров	Необходимость (возможность) расширения кадрового состава (по специальностям).	Необходимость (возможность) ускорения расширения кадрового состава (по специальностям).

2.2. Анализ рыночных ситуаций.

При определении целесообразности создания (сохранения, реконструкции) предприятия (организации) необходим анализ состояния рынка сбыта его продукции или потребности в его услугах. Причем, в условиях неопределенности рыночной экономики важно следить за состоянием рынка и своевременно корректировать объемы выпуска продукции, ее номенклатуру. Поэтому при выполнении первого этапа может быть предусмотрен подэтап моделирования рынка для выбора товара (вида выпускаемой продукции, услуг), обеспечивающего наибольшую эффективность деятельности предприятия (организации).

Понятие рынка и товара для предприятий и организаций различного вида могут существенно различаться. Например, можно ставить практически ту же проблему не в терминах рынка и товара, а в форме определения потребности в продукции, услугах, выпускниках, или разработки производственной программы предприятия.

Есть некоторые *общие условия решения* этой *проблемы и принципы*, которые нужно отразить в модели для ее анализа.

Эти общие условия постановки проблемы можно получить на основе анализа взаимодействия предприятия (организации) со сложной средой, рассмотренной выше (см. рис. 2.1.).

Надсистема помогает выявить возможные заказы на продукцию или услуги предприятия, в том числе, и госзаказы или работы, включенные в крупные целевые программы ведущих предприятий отрасли или крупных фирм.

При анализе взаимодействия с *актуальной средой* необходимо выявлять производителей таких же или аналогичных товаров (конкурирующая или конкурентная среда), производителей (поставщиков) комплектующих изделий, материалов, деталей и т. п., необходимых для предприятия (дружественная среда); следует также учесть наличие на биржах сопутствующих товаров и товаров, которые выпускает или собирается выпускать рассматриваемое предприятие; существенной может оказаться и *безразличная среда*, т. е. наличие на рынках сбыта, казалось бы, не аналогичных и не сопутствующих товаров, но все же оказывающих влияние на реализацию выпускаемой продукции.

Например, наличие большого выбора фруктов и овощей может снизить потребность в крупах и консервах (хотя эти предприятия и не являются предприятиями – аналогами и не могут, на первый взгляд, быть конкурентами), а учет особенностей региона влияет на структуру его промышленности (например, в аграрной стране нецелесообразно развивать крупное машиностроение); следует также при выборе товаров учитывать и влияние на экологию.

Потребности *подведомственной среды* (системы) ничтожно малы по сравнению с рассмотренными, но ее возможности играют важную роль в определении вида выпускаемого товара (использование производственных мощностей). Следует также обратить внимание и на важность учета инициатив «внутренней» среды (*собственно системы*), так как побуждения и программы активных элементов системы являются весьма действенным источником самоорганизации и развития предприятия.

На основе анализа из возможных товаров для рассматриваемого предприятия выбирается конкретный вид (или несколько видов); номенклатура при этом и объемы выпускаемой продукции в процессе функционирования предприятия постоянно корректируются с учетом экономических условий (в том числе – рыночной ситуации).

§ 3. Анализ целей и функций системы управления предприятием (организацией).

3.1. Задачи и принципы формирования и анализа структур целей и функций систем управления.

При выполнении этого укрупненного этапа необходимо обеспечить полноту определения целей и функций предприятия (организации) на соответствующем этапе его развития, произвести оценку функций по критериям их важности, трудоемкости выполнения, частоты обращения и т. п. критериям, и сформировать структуру целей и функций для выбранного уровня СУ (администрации предприятия или организации в целом, уровня производства, цеха и т. п.) или исследуемого вида деятельности.

Полученная структура целей и функций может служить основой для разработки организационной структуры предприятия, для принятия решения о распределении финансовых, материальных, кадровых и других ресурсов, для установления доплат за выполнение функций организационного управления сотрудникам, совмещающим эти функции с основными производственными обязанностями (что часто имеет место на малых предприятиях).

Использование методик структуризации, базирующихся на различных концепциях, позволяет обеспечить полноту анализа целей и функций СУ предприятием (организацией) с точностью до принятой концепции, что важно учитывать при разработке конкретных методик.

При управлении крупными предприятиями, объединениями, ВУЗами невозможно построить единую древовидную иерархическую структуру, поэтому необходимо использовать многоуровневые иерархические представления типа страт, эшелонов.

В качестве примера рассмотрим

3.2. Формирование структуры целей и функций системы управления районом.

При формировании структуры целей и функций СУ районом за основу целесообразно взять методику, учитывающую взаимодействие системы со средой (рис. 3.1.).

Затем для структуризации первого из выделенных направлений, характеризующего взаимодействие СУ районом с «надсистемой»(в качестве которой рассматриваются территория и население) применяется методика Акоффа – Эмери, позволяющая раскрыть разносторонние сферы, необходимые для обеспечения жизнедеятельности района и его жителей (рис. 3.2а).

При структуризации второй ветви – «подведомственные системы» - можно использовать классификатор видов деятельности, хорошо отработанный в методике Умова – Кошарского (рис. 3.2б).

В актуальной среде целесообразно (по концепции Колосова) выделить дружественную, конкурентную и безразличную (рис. 3.2в).

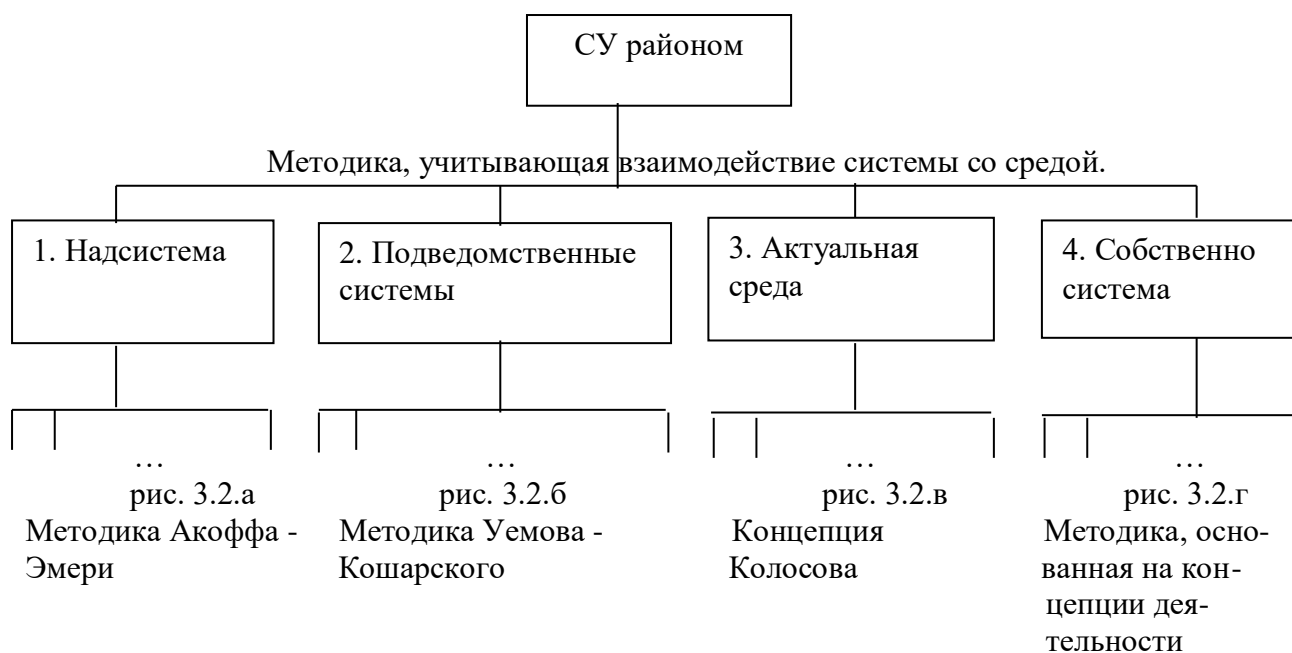
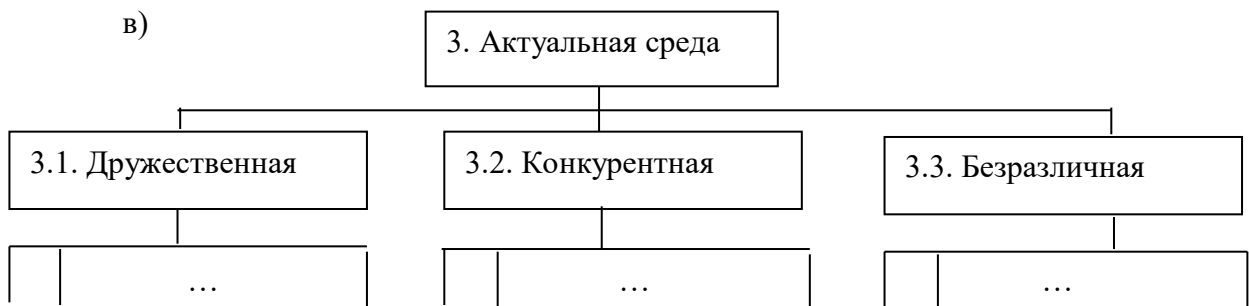


Рис. 3.1.



б)

в)



г)

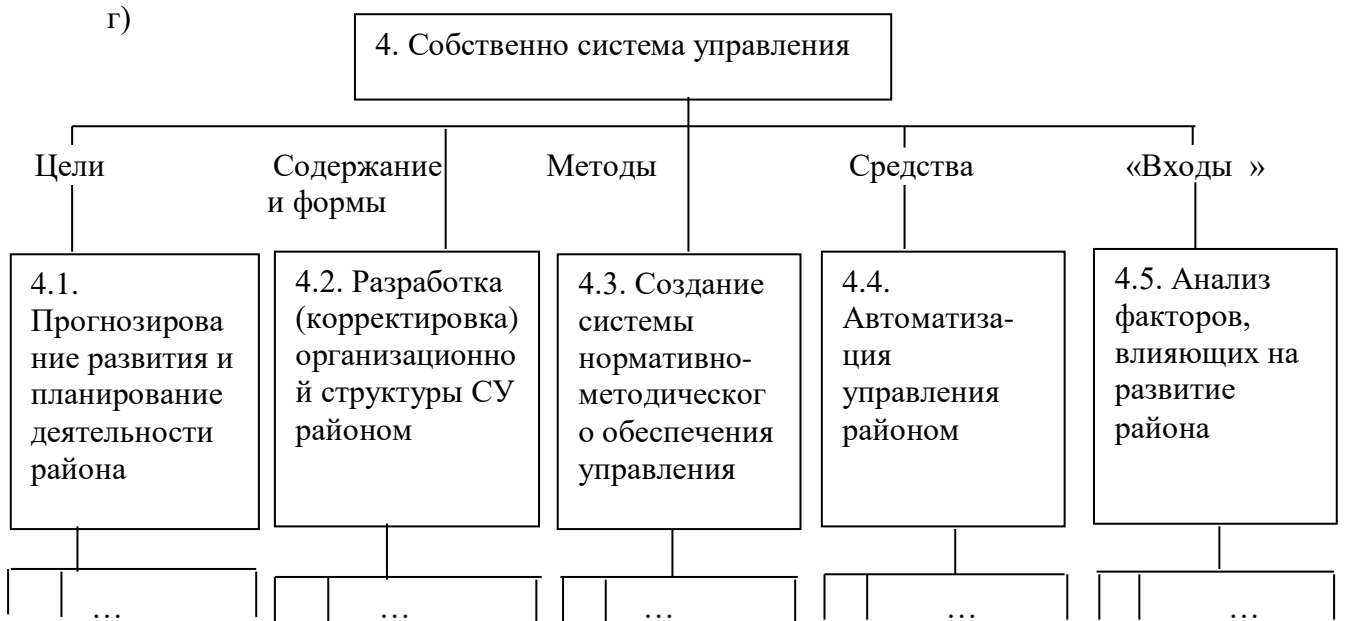


Рис. 3.2.

А последнюю ветвь - «собственно систему управления» (содержащую подцели и функции, обеспечивающие выживание и развитие района и его администрации) – необходимо структурировать с использованием методики, базирующейся на концепции деятельности (рис. 3.2ч.).

При дальнейшей структуризации функций в разных ветвях структуры следует использовать признаки структуризации, рекомендованные для различных уровней системы.

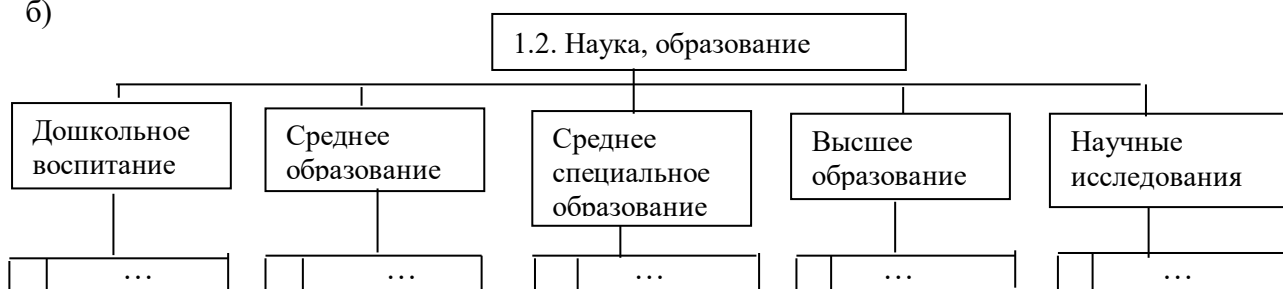
Примеры более детальной структуризации первой из ветвей структуры целей и функций рис. 3.2. приведены на рис. 3.3.

Большинство составляющих известно опытным руководителям. Однако наглядное их представление и помещение на один уровень помогает осознать, что все они равноценны и только одновременная реализация программ по всем направлениям дает эффект целостности, обеспечит качество жизни и развитие района (региона) и страны в целом.

а)



б)



в)



г)



Рис. 3.3.

§ 4. Разработка (корректировка) организационной структуры предприятия (организации).

4.1. Анализ подходов к проектированию (совершенствованию) организационных структур.

Проблема совершенствования организационных структур – одна из самых сложных проблем экономики. Особенно усложняется она в настоящее время, когда предприятия и организации претерпевают существенные преобразования в соответствии с новыми условиями экономического состояния страны. Постоянно изменяющаяся рыночная ситуация требует регулярной корректировки организационной структуры.

Исследованиям форм и методов проектирования организационных оргструктур посвящено много работ. Их анализ показывает, что в принципе при представлении оргструктур для предприятий различных объемов, использующих различные принципы управления, могут быть применены любые из форм структур, рассмотренных в теме №1. При этом в теории и практике структур современных предприятий и организаций используются, как правило, смешанные формы и принципы управления, для характеристики которых введена соответствующая терминология. Исходными организационными формами управления являются *линейная* (рис. 4.1.) и *функциональная* (рис. 4.2.), которые соответствуют древовидной иерархической структуре и предельному случаю иерархии со «слабыми» связями или матричной структуре, в которой существуют все взаимосвязи между элементами смежных уровней иерархии.

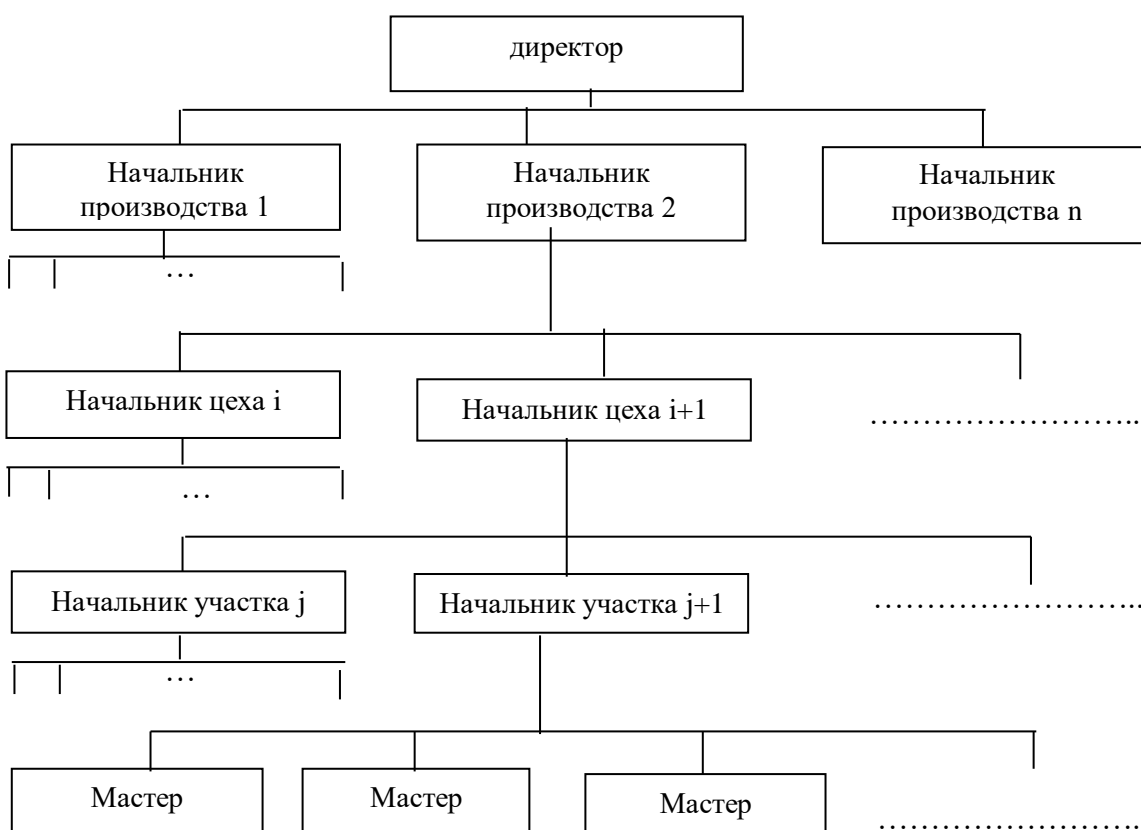
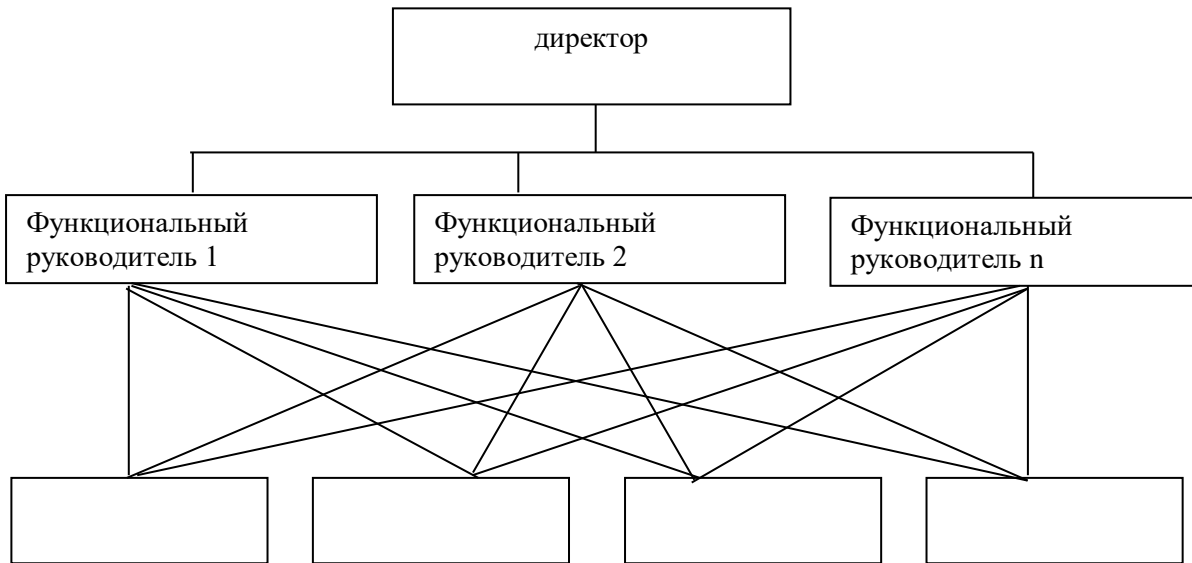


Рис. 4.1.



Первичные производственные подразделения

Рис. 4.2.

Эти соответствия обуславливают свойства линейной и функциональной структур, в первой из которых реализуется принцип единоначалия и единства распорядительства (обеспечивающий эффективность оперативного управления), а вторая – была предложена как средство для повышения профессиональной квалификации работников аппарата управления (что повышает эффективность принимаемых ими управленческих решений по функциям управления), но при длительном ее существовании на первый план выступают специфические интересы функциональных подразделений, что может вступить в противоречие с интересами предприятия в целом.

В настоящее время в чистом виде эти исходные формы не применяются. Однако принципы линейного и функционального управления используются в любой организационной структуре. Линейное управление строится на основе производственной структуры предприятия (организации). Функциональные подразделения обеспечивают единую политику и централизацию управления по основным укрупненным функциям организации производственного процесса (техническая и технологическая подготовка производства, материально-техническое обеспечение процесса производства, финансовое, кадровое и другие виды обеспечения предприятия).

В то же время отношения внутри функциональных подразделений также строятся по линейному принципу (заместитель директора по соответствующему виду деятельности – отдел - бюро).

В линейно-функциональной структуре (рис. 4.3.) принято такое разделение труда, при котором линейные звенья управления наделены принципами единоличия и выполняют функции распорядительства, а функциональные – оказывают помощь линейным, но свое непосредственное воздействие на нижележащие звенья осуществляют только после согласования технической, экономической и т. п. видов политики и планов ремонта помещений, техники, распределения ресурсов (финансовых, кадровых, ЭВМ и т. д.) на директорате (научно-техническом совете) предприятия (организации), что на рис. 4.3. отражено пунктирной линией, т. е. ослабленный связью (откуда и произошел термин – иерархия со «слабыми» связями).

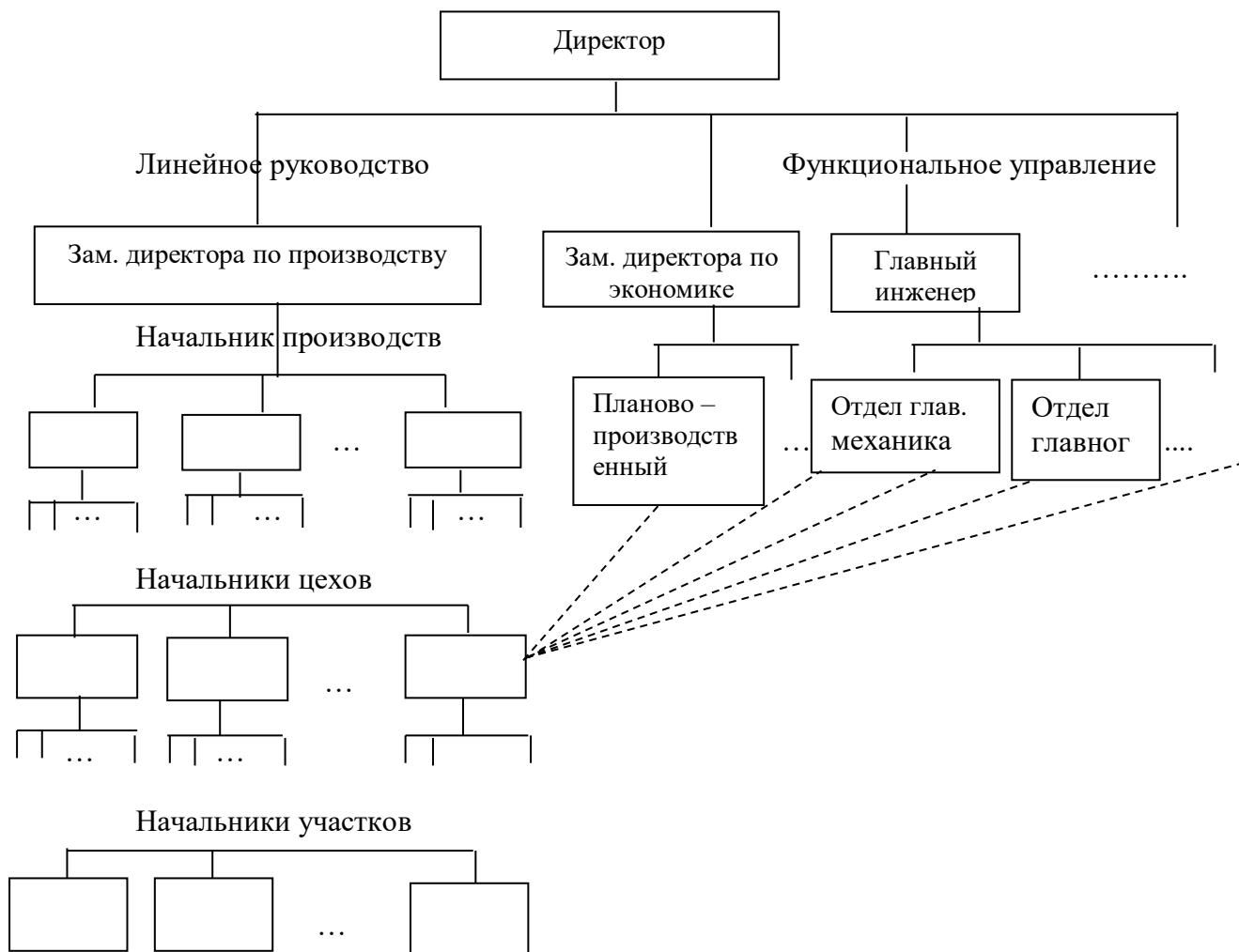


Рис. 4.3.

Однако повышение динамичности изменений внешних и внутренних условий деятельности предприятия (организации) выявило недостатки линейно - функциональных структур, которые являются основной организационной формой управления на большинстве предприятий и в организациях непромышленной сферы. Такая структура обеспечивает эффективное управление в стабильных условиях. Когда же перед предприятием (организацией) возникают не обычные, связанные с выполнением плана, задачи, а новые, крупные единовременные проблемы, эта структура оказывается недостаточной. Причем, чем лучше отлажена линейно – функциональная структура, тем больше она будет противостоять нововведениям (техническому перевооружению, реконструкции предприятия, введению новых методов управления и т. п.). Поэтому возникли различные организационные формы *программно – целевого управления*: *функциональная координация*, при которой в оргструктуру вводится дополнительная структурная единица, осуществляющая координацию функциональных и линейных подразделений для решения новой научно – технической задачи (как правило, со слабыми правами распорядительства и без выделения дополнительных штатов); *проектное управление* (как второй крайний предел), при котором после разработки и утверждения проекта его руководитель (главный конструктор) наделяется всеми необходимыми полномочиями для его выполнения и приобретает статус заместителя директора, а иногда и становится над ним (что, например, имело место при организации выполнения

космических проектов); а между этими крайними формами – спектр организационно – правовых форм с различной степенью влияния программно – целевых принципов на организацию производства и управления.

Программно – целевые органы могут создаваться на время выполнения комплексных программ или на какой – то период деятельности предприятия (организации). Могут быть созданы и постоянно действующие программно – целевые группы, изменяющие тематику исследований или разработок в рамках какой – то специализации.

В случае создания программно – целевых органов в оргструктуре предприятия (организации) возможны ситуации, когда им не предоставляется особый приоритет, а осуществляется распределение ресурсов, прав и ответственности между программно – целевой и линейно – функциональной сферами управления с учетом конкретных программ и ситуаций, для чего создается орган принятия решений. Такие оргструктуры с вертикальными и горизонтальными связями между названными сферами представляют собой наиболее гибкую форму управления и получили название *матричных структур*.

По мере развития предприятий и научно – производственных объединений (НПО) и выделения в них, наряду с основными рассматриваемыми сферами, в качестве самостоятельных таких сфер, как информационная, социальная и т. п., возникают *многомерные матричные структуры*, которые иногда называют *тензорными*.

В крупных объединениях, включающих несколько предприятий и организаций и делегирующих значительную самостоятельность этим предприятиям, а иногда и отдельным производствам, используется ***стратифицированное представление оргструктур***. Это имеет место, например, в объединении «АвтоВАЗ», предприятия которого находятся в разных городах, а территория основного из них – ВАЗа – составляет несколько десятков квадратных километров.

В условиях рыночной экономики используются *эшелонированные оргструктуры*, в которых входящим в объединение структурным единицам предоставляется различная степень самостоятельности и имеет место различная степень координируемости предприятий и организаций, входящих в концерн, акционерное общество и т. п., и различная степень вмешательства в деятельность структурных единиц, находящихся на нижележащих уровнях иерархии такого вида. Этот вид оргструктур используется, например, в холдингах.

Накопленный опыт проектирования организационных структур позволяет выделить *три подхода* к решению этой проблемы: нормативно–функциональный, функционально–технологический и системно–целевой. Они не являются взаимоисключающими, но имеют ряд принципиальных особенностей.

Нормативно–функциональный подход направлен на унификацию организационных форм управления в рамках отрасли. Разработка и внедрение типовых организационных структур явилось первым шагом на пути внедрения их научно обоснованного построения. Однако ориентация на типовую номенклатуру функций управления и структурных управленческих подразделений не позволяет учесть особенности конкретных предприятий и условия их деятельности, оценить влияние этих особенностей и условий на деятельность предприятия и на характеристики оргструктуры.

Функционально–технологический подход к формированию организационной структуры основан на рационализации потоков информации и технологии её обработки. Этот подход обеспечивает возможность достаточно полно учесть особенности конкретного предприятия (организации), отличается гибкостью и универсальностью. Вместе с тем, он характеризуется высокой трудоёмкостью, использованием стабильной номенклатуры сложившихся функций управления, подчинением оргструктуры схеме документооборота.

Системно–целевой подход заключается в построении структуры целей, определении на её основе функций управления и их организационном оформлении.

Преимущества этого подхода заключаются в возможности учитывать особенности объекта управления и условия его деятельности, изменять и расширять состав функций, проектировать разнообразные организационно-правовые формы предприятий. Трудности в использовании подхода связаны с проблемой перехода от совокупности целей и функций к составу и подчиненности структурных звеньев, обеспечивающих их реализацию.

При этом могут быть использованы следующие основные методы: *метод аналогий*, основанный на использовании опыта в организации управления различных предприятий; *экспертный метод*, слабой стороной которого является правомерность сомнений в надежности и объективности экспертных оценок (повысить которую могут помочь методы организации сложных экспертиз); *метод структуризации целей*, основанный на анализе целей и функций в конкретных условиях; *метод задач*, который, в отличие от метода структуризации (“сверху”), предполагает определение задач с помощью обследования системы управления и объединение их в группы (комплексы) на основе вводимых “мер близости” (подход “снизу”), вследствие чего он является более трудоёмким и сложным в реализации (что связано с проблемой введения мер близости); *метод организационного моделирования*, основу которого составляет использование математических моделей, позволяющих учитывать большее число различных факторов и взаимосвязей между ними.

Разработанные разными авторами методики совершенствования оргструктур отличаются именно выбранными подходами и используемыми методами.

Поскольку выявить зависимости между оргструктурой и эффективностью производства крайне трудно, оценка эффективности организационных структур чаще всего осуществляется на основе локальных критериев косвенного характера: число уровней иерархии, объем взаимодействия структурных управленческих звеньев, затраты на содержание аппарата управления и т. п. (оперативность управления, адаптивность, ...). На практике, как правило, ограничиваются критерием экономичности, отражающим, в основном, затратную часть эффективности.

4.2 Обобщенная методика проектирования организационных структур систем управления.

На основе приведенного (п. 4.1) анализа существующих подходов к проектированию (совершенствованию) оргструктур и методик, сочетающих подходы и использующих различные методы, разработана обобщенная методика проектирования организационной структуры (рис. 4.4), которая может быть использована для разработки частных методик для конкретных предприятий (организаций).

В приведенной на рис. 4.4 обобщенной методике проектирования оргструктур предусматривается возможность использования разных методов и моделей и выбор

метода с учётом конкретных условий и предпочтений ЛПР. В методике используется сочетание *системно-целевого и функционально-технологического* подходов.

Традиционно совершенствование СУ и её оргструктуры начинают с обследования существующей (или аналогичной) СУ. При этом преобладает нормативно-функциональный подход и результатом является, в основном, корректировка численности и состава подразделений аппарата управления.

При существенных преобразованиях предприятия, переходе к новой организационно-правовой форме, значительных изменениях во взаимоотношениях предприятия со средой в условиях внедрения рыночных принципов экономики и т. д., необходимо не только принимать решения по корректировке собственно оргструктуры,

но и проводить анализ влияния тех или иных функций, выполняемых подразделениями оргструктуры, на достижение целей предприятия в новых условиях.

Поэтому в рассматриваемой обобщенной методике в качестве первого этапа предлагается принять не этап обследования (хотя он тоже предусмотрен и может выполняться параллельно), а этап разработки концепции развития (создания) объекта управления и его системы управления (этап 1).

При разработке концепции должны быть решены вопросы о роли оргструктуры, выборе её формы, о принципах проведения преобразований (например, может быть принят так называемый “нулевой” вариант, при котором предусматривается, по возможности, минимальное сокращение численности (что может потребоваться при предоставлении производственным подразделениям большей самостоятельности и уменьшения централизации управления) за счет переориентации высвобождающихся сотрудников на новые функции (например, связанные с изменением взаимодействия предприятия со средой, маркетинг, анализ факторов, влияющих на функционирование предприятия, и т. п.)

Основными методами, которые могут использоваться при разработке концепции, являются методы МАИС: различные формы мозговой атаки (создание комиссий, обсуждение на директоратах, ученых и научных советах и т. д.), подготовки вариантов концепции в форме сценария.

После разработки концепции может быть проведено обследование существующей или аналогичных СУ (этап 2). Обследование может проводиться параллельно с разработкой концепции, особенно, если ЛПР испытывают затруднения при выполнении этапа 1.

При обследовании обычно используется *архивный* (на основе анализа документов существующей СУ) и *опросный* (путем анкетирования или интервьюирования работников аппарата управления) методы. В обоих случаях и при сочетании подходов представления, получаемые о СУ, отражают мнения (зафиксированные в документах или высказываниях в устной форме) о ней работников аппарата управления.

Однако опыт таких обследований показал, что они связаны не только со значительными затратами труда и времени, не только с плохой согласованностью результатов обследования, получаемых разными исследователями, но и с тем, что результаты обследования отражают мнение работников аппарата управления данной организации, т. е. заинтересованных лиц, и это является основным недостатком архивного и опросного методов. Дело в том, что при локальном анализе функций всегда можно обосновать их полезность, а исследование иерархических структур показывает, что выделенные ветви имеют тенденцию к самосохранению, т. е. при создании новых подразделений (или должностей) следует иметь в виду, что они будут стремиться искать себе работу, повышать представление о значимости своих функций.

Учитывая недостатки пассивных методов обследования (архивного и опросного), может быть использован *активный подход к обследованию*, основанный на принятой концепции, а в дальнейшем обследование может уточняться после формирования структуры целей и функций СУ (ЦФСУ). При проведении активного обследования могут использоваться верхние уровни структуры целей, когда её разработка полностью не завершена; в свою очередь, обращение к результатам обследования может помочь в формировании нижних уровней этой структуры.

Таким образом, этапы 1,2 и 3 взаимосвязаны и могут решаться параллельно. При выполнении этапов 3 и 4 важно как можно более полно учесть состав (структуру) ЦФСУ, учитывающий концепцию оргструктуры СУ и возможные условия её функционирования.

Получив множество детализированных функций после выполнения этапов 3 и 4, в принципе, можно перейти к формированию и анализу вариантов оргструктуры, применяя различные способы оценки трудоёмкости функций (от экспертной до нормативной), ища

“меры близости” между ними для объединения в подразделения оргструктуры или распределяя функции по подразделениям существующей (либо предлагаемых вариантов) оргструктуры (*этап 6*).

Однако для крупных предприятий и организаций (или при создании новых) целесообразно предварительно разрабатывать модели, на основе которых можно уточнить трудоёмкость выполнения функций, затраты на организацию их выполнения и другие характеристики, необходимые для формирования и оценки вариантов оргструктуры, т. е. перейти к выполнению *этапа 5*.

Особое внимание следует обращать на сравнительный анализ оргструктур с точки зрения обеспечения целостности и устойчивости, с одной стороны, и предоставления свободы в проявлении инициатив работниками предприятия, с другой, т. е. оценке вариантов оргструктуры с точки зрения централизации–децентрализации управления.

В случае малого предприятия функции организационного управления могут быть поручены сотрудникам, занимающимся основной (производственной или иной) деятельностью, и определена соответствующая доплата за выполнение этих функций на основе оценок функций структуры ЦФ, проведенной при выполнении предыдущих этапов. Подобное совмещение функций основной деятельности и организационного управления имеет место, например, в ВУЗе (декан, зам. декана, заведующие кафедрами, ... выполняют организационные функции, не прекращая основной преподавательской деятельности).

В случае крупного предприятия разрабатывается методика, с помощью которой распределение функций осуществляется поэтапно: вначале – между стратами (если они используются) или между заместителями директора (президента, ректора, декана и т. п.), а затем – по подразделениям ветвей оргструктуры, которые принимают участие в выполнении соответствующей группы функций.

Методика зависит от конкретных особенностей предприятия (организации).

Тема № 4. Примеры применения методов теории систем и системного анализа для исследования сложных систем и принятия решений.

§ 1. Модели постепенной формализации задач при организации технологических процессов производства и управления.

1.1 . Если число неизвестных больше числа уравнений.

Во многих практических ситуациях планирования и управления технологическими процессами сразу не удаётся найти подходящий метод формализованного представления, который позволяет решить задачу, или же, предложив формальную модель, не удастся доказать её адекватность отображаемой ситуации.

В этих случаях можно попытаться получить модель или доказать соответствие её реальной действительности путем организации процесса постепенной формализации задачи, позволяющего пошагово уточнять постановку задачи, обосновывать адекватность моделей, и в результате – получать ответы на поставленные в задаче вопросы.

Необходимость в таком подходе может возникнуть в тех случаях, когда, например, после описания ситуации принятия решения в виде системы алгебраических уравнений решение не может быть получено математическим путем (если, например, число неизвестных больше, чем число уравнений), или когда задачу не удаётся описать с помощью моделей математического программирования.

Рассмотрим идею постепенной формализации на примере элементарного эксперимента, который был проведен в 1972 году.

Пятикласснице была предложена задача, которую невозможно было решить известными ей методами математики. Задача, которая была заимствована из раздела головоломок одного из популярных журналов, формулировалась следующим образом.

Известно: в столовую вошла группа посетителей, которые вначале сели за несколько столов по 6 и по 7 человек, а затем разместились поровну, по 11 человек, заняв Z столов. Требуется определить: сколько посетителей вошло в столовую, если известно, что их было больше 100 и меньше 150.

Для отображения этой ситуации легко написать

$$\text{уравнение} \quad 6x + 7y = 11z$$

$$\text{и ограничение} \quad 100 < 11z < 150$$

(1.1)

Уравнение (1.1) имеет три неизвестных, т. е. число неизвестных больше, чем число уравнений. Следовательно, к нему неприменимы обычные методы решения алгебраических уравнений. Попытки применить искусственные приёмы также не позволяют получить все варианты, даже если учесть ограничение (да эти приёмы пятиклассница и не могла знать). Остаётся перебор или случайный подбор, на который и рассчитана головоломка.

Чтобы ускорить такой перебор, его можно попытаться несколько направить. Для этого школьнице было предложено *применить то, что знаешь*. Таблицу умножения, например. Снять ограничение "10", обычно задаваемое формой таблицы умножения, помогло то, что в правой части уравнения (1.1) z сразу умножается на 11. Под членами уравнения появились следующие столбцы произведений:

$x \cdot 1 = 6$	$7 \cdot 1 = 7$	$11 \cdot 1 = 11$
$6 \cdot 2 = 12$	$7 \cdot 2 = 14$	$11 \cdot 2 = 22$
$6 \cdot 3 = 18$	$7 \cdot 3 = 21$	$11 \cdot 3 = 33$
$6 \cdot 4 = 24$	$7 \cdot 4 = 28$	$11 \cdot 4 = 44$
$6 \cdot 5 = 30$	$7 \cdot 5 = 35$	$11 \cdot 5 = 55$
$6 \cdot 6 = 36$	$7 \cdot 6 = 42$	$11 \cdot 6 = 66$
$6 \cdot 7 = 42$	$7 \cdot 7 = 49$	$11 \cdot 7 = 77$
$6 \cdot 8 = 48$	$7 \cdot 8 = 56$	$11 \cdot 8 = 88$
$6 \cdot 9 = 54$	$7 \cdot 9 = 63$	$11 \cdot 9 = 99$
$6 \cdot 10 = 60$	$7 \cdot 10 = 70$	$11 \cdot 10 = 110$
$6 \cdot 11 = 66$	$7 \cdot 11 = 77$	$11 \cdot 11 = 121$
$6 \cdot 12 = 72$	$7 \cdot 12 = 84$	$11 \cdot 12 = 132$
$6 \cdot 13 = 78$	$7 \cdot 13 = 91$	$11 \cdot 13 = 143$
$6 \cdot 14 = 84$	$7 \cdot 14 = 98$	$11 \cdot 14 = 154$
$6 \cdot 15 = 90$	$7 \cdot 15 = 105$	$11 \cdot 15 = 165$

Затем, подождав, пока под членами уравнения появятся числа до умножения на 15, проводившие эксперимент, руководствуясь одним из принципов идеи постоянной формализации и исследования сложных систем – *не увлекайся перечислением элементов* (в данном случае за элементы приняты $6x$, $7y$, $11z$) – предложили школьнице остановиться и подумать, что можно сделать с полученными столбцами произведений дальше, т. е. предложили *возвратиться к формулировке задачи*.

Исходное уравнение (1.1) подсказывает, что сумма любого из произведений первого столбца и любого из произведений второго столбца должна дать одно из произведений правой части уравнения. Однако перебор при этом (в рассматриваемой задаче это – число размещений с повторениями) в случае 15 произведений под тремя столбцами составит $15^3 = 3375$!

Первая подсказка для ограничения перебора содержится в условии задачи, в ограничении $100 < 11z < 150$. Следовательно, нужно рассматривать только этот диапазон сумм. Но здесь школьница уже сама предложила приём, которым часто пользуются в школе: не вычислять полностью суммы, а проверять вначале суммы последних цифр слагаемых на совпадение с последней цифрой составляющих правой части уравнения (1.1).

После этого были выявлены три очевидные решения, соединенные в приведенной совокупности стрелками:

- 1) $x=8, y=12, z=12$;
- 2) $x=9, y=8, z=10$;
- 3) $x=11, y=11, z=13$.

В ответе к головоломке был только третий вариант решения, который можно получить, применив специальный приём: уравнение с тремя неизвестными типа $mx + ny = kz$ решается для любых x, y и z в случае, если сумма коэффициентов при переменных слагаемых равна коэффициенту при z , т. е. $m + n = k$. Тогда, приняв z равным сумме коэффициентов при x и y , т. е. $z = m + n$ и поменяв местами k и z , получим уравнение, справедливое при $x = y = k$, т. е. в данном случае 11 (третье решение).

Для нахождения вариантов решения (для ускорения процесса) можно разработать автоматизированную процедуру, которую реализовать на ЭВМ.

Приведенный пример демонстрирует полезность *неформального*, интуитивного мышления при решении задач, которые не могут быть сразу отображены формальными, математическими методами (в данном случае — полной системой уравнений, необходимой при трех неизвестных), и правильность гипотезы Адамара о необходимости

переключения этих видов мышления, которая и положена в основу метода *постепенной формализации процесса решения задачи* (для краткости будем называть его методом *постепенной формализации задачи*), т. е. основу *искусства формализации*.

1.2 Модели постепенной формализации задач при организации технологических процессов производства.

Ситуации, аналогичные рассмотренной головоломке, возникают, например, в следующих случаях:

– при принятии решения о замене двух (или более) видов монтажных столбов, оборудованных для выполнения соответствующих работ (один вид – для сборки, другой – для пайки и т. п.), на более универсальные монтажные столы, рабочие места которых позволяют выполнять несколько (два и более) типов операций;

– при выборе оборудования для участка: можно оборудовать участок станками или автоматическими линиями двух, трех и более типов, а можно оборудовать участок универсальными, переналаживаемыми станками с ЧПУ или гибкими, перестраиваемыми автоматическими линиями, которые способны выполнять все требуемые операции, необходимые на этом участке.

При условии, что известны средние производительности станков (линий, монтажных столов, ...) всех видов (с учетом переналадки универсальных рабочих мест) и ориентировочные объемы выпускаемой участком продукции, можно описать равноценные друг другу ситуации уравнениями типа

$$\begin{aligned} mx + ny &= kz \\ \text{или } mx + ny + lq &= kz \text{ и т. п.} \end{aligned} \quad (1.2)$$

с ограничением $Q_1 < kz < Q_2$, где x, y, q, z – число станков (линий) различных видов; m, n, l, k – значения их производительностей (которые известны или определяются экспериментально); Q_1, Q_2 – нижняя и верхняя границы объемов выпуска продукции.

С помощью подобных моделей можно решать практические вопросы типа: какой из вариантов оборудования потребует меньшего числа станков или линий (и, соответственно, меньших производственных площадей), целесообразно ли заменять имеющееся оборудование, способное раздельно выполнять необходимые операции, на универсальное, переналаживаемое с учетом объемов выпускаемой продукции (Q_1 и Q_2) и других характеристик конкретного производства (трудоемкости, частоты обновления продукции и т. п.), которые можно отразить, например, в коэффициентах уравнений.

На основе исследования уравнений типа (1.2) можно получить и некоторые общие рекомендации. Например, если средняя производительность универсального оборудования “ k ” существенно выше производительностей специализированного оборудования “ m ” и “ n ”, то практически все варианты решения будут получаться в пользу универсального оборудования. Однако легко проверить, что не только при $k < m$ и $k < n$, но и при сравнимых производительностях результат может быть и обратным, в зависимости от объемов выпускаемой продукции.

В рассмотренном примере использована идея отображения проблемной ситуации в виде развивающейся системы, лежащая в основе постепенной формализации задач, и ход решения направлялся с помощью некоторых рекомендаций типа “*используй то, что знаешь*”, “*не увлекайся перечислением*”, “*не забывай возвращаться к формулировке задачи*” (или иначе – “*помни о цели*”) и т. п.

Получив подсказку, ЛПР легко усваивают идею постепенной формализации и начинают сами предлагать приёмы сокращения перебора и “выращивания” решения задачи.

Ещё более интересные результаты можно получить, если, используя идею постепенной формализации, применить методы активизации интуиции специалистов (МАИС), и менять формальные методы (МФПС) в процессе постановки и решения задачи.

Рассмотренные ситуации можно представить и в форме “морфологического ящика”, если бы специалист, решающий эту задачу, выбрал метод морфологического моделирования.

Идея постепенной формализации задачи может быть реализована также в форме *языка моделирования*. Например, такие языки могут разрабатываться для систем автоматизации проектирования (САПР) сложных технических изделий и комплексов; для моделирования последовательности прохождения документов при подготовке и реализации управленческих решений, при разработке производственных и организационных структур предприятий.

1.3. Расчет потребного времени, средств производства, исполнителей.

Что такое планирование?

В п. 1.2 мы начали с примера, в котором рассматривались проблемные ситуации, возникающие на самом нижнем уровне производственного предприятия – на уровне организации технологического процесса. При этом нас интересовала только задача выбора оборудования или рабочих мест.

Однако, при более полном рассмотрении производственных ситуаций, необходимо решать не только задачу выбора оборудования, но и распределить работы по периодам выполнения заказов. Например, годовое производственное задание нужно распределить по кварталам, месяцам, неделям, дням (в последнем случае говорят о сменно-суточном задании).

Если производимое изделие является сложным, состоит из многих блоков и технологических операций, требующих для их выполнения специалистов различных квалификаций, то возникает задача распределения работ между производствами, цехами, участками и т. п. структурными подразделениями предприятия, между работниками – исполнителями.

Например, инженеры проектируют изделие, технологи разрабатывают технологию его производства, рабочие разной квалификации изготавливают детали, собирают блоки и изделие в целом. При этом создаются соответствующие проектные подразделения, технологические отделы, производства, цехи, участки.

Так, выпуск автомобиля требует создания литейного производства (для получения металла для деталей), сварочного, сборочного производства, производств для изготовления деталей, двигателя и т. п.

Весь комплекс задач по распределению заказов между производствами, цехами, участками, работниками, по плановым периодам – кварталам, месяцам и т. п. – принято объединять единым термином – *планирование*. Планирование – это не только задачи распределения, но и выбор заказчиков, определение объёма выпуска продукции и т. п.

Если производство – массовое (например, производство однотипных изделий – одинаковых деталей, блоков, радиоэлектронных устройств, автомобилей и т. п.), то для решения задач планирования могут быть использованы *аналитические методы*.

Например, если известно число изделий N , которые нужно произвести, число станков (или цехов) k , способных производить этот вид продукции, и предельная загрузка оборудования в соответствующем плановом периоде (например, в неделю, месяц, год) – n_{\max} , то имеем *обычную арифметическую задачу*: нужно распределить

изделия по станкам или цехам: $n_i = N/k$ и проверить затем, не превышает ли полученная загрузка n_{max} , поскольку должно быть: $n_i < n_{max}$.

Например, при $N = 210$, $k = 3$ и $n_{max} = 70$ получим: $n_i = \frac{210}{3} = 70$, т. е. задача

решается наилучшим образом: все изделия будут распределены и все станки (или цеха) будут предельно загружены.

Но на практике так почти не бывает. Либо заказов на это изделие больше, чем возможностей оборудования; либо заказов меньше, и оборудование простаивает. Либо общее число изделий не делится без остатка на число станков или цехов.

Тогда принимают решения: либо отказаться от лишних заказов, либо искать дополнительные заказы, либо допускать перегрузку одних станков (цехов) или недогрузку других.

Но ситуация может быть и более сложной, если изделий несколько, цена их различна, и загрузить оборудование нужно таким образом, чтобы получить максимальную прибыль.

Тогда могут помочь *методы математического программирования*.

Предположим, что известно:

- в трех цехах (Ц1 Ц2, Ц3) изготавливаются два вида изделий И1 и И2;
- загрузка каждого цеха a_i при изготовлении каждого из изделий (оцениваемая, например, в процентах %);
- прибыль (или цена) C_i от реализации изделий (в некоторых денежных единицах).

Требуется определить: сколько изделий каждого вида следует производить при возможно более полной загрузке цехов, чтобы получить за рассматриваемый плановый период максимальную прибыль.

Такую ситуацию удобно отобразить таблицей 1.1, которая

Таблица 1.1

Изделия	Цех (участок)			Цена изделия
	Ц1	Ц2	Ц3	
И1	5%	1,6%	2,9%	240
И2	4%	6,4%	5,8%	320
Максимальная загрузка	100%	100%	100%	

подсказывает характерную для задач математического программирования форму представления задачи, т. е. целевую функцию (в данном случае определяющую максимизацию прибыли или объема реализуемой продукции):

$$F = \sum_{i=1}^n c_i x_i = 240x_1 + 320x_2 \rightarrow \max, \quad (1.3)$$

и ряд ограничений (в данном случае диктуемых возможностями цехов, т. е. их предельной 100% –ой загрузкой):

$$\begin{aligned} 5x_1 + 4x_2 &\leq 100, \\ 1,6x_1 + 6,4x_2 &\leq 100, \\ 2,9x_1 + 5,8x_2 &\leq 100. \end{aligned} \quad (1.4)$$

Решение этой задачи: $x_1 = 9$, $x_2 = 13$ (типовая задача линейного программирования).

В общем случае может быть несколько групп подобных ограничений (например, по имеющимся материалам разного вида, себестоимости, зарплате рабочих и т. п.). Но в любом варианте подобная постановка задачи – это *классическая задача линейного программирования* – одного из наиболее простых методов *исследования операций*, которая решается как графически, так и аналитически, и для которой отработаны, в том числе, и стандартные программы для ЭВМ, реализующие её алгоритмы решения.

В зависимости от вида целевой функции и принципов организации решения выделяют направления математического программирования: *линейное* (при линейном характере целевой функции); *нелинейное* (целевая функция нелинейна); *целочисленное* (ограничения на характер переменных – только целые числа); *динамическое* и т. п. Невзирая на указанную специфику, основная суть постановки задачи в них сохраняется.

Но на практике бывает ещё сложнее: либо станок вышел из строя, либо рабочий заболел, ... Тогда нужно при планировании предусматривать резервы с учетом результатов предварительного *статистического анализа* и вводить коэффициенты, учитывающие возможные сбои производства по причинам износа оборудования, болезней и т. п.

Статистические методы помогают и в других ситуациях: при планировании ремонтных работ (ремонта оборудования, вычислительных устройств, измерительных приборов и т. п.), определении числа терминалов для доступа к информационной системе и других задач, которые относят к классу *задач массового обслуживания*.

Предположим, что известно: число поступивших заявок на ремонт вычислительных устройств (например, персональных ЭВМ) в среднем в год $\gamma = 120$ шт/год; время, требуемое на сложный ремонт одной ЭВМ одним специалистом сервисной фирмы, $\tau = 0,5$ месяца = $1/24$ года.

Требуется определить: сколько специалистов (k) должно быть в штате фирмы и, при необходимости, параллельно выполнять ремонтные работы, чтобы не задерживать выполнение заявок больше, чем на $t_{\max} = 0,5$ месяца.

Если для решения этой задачи применить аналитические представления, то рассуждать нужно так: если заявки на ремонт поступят в один день (такая ситуация, в принципе, возможна), то для того, чтобы одновременно проводить ремонт всех $v=120$ ЭВМ и выполнять заявки в обещанные в рекламе 0,5 месяца, нужно 120 специалистов, поскольку каждому из них на ремонт ЭВМ нужно 0,5 мес. = $1/24$ года, т. е.:

— 1) $T = \tau \cdot v = 1/24$ года \times 120 шт. = 5 шт. – год = 5 чел. – лет, где T – общее время, требуемое на ремонт v ЭВМ, а 1 чел. и 1 шт. (ЭВМ) взаимозаменяемы;

2) $k = T/t_{\max} = 5 \text{ чел.} \cdot \text{лет} / (1/24 \text{ года}) = 120 \text{ человек}$.

Но ведь это так маловероятно, что все 120 ЭВМ, поступающие на ремонт, были сданы в один день.

Вероятность – это уже понятие *статистических представлений*. Из арсенала статистических методов для решения данной задачи можно применить прикладную статистическую теорию – *теорию массового обслуживания*.

Предположим, что поступление ЭВМ на ремонт подчиняется самому распространенному в практике закону – закону Пуассона:

$$p(x) = \frac{\lambda^x e^{-\lambda}}{x!}, \quad (1.5)$$

где λ – математическое ожидание, или среднее значение случайной величины X ; этому же значению в законе Пуассона равна и дисперсия случайной величины, т. е. $\lambda = m = \sigma^2$; $e \approx 2,7$ – основание натурального логарифма.

Исследования закона Пуассона показывают, что $\lambda = v\tau$, где v - плотность потока, т. е. среднее число заявок, поступающих на обслуживание (ремонт и т. п.), τ – среднее время обслуживания одной заявки (в рассматриваемой задаче – ремонта одной ЭВМ).

Тогда $\lambda = m = \sigma^2 = v\tau$.

Применяя этот закон к задаче о ремонте ЭВМ, получим:

$$\lambda = 120 \cdot (1/24) = 5,$$

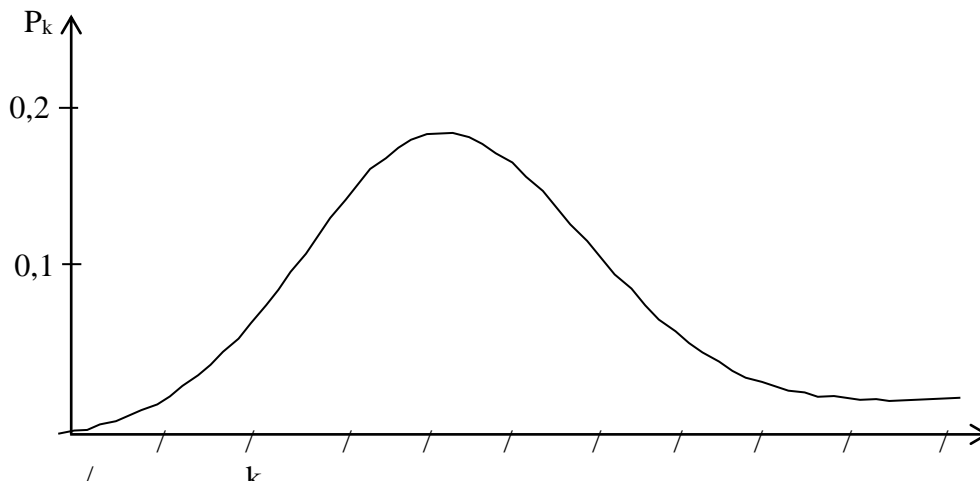
т. е. если поток заявок подчиняется закону Пуассона, то одновременно на ремонт могут поступать 1, 2, ... , но не более пяти заявок, поскольку математическое ожидание числа поступающих заявок равно пяти.

Следовательно, нужно, чтобы в штате сервисной фирмы было не менее пяти специалистов, умеющих выполнять ремонт ЭВМ.

Если учесть ещё и дисперсию, то число требуемых специалистов нужно увеличить на два. Значит, при наличии в штате семи сотрудников фирма может гарантировать заказчику выполнение ремонта его ЭВМ в среднем за 0,5 месяца.

Однако при выполнении любых статистических расчётов нужно помнить, что результат может быть реализован только с некоторой вероятностью, которую следует оценивать и учитывать.

В данной задаче посчитать вероятность выполнения заявок при пяти исполнителях можно, используя график плотности вероятности распределения Пуассона при $\lambda = 5$:



Суммируя вероятности появления 1, 2, ..., 5 заявок, получим:

$$P = \sum_{i=1}^5 p_i = 0,03 + 0,08 + 0,14 + 0,175 + 0,175 = 0,6.$$

Таким образом, 5 специалистов должны справиться с обещаниями фирмы с вероятностью 0,6. Учёт дисперсии несколько скорректирует эту оценку. А если учесть дополнительные случайности (болезнь или иные причины отсутствия сотрудников на рабочем месте, неисправность инструментов и приборов, необходимых для ремонта, отсутствие необходимых запасных элементов,...), то рекламируемые полмесяца в лучшем случае будут выполняться в половине случаев, т. е. через одного заказчика.

Если руководитель считает, что это плохо, он может попытаться увеличить вероятность выполнения поставленных условий, увеличивая число сотрудников. Пользуясь приведенным выше графиком $P_k(k)$, легко получить, что при увеличении числа

специалистов до 9 вероятность выполнения условий повысится до 0,95. Это уже приемлемо. Да и число сотрудников придётся не так сильно увеличить (не 120 же!).

А если бы руководителю фирмы захотелось получить 100%-ую гарантию, т. е. $P=1$, то, продолжая суммирование вероятностей для значений $k=10,11,\dots$, получили бы, что число сотрудников пришлось увеличить до 120.

Такой результат получается благодаря тому, что предварительно исследован процесс поступления заявок и определена закономерность, которой подчиняется поток заявок, и на её основе определено математическое ожидание числа заявок, поступающих в дискретный интервал времени – полмесяца.

Но для того, чтобы можно было доверять получаемым результатам, нужно: во-первых, всегда интересоваться двумя параметрами – *сколько?* и *с какой вероятностью?* – и выбирать из получаемых вариантов приемлемый для конкретных условий; во-вторых, нужно доказать представительность (репрезентативность) *выборки*, на основе которой получен реальный закон распределения заявок, который может отличаться от закона Пуассона.

На практике, если нет возможности доказать репрезентативность выборки (или вообще нет опыта деятельности фирмы), можно иногда применить *методы сетевого планирования* (для описания последовательности работ в пространстве и во времени).

Такая возможность есть, например, на промышленном предприятии. Можно попросить подразделения предприятия заранее дать заявки на ремонт оборудования по желаемым временным периодам, а затем скорректировать график заявок, попытавшись распределить их равномерно по месяцам. Подобное распределение ремонтных работ по временным периодам называется *графиком планово – предупредительных ремонтов*. При составлении такого графика можно учесть вероятности отказа оборудования, виды неисправностей, требуемую квалификацию ремонтных бригад, график отпусков и т. п.

На крупных предприятиях применяется именно этот метод планирования ремонтных работ. Но только для профилактических ремонтов, предупреждающих выход оборудования из строя. В случаях же неожиданных поломок оборудования нужно применять *методы теории массового обслуживания*.

Но изделия могут быть разнотипными, а заказы – разными по объему. Тогда необходимы другие методы.

Приведем пример постепенной формализации с использованием методов морфологического моделирования.

§ 2. Применение морфологического подхода при принятии плановых решений в условиях позаказной системы производства.

Предположим, что цех получает задание на производство продукции не в штуках, а в виде заказов, включающих изделия, одинаковые по трудоёмкости изготовления, но имеющие определенные отличительные особенности (например, различную окраску, комплектацию и т. п.).

Так может планироваться производство приборов разного рода, специального оборудования, автомобилей для экспорта, специализированных интегральных элементов электронных устройств, ... Для простоты допустим, что речь пойдет о сборочном цехе и о производстве достаточно крупных изделий, объёмы заказов которых исчисляются в штуках.

Пусть требуется выполнить следующие заказы: $Z_1=20$, $Z_2=20$, $Z_3=30$, $Z_4=40$, $Z_5=50$, $Z_6=60$ (объёмы заказов даны в условных единицах: это могут быть либо изделия большого размера, либо объёмы заказов в тысячах штук и т. п.).

Для их выполнения в цехе имеются три взаимозаменяемые сборочные линии, по которым заказы нужно распределить по возможности равномерно, но в то же время не

дробить заказы на части, так как это усложняет ведение документации и учет поставок продукции заказчику.

Эта задача может быть отнесена к классу *задач загрузки оборудования*. Для решения подобных задач иногда могут применяться *методы математического программирования*. Например, для рассматриваемой задачи целевая функция может иметь следующий вид:

$$F = \sum_j (\Phi_j - \sum_i a_{ij} x_i) \rightarrow \min, \quad (2.1.)$$

где Φ_j – общий фонд времени работы j -го вида оборудования (в данном случае – линий сборки) в плановом периоде; x_i – количество изготавливаемых изделий i -го вида; a_{ij} – трудоёмкость изготовления (временные затраты) одного изделия i -го вида на j -ом виде оборудования.

Таким образом, даже если не выполнять одно из требований задачи – не дробить заказы – то и в этом случае задача не может быть представлена в форме наиболее исследованной и имеющей стандартное программное обеспечение задачи линейного программирования, так как разность в (2.1) может менять знак (возможна либо недогрузка, либо перегрузка оборудования), т. е. целевая функция может изменяться скачком (немонотонна) и её минимизация теряет смысл.

Существуют *эвристические алгоритмы* решения этой задачи. Например, задаваясь Φ_j и x_i , и зная (из нормативных источников–справочников) a_{ij} , вычисляют фактическую трудоёмкость изготовления всех изделий T_j (на j -ом оборудовании), коэффициенты загрузки оборудования $h=T_j/\Phi_j$ и его пропускной способности $\eta=1/h$, перегрузку $+\Delta x_i = x_{\Phi_i} - x_i = x_i h - x_i$ и недогрузку $-\Delta x_i = x_i - x_{\Phi_i} = x_i - x_i h$, по значениям которых судят о необходимости изменения x_i . Процедура повторяется до тех пор, пока не получатся приемлемые значения $+\Delta x_i$ и $-\Delta x_i$.

В таком эвристическом алгоритме можно учесть больше факторов производственного процесса: например, можно учесть коэффициенты сложности, износа и переналадки оборудования и т. п.

Однако и этот алгоритм не позволяет выполнить одно из требований, содержащихся в условии данной задачи, – не дробить заказы.

Можно предложить и другие эвристические алгоритмы: расположить заказы в порядке возрастания и соединять крайние; или просуммировать объёмы заказов и разделить на число линий сборки, а затем пытаться подобрать усредненный объём.

Однако, во-первых, при большом числе заказов эти алгоритмы также нереализуемы, а во вторых, если в приводимом примере первый заказ имеет объём, не делящийся на число линий без дробления, то получаем дополнительную трудность.

Рассмотрим возможность применения для решения этой задачи *метода морфологического ящика*. Сформируем из заказов *морфологическую матрицу* (таблица 2.1).

Таблица 2.1

а)	L	A	B	б)	L(J)	ZA(J)	OZA(J)	ZB(G)	OZB(G)
	Л1	Z1=2	Z4=4		Л1	Z1	20	Z4	40
	Л2	0	0		Л2	Z2	20	Z5	50
	Л3	Z2=2	Z5=5		Л3	Z3	30	Z6	60
		0	0						

	Z3=3	Z6=6
	0	0

в)

L(J)	ZA(J)	ZA(G)	S	ВАРИАНТ РЕШЕНИЯ									
				1			2			3			
Л1	1	4	60	-			-			-			
Л1	1	5	70	+			+			-			
Л1	1	6	80	-			-			+			
Л2	2	4	60		+			-				-	
Л2	2	5	70	-			-					+	
Л2	2	6	80		-			+		-		-	
Л3	3	4	70		-				+			-	+
Л3	3	5	80	-			-	-		-			
Л3	3	6	90			+							

Формировать матрицу-ящик (МЯ) будем не из векторов-строк, как в исходном варианте Цвикки, а из векторов-столбцов, что удобнее для работников плановых отделов (это похоже на привычные для них таблицы планов загрузки производств, кварталов и т. п.).

При формировании столбцов можно предложить какой-либо принцип объединения заказов в группы. Например, можно учесть приоритетность выполнения заказов и выделить, соответственно, группы: экспортные заказы, заказы для других отраслей и внутриотраслевые заказы.

В рассматриваемой задаче заказы вначале объединим подряд в 2 группы: $A = \langle Z1, Z2, Z3 \rangle$ и $B = \langle Z4, Z5, Z6 \rangle$ (табл. 2.1а). Если приемлемое решение не будет получено, то МЯ можно переформировать, объединив заказы иначе.

На основе полученной МЯ можно, комбинируя элементы столбцов (по одному из каждого столбца) образовать возможные размещения заказов по линиям сборки (обозначенным $L = \langle L1, L2, L3 \rangle$), из которых далее нужно сформировать требуемое решение или варианты решения по следующему принципу: решение должно состоять из трёх размещений, отражающих загрузку всех трёх линий сборки; при этом один и тот же заказ не может планироваться для выполнения больше, чем на одной линии, и все заказы должны быть выполнены.

Идея исключения заказов иллюстрируется таблицей 2.1 в: заказы, выбранные для загрузки соответствующей линии на предыдущем шаге, исключаются из рассмотрения.

В таблице 2.1 обозначено: наименование заказа в группах А и В – ZА и ZВ, соответственно; объёмы заказов в группах А и В – OZА и OZВ; S – суммарный объём заказов, выполняемых на одной линии.

Чаще всего, а при большом производстве и объёме заказов – необязательно, этот процесс автоматизируется: по алгоритму составляется программа и выбирается (ЛПР) тот или иной из полученных вариантов решения по размещению заказов.

При этом можно ввести дополнительные критерии – трудоёмкость, объём реализуемой продукции или прибыль от её реализации и т. д., с помощью которых ограничить область допустимых решений.

Кроме того, можно далее ввести качественные критерии. Например, из двух равноценных вариантов с перегрузкой одной из линий можно выбрать вариант с перегрузкой линии, на которой производятся хорошо отработанные конструкции изделия, и, напротив, недогрузить линию, на которой производится вновь осваиваемое изделие.

Аналогично, при решении задачи загрузки плановых периодов можно выбрать вариант с недогрузкой летнего квартала, на который приходится наибольшее число отпусков; или, например, учесть критерий пожелания приоритетного заказчика – выполнить его заказ пораньше.

Таким образом, применяя морфологический подход, получаем человеко – машинную процедуру принятия решений, которая позволяет в интерактивном режиме выбирать варианты решения, поочерёдно используя возможности человека и ЭВМ: вначале с помощью выборов, сделанных человеком, сужать область допускаемых решений и получить варианты загрузки линий или кварталов, затем – уточнять критерии, а при необходимости – переформировать МЯ.

С математической точки зрения такая процедура не является процедурой оптимизации. Её можно квалифицировать как “постепенно ограничиваемый перебор”.

§ 3. Применение методов системного анализа при изучении сложной производственной системы.

Рассмотрим указанное применение на примере такой производственной системы как ресторан.

3.1 “Черный ящик”.

“...” Давайте ресторан рассматривать как “черный ящик”, – предложил кибернетик. У него есть вход и выход. По соотношению между ними мы выясним сущность объекта”.

... Поставили соответствующие датчики и установили ряд закономерностей. Суммарный вес входящих посетителей оказался меньше веса выходящих. Процент пьяных среди выходящих значительно выше, ..., резко преобладают мужчины”.

Цитата заимствована из книги Растригина и Граве “Кибернетика и психика”, в которой в юмористической форме приводятся различные подходы к изучению ресторана. (И это – одна из причин выбора для иллюстративного рассмотрения именно этого примера).

Первоначально в кибернетике широко применялось представление изучаемого объекта моделью ”вход–выход”, получившей образное название “черного ящика”, поскольку исследователь интересовался только входными воздействиями и выходными результатами и не ставил задачу изучения состава и структуры устройства или объекта, обеспечивающего эти результаты.

При проектировании “черный ящик” можно реализовать различными способами.

Такая модель давала удовлетворительные результаты в теории автоматического управления, занимающейся исследованием и созданием технических устройств

управления. Но попытки применения такой модели для изучения и проектирования систем с активными элементами оказались бесперспективными.

В частности, в примере с изучением ресторана на основе этой модели был получен следующий результат: “Ресторан представляет собой объект, посещаемый людьми в свободное время с целью увеселения, насыщения и опьянения”.

Но ведь наесться и напиться можно и дома, в столовой, в кафе, ... Чем же отличается ресторан? Какова его структура: из каких элементов и блоков он состоит, каковы между ними связи?... Стали искать другие подходы.

3.2 Морфологический и гистологический подходы.

“... Чтобы нам никто не мешал, проникнем в ресторан глубокой ночью... Отметим наличие столов, стульев, шкафов,... Более дотошный исследователь ... заглянет “глубже”. Он отколупает штукатурку и установит её химический состав, ... взломает шкаф, достанет посуду...”

Такой подход называется *морфологическим*. Или (во втором случае) – *гистологическим*”.

Эта цитата из уже помянутой книги Растригина и Граве образно характеризует один из подходов к исследованию сложных систем – подход “снизу”, называемый исследователями *терминальным, морфологическим, лингвистическим, тезаурусным* и т. п.

В соответствии с этим подходом нужно попытаться вначале “перечислить” систему, т. е. описать элементы изучаемой системы. Не будем уподобляться гистологам и “отколупывать штукатурку”, а в соответствии с терминальным или морфологическим подходом попытаемся переписать все крупные предметы: столы, стулья, шкафы, тарелки, вилки, ножи, комнаты и т. д.

Но эти предметы есть и в столовых, и дома,...

Если бы мы пришли не ночью, а когда ресторан работает, то увидели бы, что в ресторане есть “люди”. Понаблюдав за ними и расспросив, кто они, мы смогли бы дополнить первоначальный перечень элементов понятиями “посетители”, “официанты”, “музыканты” и т. д.

Теперь уже есть некоторые отличия от столовых. Но как же всё-таки понять, что такое ресторан? Может, попытаемся применить другой подход?

3.3 Целевой подход.

Целевой (или целенаправленный) подход рекомендует начинать исследование (или проектирование) системы не с “перечисления” её элементов, а с исследования назначения системы, с формулирования цели и её декомпозиции (структуризации).

В соответствии с одной из рассмотренных в теме № 1 закономерностей целеобразования цель сложной системы может быть вначале сформулирована только в виде “образа” или “области” цели.

Поэтому начинают исследование системы с её описания, с разработки *концепции* (преобразования, реорганизации или проектирования) системы. Разрабатывая концепцию новой системы, используют закономерность *эквивинальности*, т. е. описание желаемого будущего состояния системы, которое может быть реализовано не сразу.

При этом нужно описать предлагаемые характеристики системы. При их формулировании полезно учесть описанные в теме № 1 особенности развивающихся систем такие, как способность адаптироваться к внешним и внутренним помехам, способность вырабатывать варианты поведения и изменять свою структуру, способность к целеобразованию и т. д.

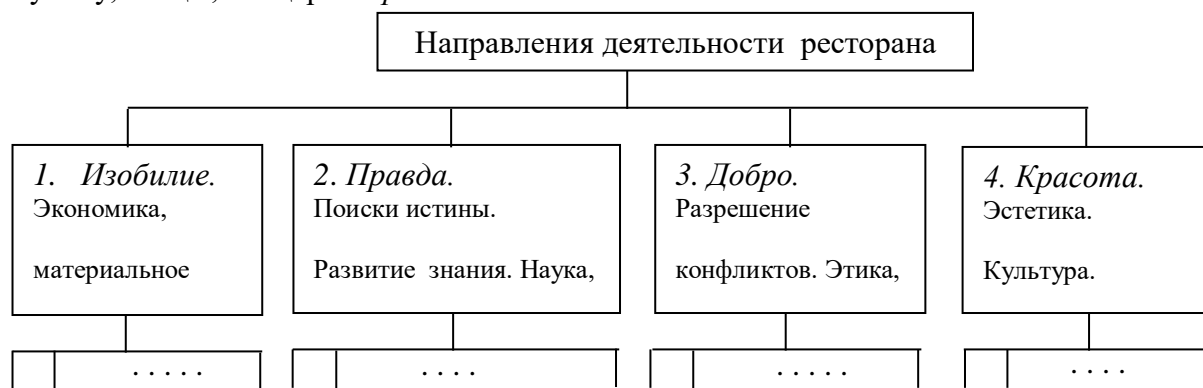
Вначале могут быть реализованы не все характеристики эквивинальности. В последующем, по мере развития системы, первоначальное представление о ней, отраженное в концепции, может изменяться.

Далее, для того, чтобы определить цели, в соответствии с упомянутой закономерностью целеобразования, нужно свести задачу формулирования цели к задаче её структуризации.

Структурировать цель исследователь или проектировщик может по своему усмотрению. Однако для того, чтобы ему помочь обеспечить полноту структуризации, необходимо применять методики структуризации, кратко охарактеризованные в теме № 2.

При изучении ресторана может, в частности, помочь методика структуризации целей системы, стремящейся к идеалу, предложенная Акоффом и Эмери. Эта методика позволяет обеспечить полноту структуризации таких организаций, цели и функции которых должны обеспечивать разносторонние потребности личности.

Если применить эту методику для изучения ресторана, то на её основе можно сформулировать концепцию ресторана как заведения, обеспечивающего разносторонние потребности человека (см. рис. 3.1) – от потребности в питании (изобилие, ”экономические” потребности) до потребности в эстетической обстановке, включая музыку, танцы, концерт – *красота*.



При этом функцию разрешения конфликтов (*добро*) можно трактовать как охрану порядка в ресторане. А уж по поводу функции поиска ценностных ориентаций, истины (*правда*) могут возникнуть сомнения: должна ли она быть в числе направлений деятельности ресторана? Не является же ресторан научным или образовательным учреждением.

И здесь целевой подход не может дать ответа. Нужен опыт, обследование ресторана, более детальное изучение элементов и их назначения, т. е. другой подход...

Детализируя основные направления деятельности конкретного ресторана, можно получить функции, для выполнения которых затем нужно определить средства. Но вот здесь снова могут возникнуть проблемы. Тот, кто разрабатывает концепцию и умеет структурировать цели и функции, может не знать конкретных компонентов, необходимых ресторану для выполнения этих функций.

Можно попытаться применить другую методику структуризации, например, методику Перегудова- Сагатовского, учитывающую взаимодействие системы со средой (рис. 3. 2).

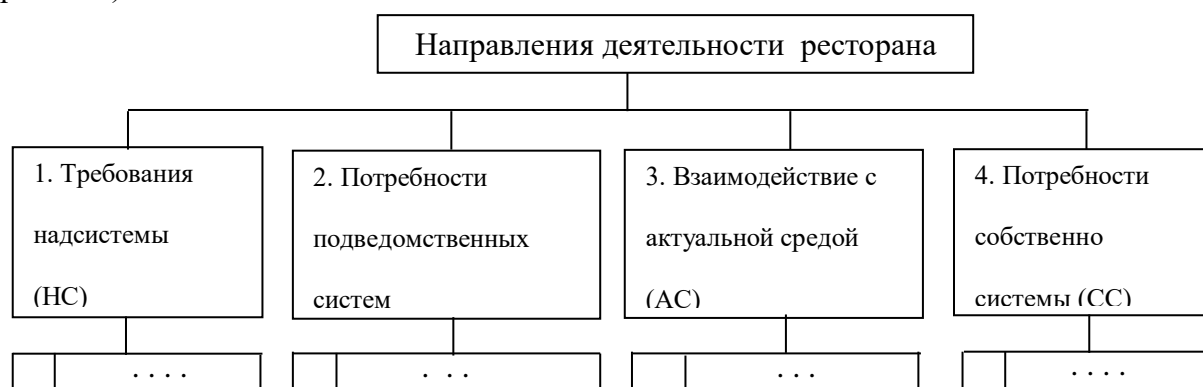


Рис. 3. 2

Но в этом случае возникнут проблемы, связанные с недостатком необходимых сведений о конкретном объекте.

Например, изучение спроса на услуги ресторана и других требований Надсистемы, состояние Подведомственных объектов (помещений, оборудования и т. п. видов обеспечения деятельности ресторана) и Собственно системы управления рестораном, анализ взаимодействия с Актуальной средой (с поставщиками, конкурентами и т. п.).

Получение этих сведений связано с необходимостью обследования изучаемой или создаваемой системы (ресторана) и среды, в которой она существует.

При этом, правда, обследование будет не пассивным, а активизировать его можно вопросами, инициированными структурой направлений деятельности.

Но всё равно это уже другой подход. Как же быть?

Может быть, попытаться применить третий подход – *постепенную формализацию задачи с переключением первых двух подходов* (“снизу” и “сверху”) и соответствующих этим подходам методов формализованного представления системы (МФПС) и методов активизации интуиции и опыта специалистов (МАИС)?

3.4 Постепенная формализация задачи.

Вспомним основные принципы этого метода подхода и попытаемся применить их при изучении ресторана. Представим путь постепенной формализации задачи в виде методики.

Этап I. Формулировка задачи.

Формулируются цель, назначение, концепция существующего или создаваемого объекта. В данном случае, например, – “Изучить существующий объект “ресторан” (Rest). При создании нового объекта при выполнении этого этапа ЛПР должны сформулировать: каким они хотят видеть создаваемый объект.

На языке теории систем говорят об определении *эквивинальности*, т. е. предельного состояния системы в будущем. На практике удобно при этом использовать термин “концепция”. При разработке такого описания применяют методы активизации интуиции ЛПР типа *мозговой атаки* (в форме устных обсуждений), *сценариев* (письменные предложения) и т. д.

Этап 2. Применение морфологического подхода (подхода “снизу”).

Этот этап можно разделить на подэтапы, что зависит от выбранных методов реализации подхода. Приведём пример возможных подэтапов.

2.1 “Перечисление” элементов системы (обследование).

Разрабатывается или выбирается знаковая система, с помощью которой фиксируются известные исследователю на данный момент компоненты.

В простейшем случае это может быть описание элементов на естественном языке. Пишут документ, называемый “Обследование существующей системы” (а именно так называется обычно первый этап знакомства со сложным объектом). Или собирают информацию о средствах реализации желаемого состояния объекта (концепции, выработанной при выполнении этапа 1), организуя совещания владельцев и будущих сотрудников ресторана. По возможности, с элементами *мозговой атаки*, т. е. предлагая любые, вплоть до кажущихся фантастическими, способы и средства реализации создаваемого объекта.

2.2 Формирование теоретико–множественной модели.

В качестве знаковой системы могут быть выбраны *теоретико–множественные представления*. При этом не ставится задача полного “перечисления” системы, а

фиксируются элементы, известные на данный момент, в результате чего формируется исходное множество элементов.

Так, применительно к ресторану, основными элементами, образующими множество исходных, увиденных при первоначальном *обследовании*, могут быть названы: <столы; стулья; шкафы >, <зал; кухня>, <посетители; сотрудники>, <тарелки; ножи; ложки> и т.д.

В соответствии с возможностями теоретико–множественных представлений, можно, вводя “меры близости”, искать связи между элементами или хотя бы признаки общности элементов, которые позволили бы объединить их в группы (см. выше). То-есть, в примере с рестораном – это группы: “Мебель” или “оборудование” E_q (equipment), “приборы” C_v (cover), ”люди” P_r (people), “помещения” (premises).

Итак, применив при обследовании ресторана морфологический подход, реализованный с помощью теоретико–множественных представлений, мы сформировали некоторое множество элементов.

Путём преобразования исходного теоретико–множественного представления (отображения) с помощью введенных (принятых) правил получены новые результаты–подмножества, которые могут подсказать последующие шаги на пути подготовки решения.

В рассмотренном случае, например, путём дальнейшего деления подмножеств можно уточнить виды помещений, виды столовых приборов, в подмножестве “люди” выделить посетителей и сотрудников. Но такая детализация не даёт принципиально новых результатов.

2.3 Исследование связей между подмножествами.

Получив подмножества исходных элементов, можно попытаться найти возможные взаимосвязи между элементами этих подмножеств.

Например, при более внимательном изучении “элементов” ресторана мы увидели бы, что в разных комнатах разные столы: в зале, где едят,- накрытые скатертями, украшенные вазочками с цветами; на возвышении – пюпитры; в другом каком-то (пока пусть непонятном нам) помещении – длинные, непокрытые столы и ещё какое-то непонятное оборудование.

Аналогично с подмножеством “приборов”: в зале с украшенными столами – красивые ложки, вилки, ножи и т. п. столовые приборы; а в другом, непонятном помещении (если бы спросили работающих там людей, то узнали бы, что это – помещение для приготовления пищи) – большие ножи, поварёшки, огромные кастрюли и т. п. инструменты и приспособления.

Такое наблюдение позволило бы нам установить определенные связи и ввести некоторые правила объединения элементов из разных подмножеств, в результате которого, в соответствии со свойством сложности систем (см. тему № 2), появляется новый смысл: например $\{e_q \cap p_r\}$

Объединим элементы из подмножеств “Помещения”, “Оборудование”, “Люди”. Например, – место (элемент P_r), на котором стоят музыкальные инструменты, собственно инструменты (E_q), музыкантов и певцов (P_r). Получим новое множество – “Сцена”.

Аналогично, объединив специализированное помещение с размещенными в нём агрегатами для приготовления пищи и людей, занимающихся этой работой, получим новое множество, которое кратко можно назвать “кухня”.

Организовав такую процедуру перебора и предоставляя результаты объединения компетентным лицам, которые будут давать новым множествам квалифицированные наименования, можно более адекватно описать исследуемый ресторан в виде формализованной модели на выбранном языке отображения.

Однако при этом мы получим только те понятия, элементы которых содержатся в исходном перечне множеств. И не будет гарантии полноты описания ресторана.

Конечно, постепенно, обследуя помещения шаг за шагом, мы, в конечном итоге, обнаружим элементы, которые не входят ни в одно из сформированных подмножеств (например, ПЭВМ, авторучки или таблицы, заполненные цифрами), и тогда задумаемся, какие же функции должны выполнять эти предметы. Но это может произойти и не очень скоро.

Для того, чтобы ускорить понимание объекта, рассматриваемый подход рекомендует не забывать и о другом подходе – *целевом* (“сверху”).

Этап 3. Применение целевого подхода.

Этот этап также можно разделить на подэтапы.

3.1 Формирование структуры групп элементов системы.

Вначале попытаемся использовать сведения, полученные при обследовании ресторана путём применения морфологического подхода.

Наличие столов, тарелок и столовых приборов любому из нас позволит сделать вывод о том, что в ресторане едят. Музыкальные инструменты подскажут, что, повидимому, здесь бывают выступления музыкантов, а, возможно, и певцов; под музыку можно и потанцевать. Наличие кухонных принадлежностей наведет на мысль, что здесь готовят пищу, ...

Мы можем сформулировать эти укрупненные функции, представив их в виде структуры соответствующих направлений деятельности ресторана.

Но гарантии, что мы полностью описали ресторан при таком способе формирования структуры, нет. Для того, чтобы обеспечить полноту описания, существуют, как было показано выше, специальные методики структуризации целей и функций. При этом верхний уровень структуры на практике бывает удобнее называть *направлениями* деятельности.

3.2 Применение методики Акоффа – Эмери (А–Э).

Применив методику А–Э (см. тему № 2), мы получим четыре названные в ней направления: *изобилие* (И), *правда* (П), *добро* (Д), *красота* (К) и задумаемся над тем, достаточно ли собранных элементов для обеспечения этих функций.

В частности, до применения этой методики в полученном на основе обследования множестве не было элементов, обеспечивающих функцию – направление “*добро*” (Д), т. е. предотвращающих беспорядки, конфликты, обеспечивающих охрану.

После того, как эта функция появится в числе основных, становится понятным, что нужен кто-то, кто ограничивает вход при переполнении заведения, у компетентных лиц мы узнаём, что он называется “швейцар”, что нужны милиционеры, необходимые средства (дубинки, оружие, возможно, входные турникеты и т. п.), которые позволят им успешно осуществлять свои функции.

Если задуматься о функции “*красота*” (К), то появятся требования к музыкальному сопровождению, к оформлению помещений: занавески, цветы, а, возможно, и водоёмы, в которых плавают живая рыба, и т. д. Наверное, следует задуматься и над репертуаром развлекательных мероприятий.

Вспомним, что при применении целевого подхода у нас возникли сомнения по поводу возможности реализации направления “*правда*”(П). Не является же ресторан научным или образовательным учреждением?! Да, конечно, не является. Но Акофф и Эмери, обсуждая в своей книге роль разного рода “*питейных*” заведений в обществе, показывают, что в них формируется мировоззрение, ведутся философские беседы (несколько по-разному в разных культурах), обсуждаются пути развития общества, вплоть до фантастических прогнозов.

Значит, нужно создать в ресторане соответствующие условия для выполнения этой функции, для ведения подобных бесед о ценностных ориентациях. Завести специальные помещения – небольшие залы для организации приёмов, изолированные кабины для того, чтобы обеспечить лучшие условия для философских бесед, ... И т. д.

Если применить другие методики структуризации, то появятся новые функции.

3.3 Применение методики, учитывающей взаимодействие системы со средой.

Анализ взаимодействия системы со средой помогает делать методика Сагатовского–Перегудова. Основной признак этой методики ”пространство инициирования целей” обращает внимание на необходимость учета: требований *Надсистемы (НС)*, т. е., в данном случае, анализа платежного спроса на услуги ресторана, требований налоговых и аудиторских служб и других административных органов управления районом, городом, на территории которого расположен ресторан; возможностей *подведомственных систем (ПС)*– объёмы имеющихся или требуемых помещений, наличие необходимого оборудования, штатов, финансовых оборотных средств и т. п.; характеристики *актуальной среды (АС)*– поставщиков продуктов, конкурентов и т.п.; и, наконец, на необходимость учета функций, необходимых для совершенствования *собственно системы (СС)* управления рестораном (директор, бухгалтерия и т. п. обслуживающие подразделения), нормативно-методические документы, регламентирующие деятельность ресторана (Устав, должностные инструкции, меню и т. п.). Понятно, что для выполнения этих функций потребуются новые элементы.

3.4 Формирование обобщенной структуры направлений деятельности объекта.

При применении разных методик получаемые структуры направлений деятельности и функций могут содержать одинаковые составляющие, но основные направления, вынесенные на верхний уровень, различны, поскольку зависят от концепции, принятой авторами при формировании структуры.

Можно, конечно, отдать предпочтение одной из концепций и выбрать одну из сформированных структур. Но чаще имеет смысл формировать обобщенную структуру, содержащую более полный перечень основных направлений, получаемых после исключения дублирования функций. При этом могут получаться разные варианты объединения структур.

В рассматриваемом варианте задачи с рестораном можно сформировать два варианта структуры:

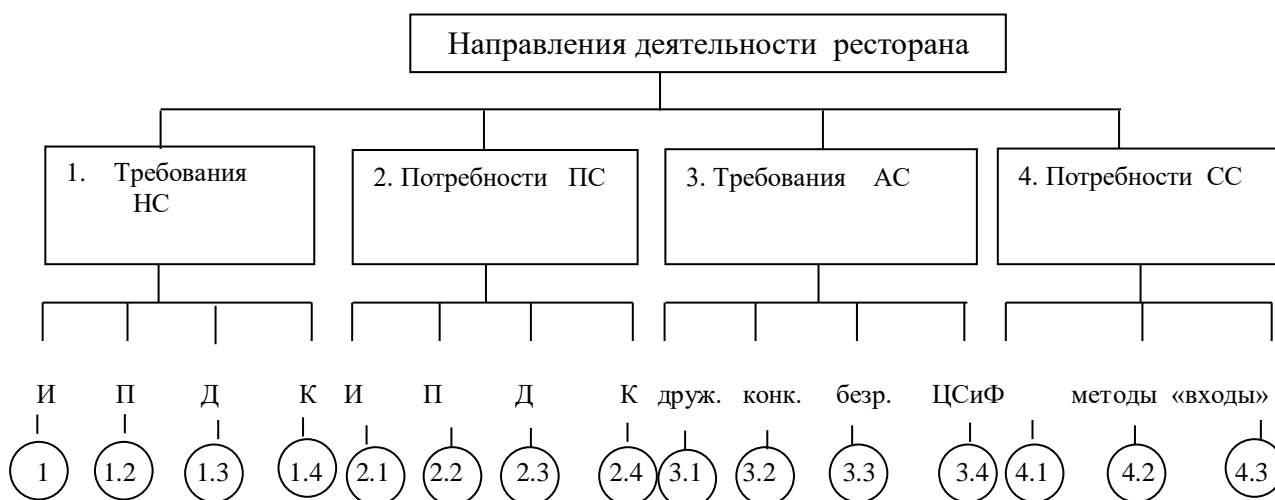
1) взять за основу методику Акоффа-Эмери, и четыре направления (И, П, Д и К) дополнить ещё тремя – НС, АС и СС.

Функции, иницируемые направлением *подведомственные системы*, в основном, совпадают с функциями, предусмотренными направлением *изобилие*, и их можно заменить общим направлением “*обеспечение деятельности ресторана*”. В результате на верхнем уровне получится семь направлений, которые позволят достаточно полно раскрыть функции ресторана;

2) взять за основу методику Перегудова -Сагатовского и детализировать направления НС и ПС с помощью методики Акоффа-Эмери. При этом И, П, Д и К помогают уточнить потребности и требования НС и обеспечивающие функции ПС. Формулировки функций других направлений уточняются путём разделения при структуризации АС на *дружественную (друж.)*, *конкурентную (конк.)* и *безразличную (безр.) среду*, а при структуризации СС – с помощью методики, основанной на *концепции деятельности*, в соответствии с которой выделены следующие составляющие структуры деятельности: “Цели, содержание и формы” (ЦСИФ)–эта составляющая определяет такие направления деятельности ресторана, как анализ функций и совершенствование его структуры; ”Методы” – этим условным названием объединены нормативно–методические документы, регламентирующие деятельность учреждения; ”Входы” – учет факторов, влияющих на функционирование системы, и их анализ.

Таким образом, методики структуризации, помогая выявить новые функции, обращают внимание исследователя на принципиально новые элементы, которых не было в исходном перечне, полученном при применении подхода ”снизу”.

В результате может быть получена следующая структура направлений деятельности ресторана:



На данном рисунке обозначено:

1.1 – Анализ платежеспособного спроса на услуги ресторана; 1.2 – Анализ роли ресторана в развитии района, города и разработка требований к ресторану, как к культурно-развлекательному учреждению; 1.3 – Организация взаимодействия с аудиторскими, налоговыми службами и другими органами управления административной единицей; 1.4 – Анализ роли ресторана в развитии личности и разработка рекомендаций по совершенствованию его деятельности; 2.1– Обеспечение ресторана помещениями, мебелью, посудой и другими материальными ценностями; 2.2 – Оборудование помещений для организации приёмов, дискуссий и т. п.; 2.3 – Охрана правопорядка; 2.4 – Создание эстетической обстановки; 3.1 – Организация взаимоотношений с поставщиками продуктов; 3.2 – Обеспечение вывоза отходов; 3.3 – Анализ взаимоотношений с конкурентами; 3.4 – Анализ деятельности аналогичных учреждений и обмен опытом; 4.1 – Анализ функций ресторана и разработка (совершенствование) его структуры; 4.2 – Разработка нормативно-методических документов (Устава, должностных инструкций, меню и т. п.), регламентирующих деятельность ресторана; 4.3 – Анализ факторов, влияющих на функционирование и развитие ресторана.

При выявлении новых функций можно возвратиться к ”перечислению” (обследованию) системы (подходу “снизу”), пополнить множество элементов принципиально новыми группами и попытаться возвратиться к комбинированию элементов разных множеств. Но лучше это сделать на основе сочетания подходов и совместного использования средств МАИС и МФПС.

Одним из методов, позволяющих сочетать средства МАИС и МФПС, является структурно-лингвистическое моделирование, которое мы и применим.

Этап 4. Применение структурно-лингвистического моделирования.

На данном шаге нужно обеспечить комбинирование элементов из разных множеств. Поскольку множество исходных элементов существенно расширилось, нужно задуматься: удовлетворяют ли нас *теоретико-множественные* представления, или, может быть, лучше выбрать другой метод моделирования?

Комбинировать элементы из разных множеств удобно с помощью *лингвистических* представлений, на основе которых разработать и применить *язык моделирования*. При разработке такого языка помогают *структурные* представления (иерархические, сетевые). Поэтому метод и назван *структурно-лингвистическим*.

4.1 Разработка языка моделирования.

При разработке языка моделирования определяют (см. тему №2): *словарь* (или, в более общем случае, *тезаурус*); *грамматику* (правила *морфологии* и *синтаксиса*).

При разработке тезауруса помогают *иерархические* представления. При разработке грамматики можно ввести не только правила “помещения рядом” элементов из разных множеств (определяемых на основе иерархической модели тезауруса), но и правила вступления элементов в более сложные взаимоотношения (которые можно определить на основе исследования *сетевых* моделей, описывающих взаимоотношения между элементами).

Применительно к рассматриваемому примеру это могут быть, например, правила перемещения элементов из одного помещения в другое, основанные на отображении технологических процессов приготовления блюд, обслуживания посетителей и т. п.

4.2 Формирование структурно-лингвистической модели.

С использованием языка моделирования можно сформировать *структурно-лингвистическую модель*, отображающую варианты взаимоотношений между компонентами и элементами системы.

Например, в ресторане возможны варианты последовательности обслуживания посетителей: можно предусмотреть традиционный способ обслуживания с посредничеством официанта; можно ввести элементы самообслуживания некоторыми видами закусок или десерта; можно делать заказ по телефону из отдельного зала, предусмотренного для обслуживания делегаций, банкетов, или кабинета для беседы вдвоём; можно допустить перемещения из одного помещения в другое с разными видами обслуживания и развлечений (например, игровые залы, варьете) и т. д.

Варианты организационно–технологических процедур этих видов обслуживания требуют совместного анализа, который позволит определить допустимые и лучшие.

Для проведения такого анализа нужно ввести количественные оценки (численность обслуживающего персонала, скорость приготовления индивидуальных блюд и т. п.), выбрать и применить более формализованные методы моделирования.

Этап 5. Введение количественных оценок. Разработка и исследование формальных моделей.

Для того, чтобы перейти к количественным оценкам модели, нужно возвратиться к системным представлениям, уточнить цель и решаемые задачи и для них ввести критерии оценки.

5.1 Выбор критериев оценки.

Выбор критериев оценки зависит от конкретной задачи. Например, при отображении технологических процессов обслуживания посетителей можно ввести количественные оценки времени на обслуживание при различных способах его организации. При моделировании процессов приготовления пищи – количественные оценки стоимости взаимозаменяемых блюд, времени приготовления блюд, в том числе при выполнении индивидуальных заказов, и т. д.

5.2 Оценка и анализ моделей.

Производится оценка и анализ структурно-лингвистических моделей. Алгоритмы обработки оценок зависят от вида конкретной модели. Получение таких алгоритмов – достаточно сложная задача (примеры её решения изучаются при подготовке специалистов по управлению).

5.3 Формирование и исследование аналитических и /или статистических моделей.

При введении количественных оценок могут быть получены формальные модели решения отдельных задач с использованием аналитических или статистических методов. Вид и характер таких моделей зависят от конкретного объекта и исследуемых задач. Для

выбора методов и получения моделей необходим возврат к человеку, к его знаниям, опыту и интуиции.

В результате проблема изучения ресторана отображается фактически семейством моделей, объединяемых структурой целей и функций ресторана, как системы. Адекватность моделей доказывается последовательно (по мере формирования обобщенной модели) путем оценки правильности отражения в каждой последующей модели компонентов и связей, необходимых для достижения поставленной цели и решения реализующих её задач.

Для удобства применения рассмотренного подхода на практике приведенную последовательность действий (методику) принято представлять в виде блок-схемы; при этом обычно наименование этапов изменяют с учетом получаемых результатов (см. рис. 3.3).

Некоторые из элементов можно выполнять параллельно. Начинать можно не только с морфологического моделирования (пассивного сбора сведений о системе, “перечисления” её элементов), а и с целевого подхода. Сформировать абстрактную структуру функций с применением соответствующей методики и попытаться затем обеспечить выполнение этих функций.

Казалось бы, в этом случае вообще не нужен морфологический подход. Достаточно целевого. Но тогда либо может получиться необычный, оригинальный ресторан, либо можно не всё учесть.

Если вначале применён целевой подход, то обследование можно проводить с помощью сформированной структуры функций, на основе которой можно провести спрос сотрудников существующих аналогичных объектов, их посетителей, найти необходимые сведения в книгах и т. д.

Такой способ обследования называется *активным*, в отличие от *пассивного* способа сбора сведений без предварительно сформулированных функций. Но и в этом случае будут сформированы множества элементов, которые, как правило, требуется преобразовать с помощью морфологического подхода, поскольку разные функции могут выполняться в одном помещении, одним исполнителем и т. д.

Иногда можно (и целесообразно) при получении обобщенной структуры направлений деятельности (подэтап 3.4) предварительно оценить значимость направлений, т. е. к оценкам обратиться раньше, чем показано на блок схеме. Это может помочь выбрать более предпочтительный вариант структуры.

Приведенный пример демонстрирует, что подобное моделирование становится своего рода “механизмом” развития системы, “выращивания” модели принятия решений. По мере развития модели методы могут изменяться.

В процессе моделирования следует помнить о двух полюсах мышления и рекомендации Адамара:

- При возникновении затруднений использовать переключение образного и формального мышления.

При этом полезно учитывать рекомендации типа “используй то, что знаешь”, “не увлекайся перечислением”, “не забывай возвращаться к системным представлениям”, “помни о цели”, “не бойся менять методы” и т. п.

При “выращивании ” модели можно накапливать информацию об объекте, фиксируя всё новые компоненты, связи, правила взаимодействия компонент, и , используя их, получать отображения последовательных состояний *развивающейся системы*,

постепенно создавая всё более адекватную модель реального, изучаемого или создаваемого объекта.

При этом информация может поступать от различных специалистов (реализующих различные функции) и накапливаться во времени по мере её возникновения в процессе развития объекта и наших представлений о нём.

Процесс *постепенной формализации* задачи может стать обоснованием обобщённой формальной модели с пошаговым доказательством её адекватности на каждом витке моделирования. Такой подход является искусством формализации.

3.5 А если – не ресторан?

Мы взяли для иллюстрационного примера изучения сложной системы ресторан, поскольку он является тем объектом, который обеспечивает низшие из рассмотренных в теме №1 уровней эквивалентности человека – *материальный* (потребность поесть, выпить) и *эмоциональный* (элементарные развлечения – послушать музыку, потанцевать).

Если взять театр, концертный зал, картинную галерею и т. п., то исследовать их будет сложнее. Нужно понять, какое воздействие оказывают эти объекты на развитие человека, повышение его культурного уровня.

При попытке изучения завода мы обнаружили бы много разнообразных помещений, станков, каких-то непонятных устройств и т. д. Управление таким сложным объектом иногда сравнивают с симфоническим оркестром, каждый инструмент которого ведёт свою музыкальную партию, а дирижёр обеспечивает гармоническое взаимодействие всех инструментов.

Но те, кто понимает принципы управления функционированием крупного автоматизированного предприятия, знают, что всё обстоит ещё сложнее, поскольку “дирижирование” осуществляется не одним человеком, а с помощью многоуровневой системы управления.

А исследовать школу или ВУЗ ещё сложнее. Нужно не только определить содержание обучения (т. е. исследовать мысли, тексты, принципиально не поддающиеся формализации), но и распределить его по предметам, временным периодам, организовать группы студентов (классы школьников), составить расписание занятий с учетом имеющихся помещений, возможностей преподавателей и т. д.

§ 4. Изучение сложных биологических систем.

4.1 Кошка – система? (Изучение животных)

“Кошка – это система? Безусловно ... Испуганная нашим пристальным вниманием, кошка прыгнула через забор и скрылась на заводском складе. Забор – это система? Да, специально сконструированная и созданная система ограждения. Склад – это система? Да – система хранения материальных ценностей... А завод – система?...”

Итак, что получили? Система перескочила через систему и скрылась в системе?!... ”

Приведенная ситуация с кошкой заимствована из книги Черняка “Простота сложного”. Она помогает понять, что термин “система” нужно применять как средство исследования объекта и связывать с целью, аспектом его рассмотрения.

В приведенном примере с проникновением кошки на склад завода рассматривать кошку как систему не нужно. В этом примере, если нас интересует местоположение и перемещение объектов, то достаточно отображать объекты точками и блоками. А если имеется опасность пребывания кошки на складе (если, например, это склад мясной продукции), то нужно исследовать систему ограждения, а кошку рассматривать, как помеху. И т. д.

Но при изучении кошки как живого организма (объекта) ее можно рассматривать как биологическую систему. При этом в зависимости от цели в качестве элементов можно выделять туловище, голову, уши, хвост (как на картинке) или подсистемы

кровообращения, нервную, лимфатическую, мускульную и т. п., которые, в свою очередь, являются сложными системами.

4.2. Изучение человека.

Аналогичные подсистемы можно рассматривать при изучении человека. Но для того, чтобы лучше представить сложность человека – системы, приведем фрагменты из книги Залманова «Тайная мудрость человеческого организма»: «Живая материя характеризуется тем, что множество бесконечно малых единиц (коллоидные мицеллы) обладает чрезвычайно большой поверхностью по отношению к объему человеческого тела. Вес коллоидальных веществ в протоплазме тела человека – 5 кг. в сухом виде ... Средние размеры мицелл $\approx 5 \cdot 10^{-6}$ мм Поверхность, представляемая мицеллами всего тела, $\approx 2 \cdot 10^6 \text{ м}^2 = 200 \text{ га}$...»

Затем автор объясняет, как обеспечивается поддержание жизни этой огромной поверхности:

«Жизнь – это вечное движение жидкостей между клетками и внутри клеток.. Остановка этого движения приводит к смерти. Частичное замедление этого движения жидкостей в каком-то органе вызывает частичное расстройство. Общее замедление вызывает заболевание...»;

«... 5л. крови, 2л. лимфы, 28л. внеклеточной и внутриклеточной жидкости, ...»;

«... Общая поверхность капилляров мышечной системы взрослого человека $\approx 6300 \text{ км}^2$, т. е. равна ленте шириной в 1м. и длиной больше 6 км.»

Итак: «Более 100000 км. капилляров на 200 га живой поверхности!»

Далее: «Каждая живая молекула – это функциональная ассоциация атомов, способных, с одной стороны, стимулировать притяжение или отталкивание, с другой – соединяться с другими молекулами».

Особый вид частиц – *энзимы*.

«Совокупность энзимов – это громадная лаборатория, которая беспрестанно порождает взаимодействия частичек порядка миллионной или миллиардной доли мм.; жизнь торжествует, господствует, упорядочивает этот крошечный хаос, организуя неумолимый и полный мудрости порядок, сохраняя структуру клеток, тканей, органов, регулируя постоянные температуры, кровообращение, выделения, ...»

При этом «... жизнь избегает грубых, аритмичных, неупорядоченных взрывов. Небольшие колебания, маленькие химические реакции при умеренной температуре дают организму сопротивляемость крепче стали и направляются с точностью и тонкостью... В этом «великая мудрость организма!»»

Сложность системы «человек» очевидна. Но и это еще не все ... «... Жизненные циклы обозначаются двумя полюсами: 1) постоянной ассимиляцией, или интеграцией, которая является превращением инертной, мертвой материи в живую, динамичную; 2) постоянным распадом, или дезинтеграцией, которая является превращением живой материи в инертную, мертвую.

Частичное отмирание является как бы верным залогом жизненной целостности организма. Только постоянное разрушение содержимого клеток, тканей, органов и всего организма гарантирует постоянно идущее восстановление клеток, тканей, органов и всего организма...»

«... за 5 – 7 лет все клетки человеческого организма целиком обновляются со скоростью 5- 7 млрд. клеток в день».

Прекрасное подтверждение рассмотренного в теме №1 свойства развивающейся системы – наличие одновременно энтропийных и негэнтропийных тенденций, лежащего в основе закономерности самоорганизации.

Этой основной закономерности и подчинена деятельность всех подсистем, которые выделяют при изучении биологической системы «человек» биологи, физиологи, медики: кровеносной, лимфатической, желудочно – кишечной, нервной и т. п.

Ко всему этому у человека добавляется сложность мышления, имеющего знаковую систему отражения действительности и обладающего самосознанием и способностью преобразовывать окружающий реальный мир.

Разумеется, приведенная модель – это упрощение. В действительности все гораздо сложнее. Но она позволяет понять, что живые организмы труднее изучать, чем отдельные задачи планирования и организации производства, и чем искусственно созданные объекты типа «ресторан». И уж тем более невозможно полностью описать строгими формальными методами.

§ 5. Общие сведения об управлении сложными системами.

5.1. Назначение управления.

Не всегда в результате постепенной формализации процесса моделирования удастся получить описание, позволяющее найти желаемое решение. Тогда говорят о *принципиальной ограниченности формализованного описания* изучаемого объекта. Обычно такие ситуации возникают при исследовании объектов, отображаемых классом самоорганизующихся систем, особенности которых рассмотрены в теме № 1.

Разумеется, к этому классу относится и ресторан, и кошка, и любое предприятие, ... и, тем более, человек!

Но выше мы старались просто понять, что они собой представляют, и хотя бы отобразить существующее состояние системы, ее структуру, «срез». И то нам пришлось прибегнуть к постепенной формализации, к использованию сочетания подходов и переключению образного и формального полюсов мышления. А если, понимая, что система постепенно изменяется, мы хотим влиять на эти изменения? Можно ли поступить так: создать желаемый образ, определить пути его достижения и выбрать из них наилучший?

Подобные задачи называются *задачами проектирования*.

Но это практически неосуществимо для систем такой сложности, как ресторан, предприятие, не говоря уже о «проектировании» или хотя бы совершенствовании кошки или человека.

Как же быть? Влиять на процесс движения объекта к достижению желаемого состояния можно с помощью *управления* этим процессом. Управлять можно процессом проектирования (совершенствования) системы в целом, или отдельными компонентами или видами деятельности системы в процессе ее функционирования. В самом деле, если бы мы хотели составить алгоритмы, строгие последовательности действий для всех процессов, происходящих в ресторане, то получилась бы ситуация, подобная известному изречению: «Если бы сороконожка задумалась, какую ей ногу переставлять, то она умерла бы с голоду».

Это изречение нужно всегда вспоминать, когда мы имеем дело с совершенствованием сложных самоорганизующихся систем. Невозможно составить формальные алгоритмы поведения кошки, человека, всех процессов, происходящих в ресторане, на предприятии.

Можно только разработать модели («отображения действительности, учитывающие немногие ее свойства») и на их основе вырабатывать некоторые «управляющие воздействия», корректирующие и направляющие поведение таких объектов. При этом модели необязательно должны быть строго формальными. Они могут быть и описательными или, как принято в этом случае говорить, - «объяснительными», т. е.

помогающими понять ситуацию, найти хотя бы аналогии и выработать управляющие воздействия.

5.2. Существует ли наука об управлении?

Наука об управлении имеет сложную историю. Еще в эпоху неолита, как только возник сознательный труд, возникла потребность управлять орудиями труда. В случае простых орудий (типа молотка, лопаты и т. п.) говорят не «управлять», а «владеть» (хотя, строго говоря, человек управляет своими мышцами, чтобы забить гвоздь или вскопать огород). О плуге уже говорят – «управлять плугом». По мере усложнения орудий труда и появления других искусственных приспособлений для перемещения грузов, передвижения человека, создания паровых двигателей и т. п., усложнялось и понятие управления.

Возможно, потребность в создании первых *систем управления* людьми возникла в V – III вв. до н. э. в Двуречье (долине Тигра и Евфрата) и на берегах Нила, Инда в связи с необходимостью работ по регулированию разливов и осушению обширных территорий.

Создание сложных (для того времени) комплексов (сети каналов, водохранилищ) потребовало управления совместными работами населения обширных областей, размеры которых существенно превосходили прежние общинные поселения.

Таким образом, управление было всегда, с тех пор, как человек осознал свою потребность создавать искусственный мир.

Но в самостоятельную науку деятельность по управлению выделил Андре Мари Ампер. Увидев общность в полете мотылька и движении корабля, в управлении своими мускулами или матросами, Ампер попытался отделить «управление» от «объекта», выделить его в чистом виде и исследовать его особенности и законы. Он первый дал название науке об управлении, написав: «Кибернетика - наука об управлении ... провинциями».

Возможно, потому, что в то время термин «управление» был связан, в основном, с государственной деятельностью и больше соответствовал понятиям «править», «господствовать», Ампер добавил «... провинциями», но для наименования науки он использовал корень «кибер» (от греческого «кормчий» «рулевой»), т. е. дословный перевод термина – «кормчевождение», «навигаторика».

В 30-е годы XIX в. Норберт Винер выбрал именно термин «кибернетика» для названия науки об «управлении в животном и машине».

Эта наука в настоящее время занимается разработкой сложных технических комплексов, исследованием возможностей создания искусственного интеллекта. И термин «кибернетика» (несмотря на общность корня с термином «губернатор») практически не применяется, когда речь идет об управлении предприятиями, организациями, государством.

В русском языке термин «управление» охватывает широкий спектр понятий, которым в английском соответствует несколько терминов: rule, govern, direct, manage, control, command, drive, pilot, conduct и т. п.

В истории развития науки об управлении был период, когда пытались перенести принципы теории автоматического регулирования (ТАР), разработанной для технических систем, на управление предприятиями и организациями. Расширив сферу применения ТАР, эту науку устали называть «теорией автоматического управления» (ТАУ). Такие аналогии помогают глубже понять процесс управления и выбрать методы управления. Рассмотрим их несколько подробнее.

5.3. Принципы управления теории автоматического регулирования.

Формирование конкретных принципов управления началось в технике. Была разработана теория автоматического регулирования, которая в последующем была расширена до более широкого применения и названа теорией автоматического управления. Принципы, разработанные в этой теории, названы *фундаментальными принципами управления*.

Основные из этих принципов следующие.

1. Принцип разомкнутого или программного управления.

Сущность принципа состоит в том, что управление осуществляется с помощью заданного алгоритма или программы. Условно этот принцип управления представлен на рис. 5.1., на котором показаны:

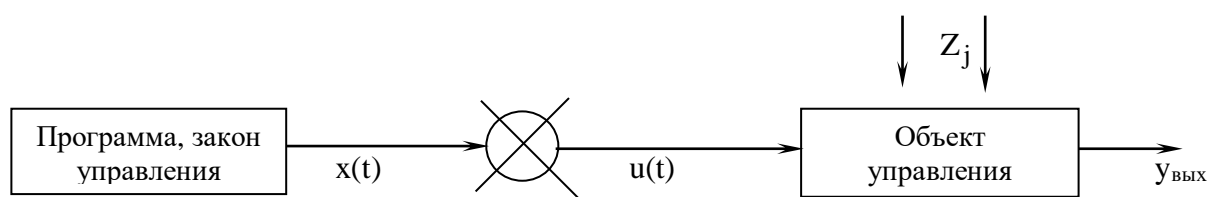


Рис. 5.1.

устройство, вырабатывающее программу или закон функционирования $x(t)$, устройство управления (которое принято обозначать специальным знаком – кругом, разделенным на секторы), вырабатывающее совокупность управляющих воздействий $u(t)$, объект управления, помехи z_j , выходной результат $u_{\text{вых}}$. В некоторых случаях блок выработки закона управления и управляющее устройство совмещены.

Схема имеет вид *разомкнутой цепи*, в которой основное воздействие передается от входа к выходу, выполняя заданную *программу (закон функционирования)*, что и дало название принципу.

При таком принципе управления помехи z_j могут исказить желаемое $u_{\text{вых}}$. Тем не менее благодаря простоте этот принцип широко используется. По разомкнутому принципу построены устройства пуска музыкальной шкатулки, магнитофона и других аудиоустройств, станки с программным управлением и т. п.

2. Принцип компенсации или управления по возмущениям.

Этот принцип называют также принципом управления с *упреждением*. При таком принципе используется устройство, измеряющее помехи и вырабатывающее компенсирующие воздействия, которые корректируют закон управления. Устройство такого рода называют компенсирующим устройством. Принцип иллюстрируется рис. 5.2.

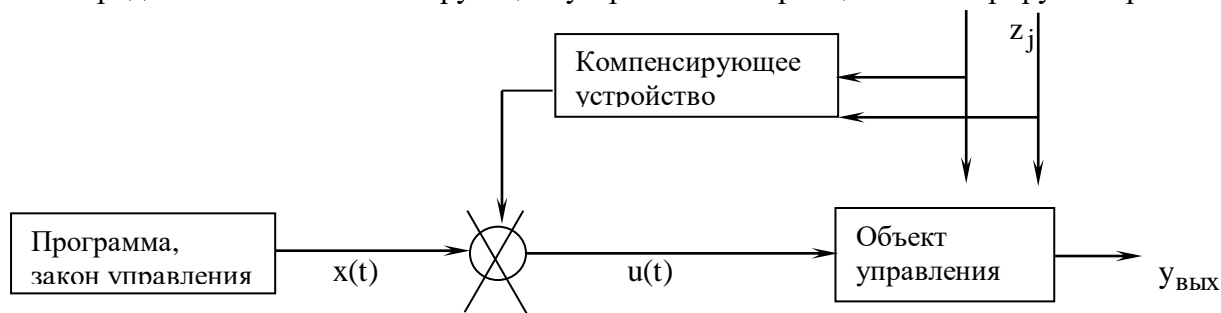


Рис. 5.2.

Такой принцип применяется, например, в устройствах, обеспечивающих стабилизацию напряжения при колебаниях постоянного тока. В последующем этот принцип стал использоваться при планировании: при разработке планов учитывается, что производительность труда работников зависит от износа оборудования, от смены (на предприятиях часто работают в две смены), и при расчете времени на выполнение плановых заданий вводятся соответствующие корректировки в форме коэффициентов износа оборудования, коэффициентов сменности и т. п.

3. Принцип обратной связи или управления по отклонению.

Этот принцип иллюстрируется рис. 5.3., на котором показано,

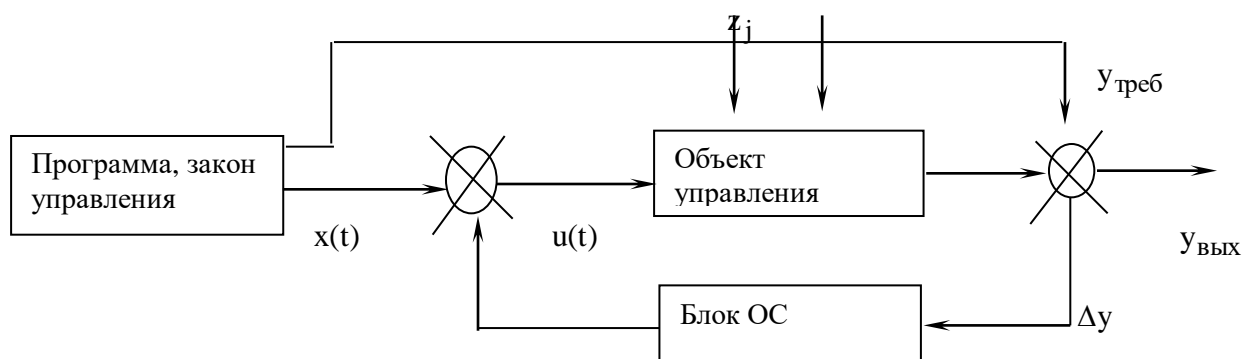


Рис. 5.3.

что получаемые значения $u_{\text{вых}}$ корректируются на основе измерения отклонений Δy от требуемого результата $u_{\text{треб}}$.

Понятие обратной связи, обычно иллюстрируемое на примерах технических и электронных устройств, не всегда легко интерпретируется в системах организационного управления.

При использовании этого понятия часто ограничиваются только фиксацией рассогласования Δy между требуемым $u_{\text{треб}}$ и фактическим $u_{\text{вых}}$ значением регулируемого параметра, а необходимо учитывать и реализовать все элементы, не забывая замкнуть контур обратной связи (ОС), вырабатывая в блоке ОС соответствующие управляющие воздействия, которые скорректируют закон управления $x(t)$.

Обратная связь может быть:

Отрицательной – противодействующей тенденциям изменения выходного параметра, т. е. направленной на сохранение, стабилизацию требуемого значения параметра (например, стабилизацию выходного напряжения, или в системах организационного управления – количества выпускаемой продукции и т. п.);

Положительной – сохраняющей тенденции происходящих в системе изменений того или иного выходного параметра (что используется, например, при разработке генераторов разного рода, при моделировании развивающихся систем).

Примером строя, основанного на стабилизирующей (отрицательной) ОС в управлении, является классический капитализм: обратная связь обеспечивается регулированием рынка рабочей силы, т. е. увольнением рабочих при перепроизводстве товаров, или, напротив, дополнительным приемом на работу при необходимости увеличить производство товаров. Поскольку реализация такого принципа связана с

безработицей и социальными проблемами, при развитии капиталистического строя используются два принципа одновременно: ОС дополняется принципом компенсации в форме социальных программ (пособия по безработице и т. п.), уменьшающих возможность кризисов. Такое совмещение принципов можно иллюстрировать рис. 5.4.

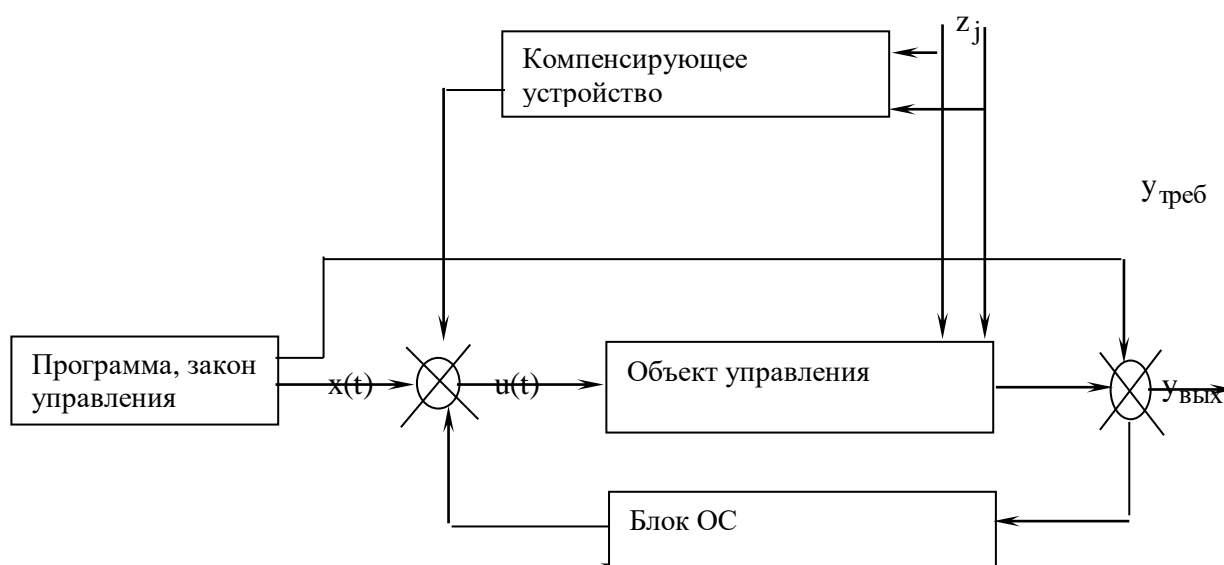


Рис. 5.4.

По принципу ОС функционируют основные регуляторы организма человека (например, при прикосновении к горячему утюгу человек автоматически отдергивает руку и т. д.). Такой эффект подобен работе термостата (регулятора температуры). Но регуляторы человека только в раннем детстве работают по принципу термостата. В последующем, «обжегшись» или «оступившись» несколько раз, ребенок приобретает рефлекс, оберегающий его от боли, и регуляторы человека начинают работать по принципу, называемому *геомостатом*, упрощенной моделью которого может быть сочетание принципов управления, приведенное на рис. 5.4.

Рассмотренные фундаментальные принципы в той или иной форме используются в различных областях управления – от управления техническими системами (применительно к таким системам в английском языке используются термины *control*, *rule*, *pilot* и т. п.) до управления коллективами людей (здесь обобщающий широкий термин «управление» стал заменяться повсеместно термином «менеджмент» (от английского «manage»)).

Способы реализации этих принципов наиболее исследованы для управления в технических системах, не включающих социальные и экономические аспекты. А для социально-экономических систем эти принципы в большей мере используются как объяснительные, поскольку практически невозможно в управлении государством исследовать и учесть все многообразные «механизмы» регулирования – экономические, финансовые, социальные и т. д.

Поэтому в науках об управлении социальными коллективами и сообществами выделяют *сферы управления* (государством, предприятием, научным или учебным коллективом и т. п.) и для этих сфер разрабатывают более конкретные принципы управления, формы и методы их реализации.

В то же время есть в управлении социально-экономическими системами некоторые общие принципы и способы управления, которые имеет смысл кратко рассмотреть.

5.4. Способы управления государством, предприятием.

Еще в период становления городов – государств Древней Греции возникло два способа управления коллективными работами и сообществами людей, которые существуют и по сей день:

1) путем введения правил взаимоотношений между людьми (правил этики, морали, заповедей, законов религии, в последующем – советских законов и правовых норм);

2) с помощью чиновничества (т. е. административного аппарата управления комплексом работ, общиной, городом, районом, государством).

При выборе первого способа управления говорят о «*правовом государстве*», управляемом системой законов («*власть - закону*»), при выборе второго способа – о «*тоталитарном государстве*», управляемом единоличным диктатором или/и чиновничьим аппаратом («*власть - монаху*» или/и «*власть - чиновникам*»).

В современных условиях существуют, как правило, промежуточные формы, которые и являются предметом дискуссий политических партий, придерживающихся разных принципов по поводу форм и методов управления страной.

Эти способы можно использовать и при управлении производством (на рассмотренном нами примере с рестораном). В зависимости от склонностей директора ресторана он может:

1) либо на основе Устава (требуемого в настоящее время для регистрации любого учреждения) разработать соответствующие правила поведения своих подчиненных, подготовить соответствующие положения об отдельных видах деятельности – приготовлении пищи, обслуживании, организации развлечений и т. д., должностные инструкции, определяющие функции сотрудников. На предприятии такие документы объединяют в систему нормативно-методического обеспечения управления (СНМОУ) предприятием;

2) либо ежедневно распределять обязанности, постоянно отдавать распоряжения, регулировать каждый шаг своих подчиненных (что часто характерно для небольших предприятий общественного питания типа закусочных, кафетериев).

5.5. Управление с помощью целеобразования.

Теория систем подсказывает еще один способ управления, который не содержится в учебниках по менеджменту. Этот способ основан на закономерности самоорганизации (см. тему №1), в соответствии с которой активные элементы, входящие в систему, всегда являются носителями негэнтропийных тенденций: травинка пробивает асфальт в стремлении реализовать себя.

На уровне человека и социальных коллективов эта закономерность реализуется с помощью целеобразования.

Вспомним пример с влюбленной девушкой. Если человек чего-то хочет сам, то он непременно стремится это реализовать, а если его пытаются принуждать, то он сопротивляется.

Степень сопротивления зависит от типа личности, ее психологических характеристик: бывают *конформисты*, которые готовы делать то, что делают другие, или даже готовы подчиняться целям других людей, особенно если эти цели выработаны

коллективом; а бывают, напротив, личности с большой самостоятельностью мышления и сопротивляемостью навязываемым им мнениям и действиям.

Если использовать эту особенность человека как активного элемента социально – экономической системы, его стремление к реализации себя, к самостоятельной постановке своих целей (т. е. к целеобразованию, целеполаганию), то можно говорить ***о способе управления, использующем активность личности и ее стремление к целеобразованию.***

В зависимости от типа личности, менталитета народа люди могут стремиться формировать цели единолично (психология, характерная для менталитета американцев), либо вырабатывать цели коллективно, что характерно для Японии и в большей степени соответствует менталитету российского народа, у которого исторически сложилось стремление к «соборности», к коллективному принятию решений на «сходах» всех жителей деревни, на собраниях трудового коллектива предприятия, на советах разного рода – от Верховного Совета в недавнем прошлом до Думы в настоящее время, Совета Федерации и всякого рода экспертно – консультативных и иных советов.

Если цели поставлены (независимо от того – коллективно или индивидуально), то участвовавший в целеобразовании человек, образно говоря, готов «пробивать головой стену»!

Если же человека принуждают, то у него появляется «хобби» - любимое, желанное дело. Особенно счастлив человек, если его основная работа становится «хобби», если он находит любимое дело и работает не ради зарабатывания денег, а с удовольствием, реализуя свои замыслы и способности.

Способ самоорганизации, самоуправления характерен для творческих профессий. Но можно ли его организовать и реализовать в масштабах страны или предприятия?

Такой способ управления часто проявляется во время войн. Так, в период Великой Отечественной войны не только взрослое население считало своим долгом и честью защищать Родину, но и малолетние ребята приписывали себе зрелый возраст ради того, чтобы им разрешали трудиться на заводах, производящих оружие для обеспечения армии, или даже отправили на фронт.

В мирное время этот способ управления использовать труднее. Но в истории России был период (20-е – 30-е годы), когда люди работали ради коллективно поставленных целей («индустриализация», «строительство социализма») с энтузиазмом, охарактеризованным в популярной песне «Марш энтузиастов» - «К станку ли ты склоняешься, в скалу ли ты врубаешься, мечта прекрасная, еще не ясная, уже зовет тебя вперед».

В Уставе Советской Армии было записано: «Каждый начальник должен заботиться о росте своих подчиненных». Это – прекрасная заповедь для любого руководителя, который хочет обеспечить эффективную работу своих подчиненных: человек должен понимать, ради чего он трудится, участвовать в формировании целей и планов своей организации.

Приведенные примеры заставляют задуматься о полезности способа управления, основанного на участии в целеобразовании активных элементов (человека, предприятия, региона, ...)

Но этот способ – самый сложный. Не все люди способны к целеобразованию и стремятся участвовать в формулировании целей. Зарубежные исследователи утверждают, что активных личностей в стране примерно 10%, а большинство населения страны готово выполнять цели, поставленные руководством. В то же время активность личностей может проявляться в разных сферах, в которых они способны быть лидерами.

Кроме того, не всегда человек или организация сразу готовы к участию в процессах целеобразования, и тогда необходим элемент принуждения. Нужно учитывать, что человек не знает, чего он хочет, пока не попробует что-то сделать.

Для того чтобы человек стал самоорганизующейся личностью, способной к выбору своих целей и путей их реализации, к участию в процессах коллективного целеобразования, с детства нужно воспитывать в себе любознательность, стремление узнать разные профессии, настойчивость в доведении начатого дела до результата, стремление быть «хозяином» своей жизни.

Все сказанное касается не только отдельной личности, но и любого предприятия, региона, любой организации и страны. Если в системе управления предусмотреть «механизмы» целеобразования, самоорганизации, то можно повысить эффективность управления.

Для овладения искусством целеобразования нужно изучать и применять закономерности функционирования и развития систем (формировать эквивалентность общества, предприятия, организации; выбирать степень целостности, реализующую желаемые принципы управления и т. д.), закономерности целеобразования, методики структуризации целей.

5.6. Искусство управления.

Искусство управления – это искусство сочетания рассмотренных принципов, способов и форм их реализации. Мы укажем лишь на некоторые общие положения.

Первые два из рассмотренных способов управления основаны на **принуждении**: административное принуждение и принуждение с помощью установленных законов (второе – более демократичное, но все – таки принуждение).

Основа третьего способа – способность человека, предприятия, региона и т. п. к **самоорганизации**.

В каждой конкретной ситуации нужно выбирать разумное сочетание этих принципов с учетом необходимости и возможности их реализации.

Термин «управление» в русском языке охватывает широкий спектр понятий и функций – **планирование, организация, регулирование и т. д.**

Для реализации этих функций разрабатывают методы и модели принятия решений, которые в сложных ситуациях используют сочетание *образного* и *формального* мышления. И уже с учетом этого управление является *искусством*, использующим *формальные* методы.

В сложных системах для того, чтобы организовать процесс принятия решений по выработке управляющих воздействий, необходимо разработать методику, отражающую последовательность этапов принятия решений и определяющую методы реализации этапов.

Такая методика должна предусматривать возврат к предшествующим этапам для уточнения получаемых результатов по мере расширения сведений об управляемом объекте или процессе, т. е. обеспечить «выращивание» решений.

При разработке методики полезно учитывать и выбирать рассмотренные принципы управления, способы их реализации, закономерности функционирования и развития сложных систем (тема №1), методы моделирования (тема №2).

Таким образом, управление как средство воздействия на сложные системы с **принципиальной ограниченностью их формализованного описания** – это искусство, использующее различные формализованные принципы, способы, методы, и его можно считать примером **искусства формализации**.

Заключение.

Мы рассмотрели структуру и основные положения раздела научных знаний под названием «Теория систем и системный анализ».

На примерах было продемонстрировано, что использование понятий теории систем (элемент, структура, цель и т. п.), закономерностей систем (закономерностей целостности или эмерджентности, эквививальности, коммуникативности, иерархической упорядоченности, закона «необходимого разнообразия» и т. п.), классификаций систем и т. д. помогает поставить задачу, выбрать степень детализации при обследовании сложного объекта, разработать рекомендации по совершенствованию уравнения, выбрать методы моделирования и последовательность применения методов в процессе постепенной формализации модели принятия решения.

И все же в заключение хочется предостеречь тех, кто надеется, что применение приемов и методов системного анализа решит все проблемы. Чрезмерное увлечение формализованными приемами системного анализа (например, методиками структуризации), позволившими получить хорошее решение (структуру целей, план и т. п.) для одной системы, может принести не пользу, а вред в другой системе.

Слабоформальные представления типа структурных, теоретико-множественных, лингвистических тем и хороши, что они позволяют гибко вносить в модель или алгоритм принятия решения изменения, необходимость которых возникает в данной конкретной системе, в данной проблемной ситуации с учетом текущих внешних и внутренних факторов, влияющих на принятие решения.

Перевод модели на более формальные языки позволяет проводить анализ модели с меньшим вмешательством человека, но за это мы платим потерей гибкости модели.

Возможность корректировать модель, привлекая для этого соответствующие отображения, помогающие объединить специалистов различных областей знаний, следует максимально использовать на начальных этапах формирования модели, не «душить» техникой формализации, стремлением во что бы то ни стало применить понравившийся исследователю прием или метод. Выбор приемов и методов отображения модели на начальном этапе постепенной формализации нужно проводить особенно осторожно, контролируя себя содержательным анализом, т. е. разумно сочетая методы формализованного представления и методы активизации интуиции специалистов.

Глубокое знание теории систем и закономерностей их функционирования и развития позволяет на каждом шаге формализации, огрубляя модель при переходе к более формальным представлениям, не потерять те основные компоненты, связи, свойства, факторы, которые в большей степени влияют на достижение цели, на выбор наилучшего решения.

На каждом шаге формализации возвращение к системным представлениям, уточнение целей и содержательный контроль модели являются важным средством *искусства формализации*.

Итак, приступая к решению задачи, полезно помнить следующие советы:

- 1) старайтесь при формализации использовать науку (системные представления и методы системного анализа);
- 2) по возможности, вводите элементы *техники формализации*;
- 3) но помните, что постепенная формализация – все же *искусство*.

Литература.

1. Бусленко Н. П., Калашников В. В., Коваленко Н. Н. Лекции по теории сложных систем. М., Сов. радио, 1973
2. Большие системы. Под ред. Б. В. Гнеденко. М., Наука, 1971
3. Волкова В. П., Денисов А. А. Основы теории систем и системного анализа. С-П, изд. СПбГТУ, 1999
4. Денисов А. А., Колесников Д. Н. Теория больших систем управления. Уч. пособие. Л., Энергоиздат, 1982
5. Квейд Э. Анализ сложных систем. М., Сов. радио, 1969
6. Месарович М., Такахара И. Общая теория систем: математические основы. М., Мир, 1978
7. Моисеев Н. Н. Математические задачи системного анализа. М., Наука, 1981
8. Перегудов Ф. И., Тарасенко Ф. П. Введение в системный анализ. Уч. пособие. М., ВШ, 1989
9. Системный анализ в экономике и организации производства. Под ред. С. А. Валуева, В. Н. Волковой. Л., Политехника, 1991
10. Уемов А. И. Системный подход и общая теория систем. М., Мысль, 1978
11. Флейшман Б. С. Основы системологии. М., Радио и связь, 1982
12. Черняк Ю. И. Системный анализ в управлении экономикой. М., Экономика, 1975
13. Джозеф О'Коннор. Искусство системного мышления. М., «София», 2001