

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
**«Санкт-Петербургский государственный университет  
промышленных технологий и дизайна»**  
**Высшая школа технологии и энергетики**  
**Кафедра прикладной математики и информатики**

# **ПРИКЛАДНОЙ СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ**

Текст лекций для студентов очной формы обучения  
по направлению подготовки  
01.03.02 — Прикладная математика и информатика

Составитель  
В. П. Яковлев

Санкт-Петербург  
2024

Утверждено  
на заседании кафедры ПМИ  
21.02.2024 г., протокол № 6

Рецензенты:  
Е. С. Сулоева, В. И. Сидельников

Текст лекций соответствует программе и учебному плану дисциплины «Прикладной системный анализ» для студентов, обучающихся по направлению подготовки 01.03.02 «Прикладная математика и информатика».

Текст лекций охватывает весь объем материалов по дисциплине. Издание предназначено для самостоятельной работы студентов очной формы обучения.

Утверждено Редакционно-издательским советом ВШТЭ СПбГУПТД  
в качестве текста лекций.

Режим доступа: [http://publish.sutd.ru/tp\\_get\\_file.php?id=202016](http://publish.sutd.ru/tp_get_file.php?id=202016), по паролю.  
- Загл. с экрана.

Дата подписания к использованию 03.04.2024 г. Рег. № 5090/24

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД  
198095, СПб, ул. Ивана Черных, 4.

© ВШТЭ СПбГУПТД, 2024

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ЛЕКЦИЯ № 1. МЕТОДОЛОГИЯ ПРИКЛАДНОГО СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА.....	5
1. Введение в дисциплину .....	5
2. Проблемы и способы их решения .....	7
3. Четыре типа вмешательства в проблему .....	13
4. Типовая последовательность действий в проведении системного анализа.	16
ЛЕКЦИЯ № 2. ЭТАПЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА .....	19
1. Фиксация проблемы, диагностика проблемы, составление списка стейкхолдеров.....	19
2. Выявление проблемного месива, определение конфигурирующего, целевыявление .....	21
3. Определение критериев. Экспериментальное исследование систем .....	24
4. Построение и усовершенствование моделей, генерирование альтернатив.	27
ЛЕКЦИЯ № 3. ЭТАПЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА .....	30
1. Этап одиннадцатый. Выбор, или принятие решения .....	30
2. Методы принятия решений .....	33
3. Этап двенадцатый. Реализация улучшающего вмешательства.....	41
ЛЕКЦИЯ № 4. МОДЕЛИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ В ПРИКЛАДНОМ СИСТЕМНОМ АНАЛИЗЕ .....	44
1. Моделирование как неотъемлемый этап системного анализа .....	44
2. Способы воплощения моделей .....	45
3. Соответствие между моделью и реальностью .....	47
4. Понятие системы .....	49
ЛЕКЦИЯ № 5. РОЛЬ ИЗМЕРЕНИЙ В СОЗДАНИИ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМ .....	56
1. Свойства системы.....	57
2. Эксперимент и модель .....	57
3. Измерения и шкалы.....	61
4. Шкалирование и оценивание .....	68
ЛЕКЦИЯ № 6. ПРОЦЕДУРЫ ПРИКЛАДНОГО СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ..	72
1. Анализ и синтез в системных исследованиях .....	72
2. Модели систем как основания декомпозиции .....	74

3. Алгоритмизация процесса декомпозиции .....	78
4. Агрегатирование, эмерджентность, внутренняя целостность систем.....	80
5. Виды агрегатирования .....	81
ЛЕКЦИЯ № 7. ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ НА СТАДИЯХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА .....	85
1. Определение и формирование жизненного цикла.....	85
2. Структура жизненного цикла.....	92
3. Цель и содержание предпроектной стадии .....	96
ЛЕКЦИЯ № 8. ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ НА СТАДИЯХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА .....	100
1. Формирование замысла и цели создания системы.....	100
2. Формирование облика системы.....	103
3. Общий подход к выбору показателей системы .....	104
4. Разработка критериев и показателей.....	105
5. Разработка требований к системе.....	109
6. Оценка эффективности системы .....	111
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	114

# ЛЕКЦИЯ № 1. МЕТОДОЛОГИЯ ПРИКЛАДНОГО СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

1. Введение в дисциплину.
2. Проблема и способы ее решения.
3. Четыре типа вмешательства в проблему.
4. Типовая последовательность действий в проведении системного анализа.

## 1. Введение в дисциплину

Многообразие специфических потребностей общества и разнообразие индивидуальных способностей личностей согласуются за счет специализации высшего (и отчасти среднего) образования применительно к профессиям, концентрируя внимание и время обучающихся на освоении специальных сведений, необходимых для осуществления конкретной профессиональной деятельности.

Однако разделение человеческой деятельности на профессии с их глубокой специализацией не отменяет того факта, что все мы живем в едином мире, в котором действуют единые закономерности, а мы лишь с разных сторон и с разными намерениями вступаем во взаимодействие с природой, частью которой и сами являемся. Этот факт приводит к тому, что чем бы мы ни занимались, мы должны поступать в согласии с природными закономерностями, если желаем достичь успеха. Всеобщее единство природы (и нас в ней) нашло свое отражение в понятии системности всего сущего. Осознание системности своей деятельности пришло профессионалам через опыт успехов и неудач при решении проблем.

И в рамках обучения даже самой узкой специальности есть раздел, излагающий конкретные предосторожности и правила работы, способствующие успеху. Неудивительно, что было обнаружено, что технология успешного решения проблем, т. е. набор рекомендуемых и запретных операций, из которых состоит продвижение от постановки проблемы к ее решению, – имеет универсальный характер. Профессиональная специфика состоит в том, из каких областей потребуются знания для решения данной проблемы, а вот что и как надо делать с этими знаниями – является общим для всех.

Осознание этого в образовании выразилось во введении в учебные планы многих специальностей курсов: «Теория систем», «Системный анализ», «Системотехника» и т. п. Создано большое число учебников, учебных пособий и методических материалов по отдельным курсам. Представляется целесообразным дополнить этот арсенал системных знаний изложением их в междисциплинарном и наддисциплинарном варианте, применимом к решению проблем реальной жизни, независимо от профессиональной специфики проблемы. Такой раздел современной системологии получил название **«Прикладной системный анализ»**.

Всегда находятся специалисты, стремящиеся удовлетворить общественную потребность: началось и изучение опыта решения проблем. Однако при этом произошло то, что можно назвать «историческим недоразумением». Для решения любой проблемы необходимо использовать знания, часто глубоко профессиональные, причем набор нужных профессий для каждой проблемы специфичен, уникален. Это создало стойкое впечатление, что, хотя проблемы есть у всех, но проблемы врача очень сильно отличаются от проблем инженера, проблемы естествоиспытателя далеко не те же, что проблемы военачальника, и т. д. На первый план вышла специфика проблем.

Поэтому накопление и обобщение опыта решения проблем началось в рамках каждой профессии отдельно. В каждой специальности возникли такие разделы, в большинстве профессий они оформились как целые дисциплины. Сначала у военных, а затем у экономистов возникло «Исследование операций», у медиков – «Общая патология человека» и «Искусство диагностики», у инженеров – «Системотехника» и «Методы инженерного творчества», у обществоведов – «Политология», «Футурология», «Конфликтология», у администраторов – «Системный подход», «Программно-целевое управление», и этот список можно продолжить.

Обнаружился на первый взгляд странный, а на второй – естественный феномен. Да, для решения конкретной проблемы нужны специальные, иногда очень глубокие профессиональные знания. Но если обратить внимание не на содержательную специфику данной проблемы, а на технологию работы с нею, на последовательность действий и предосторожностей, то оказывается, что вероятность успеха повышается, если следовать одним и тем же советам, независимо от природы проблемы.

Так возникла идея – предложить некий универсальный алгоритм действий по решению проблем, пригодный к применению в любой профессии. Идея эта не покажется нелепой, если принять во внимание, что все мы живем в одном и том же мире, подчиняемся общим законам мироздания и лишь с разных сторон вступаем во взаимодействие с ним. Эта всеобщая системность постепенно была осознана всеми, хотя профессионалы все еще вкладывают в свой термин «системный анализ» явно выраженный профессиональный смысл, описывая проблемы своей специальности.

За несколько десятилетий идея формирования общеупотребительной методики решения проблем была доведена до создания специальной технологии, которую стали (в отличие от конкретных «системных анализов») называть прикладной системный анализ. Эта область знаний уже стала профессией: в ряде университетов мира готовят системных аналитиков; существуют десятки фирм, принимающих заказы на решение любых проблем от любых клиентов; в Вене давно существует Международный институт прикладного системного анализа, работающий над глобальными и межнациональными проблемами; многие вузы курс прикладного системного анализа включают в учебные планы разных факультетов, как физико-математических, так и естественных, и гуманитарных.

***Важная особенность прикладного системного анализа состоит в учете различия между проблемами осознанно формализованными (вплоть до***

построения математических моделей) и слабо структурированными, рыхлыми проблемами, излагаемыми в терминах разговорного или описательного профессионального языка. Соответственно в системном анализе используются разные («жесткая» и «мягкая») методики. При этом созданы методы постепенного развития, продвижения нашего описания рассматриваемой проблемы от ее «мягкого» облика к наиболее «жесткому» варианту, доступному в заданных условиях.

**Прикладной системный анализ отличается от других наук рядом особенностей.**

Во-первых, он нацелен не на отыскание общих закономерностей, а на решение конкретной проблемы с ее уникальной спецификой.

Во-вторых, для решения проблемы могут понадобиться знания из любой профессии, поэтому прикладной системный анализ имеет универсальный, наддисциплинарный и междисциплинарный характер.

В-третьих, споры о том, в какой степени прикладной системный анализ может считаться наукой, завершились пониманием того, что для решения проблем реальной жизни необходим некий сплав науки, искусства и ремесла. Пропорции между ними для каждой проблемы специфичны.

В-четвертых, системный анализ выполняется не системным аналитиком, а самими участниками проблемной ситуации. Аналитик знает технологию, т. е. какие вопросы и в каком порядке задавать, а ответы на них знают только сами вовлеченные в ситуацию субъекты. Так что продукт системного анализа производится не профессионалом-специалистом, а коллективом участников ситуации под ненавязчивым руководством аналитика.

## 2. Проблемы и способы их решения

Прежде чем обсуждать способы решения проблем, необходимо дать определение самого понятия проблемы. Оно опирается на исходное понятие проблемной ситуации.

**Проблемная ситуация** – это некоторое реальное стечение обстоятельств, положение вещей, которым кто-то недоволен, не удовлетворен и хотел бы изменить. Это определение иллюстрируется (рис. 1.1).

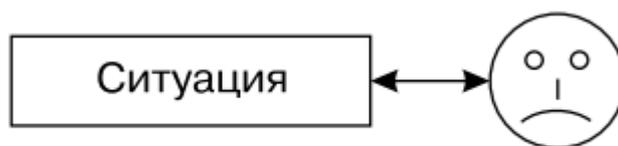


Рисунок 1.1 – Проблемная ситуация

Теперь конкретизируем понятие проблемы. **Проблема** – это субъективное отрицательное отношение субъекта к реальности.

Что значит «решить проблему»? Из определения становится ясным, что для этого следует сделать что угодно, лишь бы уменьшить или совсем снять недовольство субъекта. В дальнейшем такого субъекта будем называть «клиентом», а лицо, занимающееся решением его проблемы, – «системным аналитиком».

Оказывается, существует целый ряд возможностей решения проблем. Какую или какие из них применить в конкретном случае – будет решать тот, кто проблемой занимается. А пока постараемся обсудить, каковы же все возможные варианты. Они, естественно, разбиваются на две группы:

1) воздействовать на субъект с целью уменьшить его недовольство, не изменяя реальности;

2) изменить реальность так, чтобы недовольство субъекта ослабло. Рассмотрим каждую из групп.

***Есть три возможности изменить к лучшему отношение субъекта к реальности, не изменяя самой реальности.***

Во-первых, чем недоволен субъект? Тем, что ему известно о ситуации. Но ведь он знает не все! И среди того, что он не знает, вполне может оказаться информация позитивного характера. Если ее сообщить субъекту, его недовольство уменьшится. Примеров этому много, но особого внимания заслуживает случай, когда этот вариант осуществляется в виде обучения субъекта. В этом случае ***причиной неудовлетворенности является именно нехватка информации, и ее получение в ходе обучения приводит к решению проблемы.***

Интересно, что при ознакомлении с несколькими американскими фирмами, практикующими системный анализ, обнаружилось, что около 90 % проблем их клиентов решалось именно через подготовку, переподготовку и повышение квалификации персонала фирмы клиента. Впрочем, это следует из субъективного аспекта проблемы. Ярким примером является эпизод из Булгакова: «Разруха начинается не в изгаженных подъездах, разруха начинается в головах у жильцов».

Стоит отметить еще одну особенность данной возможности. Дополнительная информация, сообщаемая клиенту, обязательно должна быть положительной, но не обязательно правдивой. Встречаются случаи, когда проблема разрешается с помощью ложной информации. Каждый может вспомнить эпизод из своей жизни, когда он говорил неправду. И если признаться себе, почему был предпочтен обман правде, то выяснится, что с помощью лжи в тех условиях удавалось гораздо легче, проще, быстрее достичь поставленной цели, нежели с помощью правды. Это не оправдание, и тем более не пропаганда лжи, а лишь констатация факта, что лжи бы не было, если бы она не была полезной. Во всех языках есть понятия, аналогичные русскому «ложь во спасение», «святая ложь».

***Еще один вариант манипулирования информацией – сокрытие правды, либо отфильтрованная полуправда.*** Например, на одной голландской птицеферме удалось существенно поднять продуктивность производства мяса за счет постановки курам глазных линз с затемненной верхней частью. Дело в том,

что у кур существует иерархия: чем больше у птицы гребень, тем выше она в иерархии. А во время кормления «старшие» отгоняют «младших» от кормушки. Линзы не позволяют разглядеть, у кого какой гребешок; споры прекратились, питание перестало «дозироваться», резко возрос прирост всех птиц.

**Следующая возможность решения проблемы без изменения реальности состоит в том, чтобы изменить восприятие данной реальности субъектом.** Поскольку оценка субъектом своих взаимоотношений с окружающей средой является психическим явлением, то существует возможность воздействия на психику субъекта в нужном направлении. Формы воздействия могут быть разными: психические (гипноз, внушение, пропаганда, реклама и т. д.); физические (воздействие различных полей – акустических, электрических, магнитных); химические (психотропные медикаменты, наркотики, алкоголь). Подчеркнем, что мы не оцениваем, что хорошо, а что плохо; мы лишь констатируем наличие фактических возможностей.

**Третья возможность решения проблемы без изменения самой проблемной ситуации основана на том, что проблема возникла в результате взаимодействия субъекта с ситуацией.** Поэтому иногда проблему можно решить, прервав это взаимодействие. Здесь тоже есть целый спектр вариантов: от приятных для проблемоносителя (повышение по службе, направление на учебу или в отпуск), с помощью более или менее нейтральных (перевод в другое подразделение, ротация), до болезненных (увольнение и т. п.) и даже до крайне жестокого, осуждаемого, но, к сожалению, существующего («Есть человек – есть проблема, нет человека – нет проблемы» – высказывание, приписываемое И. В. Сталину).

Обратимся теперь **ко второй группе возможностей решения проблемы – через вмешательство в саму проблемную ситуацию.** Естественно, вмешательство должно так изменять ситуацию, чтобы недовольство клиента уменьшилось или вообще исчезло.

Однако при этом приходится сталкиваться с весьма существенным обстоятельством, которое, по сути, и дало толчок для детальной разработки технологии прикладного системного анализа. Дело в том, что в реальной (проблемной для нашего клиента) ситуации участвуют не только наш проблемоносите́ль, но и многие другие субъекты, которые оценивают эту же ситуацию со своих позиций. Для них она может и не быть проблемной, либо их проблемы отличаются от проблемы клиента (рис. 1.2).

Всякое изменение ситуации в результате нашего вмешательства в нее будет замечено и оценено всеми ее участниками, и вовсе не обязательно оно будет одобрено всеми. Возникает принципиально важный вопрос: как следует действовать в связи с этим обстоятельством?

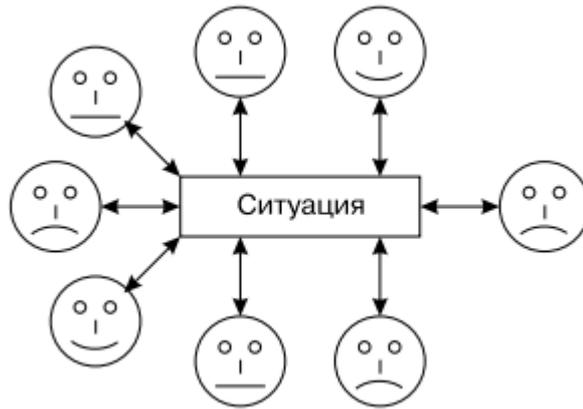


Рисунок 1.2 – Проблемная ситуация

Чтобы ответить на этот вопрос, обратимся к принципиальному, кардинальному отличию между объектом и субъектом. Субъект, будучи одновременно физическим объектом, существует в реальной физической среде и, как всякий объект, подвержен воздействиям этой среды. В отличие от объекта, субъект не только подчинен природным закономерностям, но и наделен способностью оценивать свои взаимодействия со средой: что-то ему может нравиться, а может и не нравиться. Вот тут-то и заложена индивидуальность субъекта.

Оценки имеют сугубо индивидуальный, субъективный характер; объективных оценок не может быть. В итоге одна и та же реальность оценивается разными субъектами по-разному.

Полезным может оказаться следующий совет. Всякий раз, когда в вашем присутствии прозвучит любое оценочное слово (хорошо – плохо, полезно – вредно, правильно – неправильно и т. п.), насторожитесь и задайте вопрос: «В каком смысле?»

Суть совета в том, что оценки не бывают объективными. Оценки всегда субъективны, и, если вы хотите понять истинный смысл сказанного, надо выяснить, какие критерии применяет оценивающий; одно и то же разные субъекты могут оценивать по-разному.

Вернемся теперь к нашему вопросу о том, как же надо действовать, решая проблему клиента при наличии других участников ситуации с неизбежно отличающимися интересами. Ответ: надо действовать правильно. Слово «правильно» – оценочное, отсюда вопрос, что под этим понимать.

**Правильным считается поведение, максимально согласующееся с принятой субъектом идеологией.** Именно идеология и определяет, что плохо, а что хорошо, что правильно, а что неправильно. Выясняется, что идеологии могут быть разными. Выбор каждым «своей» идеологии есть комплексный результат личного выбора, воздействия воспитания, культуры, обстоятельств.

Идеологи приводят большое количество аргументов в пользу именно своей идеологии, обсуждают ее многие отличия от других учений. Однако можно указать на одну особенность, помогающую различать идеологии между собой.

Это определение того, какое отношение к другим субъектам считать правильным.

**Первый тип идеологии** назовем условно «принципом приоритета меньшинства». В нашем случае (рис. 1.3 – поле 1) этот принцип приводит к тому, чтобы осуществить вмешательство, угодное клиенту, а интересы других участников не принимаются во внимание. Кому-то из них это может понравиться, кому-то – нет, это нас не интересует.

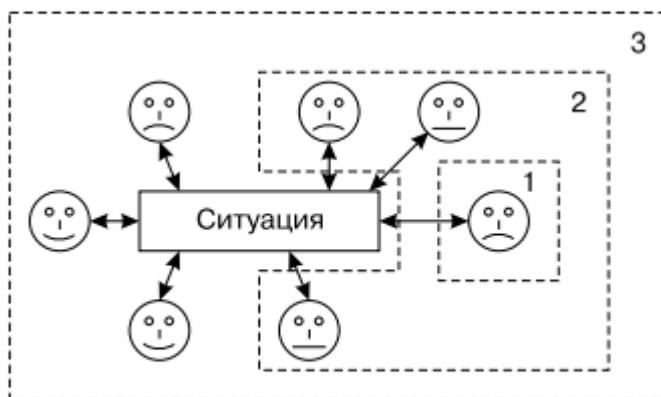


Рисунок 1.3 – Типы идеологии субъекта

Можно привести жизненные примеры реализации такой идеологии (диктатура, единоначалие, иерархическая организация, эгоизм, себялюбие и т. д.). Можно даже явно признать то, что в некоторых обстоятельствах такая идеология дает наибольший шанс на выживание (армия, война, чрезвычайная ситуация и пр.).

Необходимо, однако, иметь в виду, что с реализацией этой идеологии связан ряд особенностей, которые неизбежно придется учитывать. Во-первых, осуществление такого подхода к решению проблем «меньшинства» обязательно вызовет недовольство некоторой части остальных участников ситуации, что побудит их к ответным действиям. Отсюда у принявших эту идеологию должна быть сила для подавления недовольных и готовность применять эту силу.

**Вторая идеология** может быть названа «принципом приоритета группы». Согласно ей среди участников ситуации, кроме клиента, есть другие субъекты, не менее важные и ценные, чем клиент (рис. 1.3 – поле 2).

Поэтому теперь вмешательство должно проводиться с учетом интересов всех «наших». Это, с одной стороны, осложняет проектирование вмешательства, но с другой – открывает возможность использования ресурсов не только клиента, но и остальных членов нашей группы. Известно множество примеров реальной практики данной идеологии (расизм, национализм, фашизм, коммунизм, любая групповая деятельность, в том числе партийная, профсоюзная, спортивная и т. п.). Подчеркнем, что здесь мы не ставим задачу давать оценку такой идеологии: для принявших ее она является единственно правильной, для противников – неприемлемой.

Однако нелишне отметить некоторые неотъемлемые особенности этой идеологии, которые латентно встроены в нее и в соответствующих условиях могут проявиться негативно. Прежде всего это двойная мораль: деля всех на «своих» и «чужих», она позволяет к ним относиться по-разному. В классовом варианте «не наши» вообще рассматриваются как враги, что ведет к агрессивности, наращиванию силовых структур. Еще одна слабость этой идеологии состоит в том, что возникает противоречие между провозглашаемым равенством, демократией внутри группы и необходимостью организации групповой деятельности, т. е. создания иерархических структур с их принципиальным неравенством. Разные группы разрешают это противоречие по-разному, истории известны удачные и трагичные варианты.

А теперь – хорошая новость: прикладной **системный анализ придерживается третьей идеологии** (рис. 1.3 – поле 3). Ее можно назвать **«принципом приоритета каждого»**. В основе ее лежат два постулата:

- нет ни одного одинакового субъекта, все они различны;
- несмотря на различия, все субъекты равноценны и равноправны.

Отсюда следует, что неправильно, аморально решать проблемы одних за счет других. Правильным, моральным признается только улучшающее вмешательство.

**Улучшающее вмешательство** – это такое изменение проблемной ситуации, которое положительно оценивается хотя бы одним из ее участников и неотрицательно – всеми остальными.

**В связи со сказанным прикладной системный анализ можно назвать теорией и практикой проектирования и реализации улучшающих вмешательств.**

А поскольку при этом не возникает нового недовольства ни у одного из участников ситуации, еще *одно определение прикладного системного анализа можно сформулировать как методика решения проблем реальной жизни без создания новых проблем.*

Негативный опыт решения проблем связан не с невозможностью их успешного решения, а с несоблюдением требований их системного решения.

«Очень часто неудачи в решении проблем связаны с нехваткой ресурсов и с ошибками при принятии решений» [6]. Поэтому имеет важный смысл рассматривать улучшающее вмешательство как идеал, к которому следует стремиться, даже если он окажется не полностью достижимым.

«Улучшающее вмешательство часто трудно найти, но редко невозможно» (Р. Акофф).

**Прикладной системный анализ предлагает методику движения к цели**, хотя практика этого движения может наталкиваться на нехватку информации, совершение ошибок, недостаточность ресурсов, дефицит времени. Важно двигаться в правильном направлении, насколько возможно.

Пожалуй, самым серьезным основанием для сомнений в реализуемости улучшающих вмешательств является противоречивость интересов участников проблемной ситуации, иногда доходящая до конфликтности. Как можно осуществить улучшающее вмешательство, когда кто-то испытывает

недовольство только от того, что кому-то стало хорошо? Или, когда каждый стремится доказать и утвердить свою правоту, а их позиции различны или даже несовместимы?

Существует несколько возможностей двигаться к улучшающему вмешательству даже в таких условиях. Иногда невмешательство является адекватным поведением. Различные варианты разрешения конфликтов рассматриваются обособленной дисциплиной – конфликтологией. А собственно, в системном анализе предлагается отказаться от выяснения «кто прав?» и перейти к поиску, созданию «общего согласия», предпочесть своей правоте общий мир и эффективность («улучшающее вмешательство»).

### 3. Четыре типа вмешательства в проблему

Возвращаясь к способам решения проблем, интересно рассмотреть классификацию, предложенную Р. Акоффом. Он заметил, что несмотря на колоссальное разнообразие, непохожесть проблем, способов их решения всего четыре. Их названия в англоязычном варианте обладают красотой, не воспроизводимой при переводе, поэтому дадим оба варианта.

**1. ABSOLUTION.** Этим термином в английском языке обозначаются действия священника, отпускающего грехи прихожанам: он выслушивает исповедь и – ничего не делает. **В профессиональном языке системного анализа этим термином обозначено невмешательство** – в расчете на то, что естественный ход событий приведет к разрешению проблемы. Подчеркнем, что невмешательство обладает одним из признаков улучшающего вмешательства: при этом никому не становится хуже. Чтобы стать «улучшающим вмешательством», нужно чтобы события действительно вели к разрешению проблемы, а чтобы отдать предпочтение именно такому поведению, нужно чтобы любые предлагаемые вмешательства приводили к худшим результатам, чем невмешательство. Примеры: поведение врача при невозможности излечения пациента, действия сапера при встрече с неизвестным взрывным устройством, ваше разумное поведение в житейском конфликте ваших друзей супругов и т. п.

**2. RESOLUTION.** В системном анализе этот термин обозначает **частичное вмешательство**, действие, снижающее неудовлетворенность, ослабляющее остроту проблемы, но не устраняющее ее полностью. Обычно этот способ применяется при дефиците ресурсов, не позволяющем полностью решить проблему: «всем сестрам по серьгам», распределение по жребию или по очереди, повышение пенсий и стипендий на фоне инфляции – примеры этого способа.

**3. SOLUTION.** В отличие от разговорного употребления этого слова («решение») в профессиональном языке системного анализа оно является термином, обозначающим **наилучшее в заданных условиях вмешательство**. В русском языке этому соответствует термин оптимальное решение.

Остановимся на этом понятии подробнее: оно имеет очень важное значение, которое иногда используется неточно или неправильно.

Понятие оптимальности уже вошло в разговорный язык и общественное сознание, поэтому важно, чтобы оно употреблялось правильно. Оптимальный значит «наилучший в данных условиях». При всей внешней простоте этого определения оно требует пояснений.

Во-первых, что значит «наилучший»? Определенность здесь нужна потому, что одни и те же объекты могут по-разному упорядочиваться в зависимости от того, какое их качество рассматривать. Критерий, измеряющий это качество, позволяет найти наилучшую (по этому качеству) альтернативу. Понятно, что вариант, наилучший по одному критерию, не обязательно будет наилучшим по другому критерию.

Возникает совсем не тривиальный вопрос: а как выбрать наилучший вариант, если альтернативы сравниваются не по одному, а по совокупности нескольких критериев?

Принципиальным является то, что прежде, чем говорить об оптимальности, необходимо указать, задать, определить, по какому критерию (или критериям) будут упорядочиваться сравниваемые варианты, т. е. в каком смысле мы будем употреблять термин «наилучший».

Однако, этого еще вовсе не достаточно для оптимальности. Второй, не менее важной, неотъемлемой частью понятия оптимальности является зависимость результата выбора от конкретных ограничений в данной ситуации. При одном и том же критерии качества выбор из одного и того же множества альтернатив при различных ограничениях в общем случае будет различным. Поэтому сравнивать между собой по выбранному критерию качества имеет смысл только те альтернативы, которые удовлетворяют наложенным ограничениям: ***лучшая в смысле критерия альтернатива, не отвечающая ограничению, не может быть реализована.***

Стремление делать все как можно лучше настолько естественно для людей, что неудивительно, как быстро абстрактное понятие оптимальности из науки перешло в деловой и даже в бытовой обиход.

Хотя широкая популярность идеи оптимальности, по-видимому, является следствием большой моды на кибернетику в 1950–1980-х гг., мало кто, кроме специалистов, обратил внимание на предупреждение отца кибернетики Н. Винера о необходимости осторожного использования этого понятия.

Дело в том, что вмешательство в проблемную ситуацию основано на той информации об этой ситуации, которой мы располагаем. А степень изученности нашей ситуации может быть разной.

Есть проблемы хорошо структурированные, допускающие построение количественных математических моделей, например, многие инженерные и научные проблемы (такие проблемы называются «жесткими», «твердыми» – hard problems). Но многие проблемы реальной жизни описываются на языках, далеких от математики, – от житейских проблем, описываемых на разговорном языке, до профессиональных, которыми занимаются, например, многие гуманитарии и естествоиспытатели (такие проблемы называют «рыхлыми», «мягкими» – soft problems). Эти различия, естественно, учитываются и в ряде

деталей технологии решения проблем, что позволяет говорить о «жесткой» и «мягкой» технологиях прикладного системного анализа.

На примере оптимальности можно еще раз подчеркнуть разницу между «твердой» и «мягкой» методологиями системного анализа. Обе составляющие оптимальности (критерии и ограничения) чувствительны к этой разнице. Само требование, чтобы критерии качества и ограничения выражались количественно, уже означает, что рассматриваемая ситуация настолько хорошо изучена, что допускает построение ее математического описания. А задача оптимизации есть формальная математическая задача, вполне адекватная проблемам «твердого» типа (и курс методов оптимизации является одним из самых больших и хитроумных математических предметов).

Но уже в рамках формальных математических моделей обнаружилась «хрупкость» оптимальных решений: часто даже при небольших отклонениях от предположений в постановке задачи качество ее решения может меняться очень резко. Так что рассмотрение проблем устойчивости решений составляет важный раздел теории оптимизации.

При переходе к «мягким» проблемам ситуация сильно усложняется. И дело не только в том, что для таких проблем труднее (если вообще возможно) подобрать количественные меры для критериев и ограничений. Главное в том, что «мягкость» проблемы есть следствие ее малой изученности; в частности, отсутствует возможность перечислить все важные ограничения, а это, как мы видели, кардинально влияет на качество выбора. Поэтому оптимальность в этом случае следует считать недостижимым идеалом, к которому все же стоит стремиться. Конструктивно же попытки оптимизации надо рассматривать лишь как элемент метода проб и ошибок.

**4. DISSOLUTION («растворение»).** Этим термином обозначено *вмешательство, заканчивающееся полным исчезновением проблемы* и не появлением новых проблем. Казалось бы, что может быть лучше оптимального? Существенное отличие между третьим и четвертым способами состоит в том, что оптимальный – это наилучший в данных условиях, а «растворение» рассматривает ограничения и условия не как незыблемо фиксированные, а как подлежащие изменениям с целью поиска новых, недопустимых ранее вариантов, среди которых могут оказаться гораздо более эффективные, чем ранее оптимальные.

Важным вариантом «растворения» проблемы является ее предупреждение, принятие мер к тому, чтобы она не появилась. Здесь изменение системы производится не после появления проблемы с целью ее разрешения, а до того – с целью ее предотвращения.

Предпочтение того или иного типа вмешательства существенно зависит от ментальной ориентации менеджера. Р. Акофф предложил различать *четыре типа менеджеров, осуществляющих планирование и принятие решений*.

**Реактивный (reactive) менеджмент** – недоволен существующим положением и тем, куда все идет; предпочитает то, что было в прошлом; управляющие усилия направлены на возврат к предыдущему состоянию за счет устранения причин происходящих перемен.

Предпочитаемый тип решения проблем – resolution, используемые методы – прошлый опыт, здравый смысл, качественные оценки, выбор «достаточно хорошего», «приемлемого» решения. Примером удовлетворительного применения такого подхода является клиническая практика врачевания, но и при этом случаются фатальные неудачи. В менеджменте такой подход связан с авторитарным управлением, планированием «сверху – вниз», направленным на решение отдельных проблем, устранение нежелательного без учета его связи с остальными компонентами ситуации (что часто приводит к появлению еще более нежелательного).

**Пассивный (inactive) менеджмент** – удовлетворен настоящим, не желает ни возврата к прошлому, ни будущих перемен; препятствует изменениям, ценит стабильность; считает, что если ничего не делать, то ничего и не случится, и это хорошо; что действовать надо тогда, когда возникнет угроза, кризис. При этом в отличие от реактивистов, пытающихся устранить причины, инактивисты занимаются подавлением симптомов («антикризисное управление»).

Предпочитаемый тип решения проблем – «absolution», игнорирование или отрицание проблемы, надежда на то, что она исчезнет или решится сама собой.

**Превентивный (preactive) менеджмент** – убежден, что будущее будет лучше, чем прошлое и настоящее, поэтому старается ускорить перемены, использовать возможности, связанные с ними. Важным становится прогнозирование будущего, способность обучаться и адаптироваться к изменениям среды, планирование, создание изменений.

Предпочитаемый тип решения проблем – «solution», поиск решения оптимального, т. е. наилучшего в заданных условиях. Технологии преимущественно количественные – методы оптимизации, исследование операций, математическое (чаще – линейное) программирование, анализ рисков, баланс затрат и доходов и т. п.

**Интерактивный (interactive) менеджмент** – не только не желает возврата к прошлому и восприятия настоящего, но и принятия надвигающегося будущего. Он уверен, что будущее можно создавать самим, направленными на это усилиями. Предпочитаемый тип решения проблемы – dissolution, осуществление изменений в системе и (или) ее среде, приводящих к исчезновению, «растворению» проблемы. Технология этого – идеализированное проектирование.

#### **4. Типовая последовательность действий в проведении системного анализа**

Рассмотрим две цели: конкретизировать понятие проблемы и способов ее решения и, кроме того, дать общее представление о самом прикладном системном анализе. Первую цель будем считать достигнутой в нужной нам степени. Для достижения второй цели следует обсудить еще две особенности прикладного системного анализа.

Рассмотрим типовую последовательность действий во времени в ходе системного анализа (рис. 1.4).

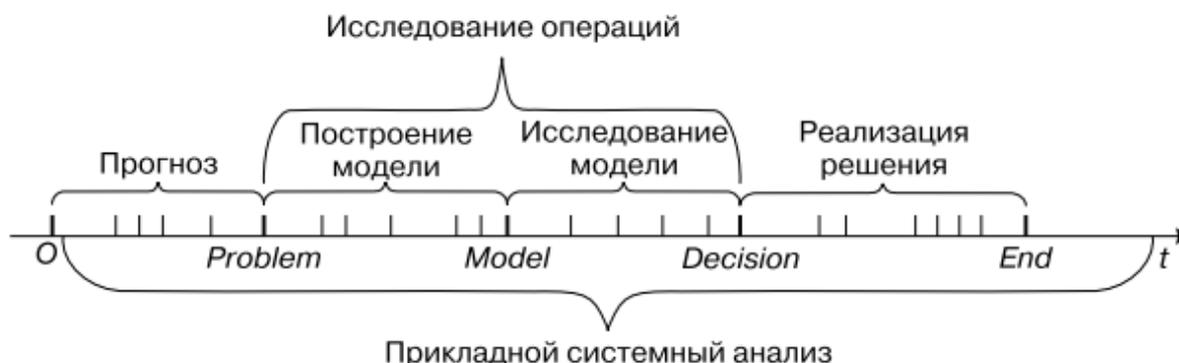


Рисунок 1.4 – Типовая последовательность действий во времени

В момент P (Problem) клиент обращается к системному аналитику со своей проблемой, которую он не смог решить самостоятельно. После подписания контракта, накладывающего ряд обязательств на обе стороны (каких конкретно, мы обсудим позже), начинается работа в соответствии с технологией. После ряда операций наступает момент M (Model), когда мы получаем достаточно адекватную модель проблемной ситуации. Теперь наступает период проигрывания на модели результатов тех или иных вмешательств.

В конце этого периода делается (обычно многокритериальный) выбор наиболее приемлемого варианта D (Decision). От принятия решения до его воплощения в жизнь – путь непростой, тоже требующий довольно жесткого соблюдения технологии (в современном языке этот период называется менеджментом). При старании и везении мы можем достичь момента End, когда проблема оказывается решенной. Более детальное описание операций по выполнению каждого этапа, с постоянной заботой о максимизации вероятности успеха при наличии ловушек, возможности ошибаться, ограниченности ресурсов, дефиците времени, неполноте и неточности информации – все это будет предметом второй части курса. А пока обратим внимание на еще две особенности прикладного системного анализа.

Первая вытекает из того факта, что был в прошлом момент O (рис. 1.4), когда проблемы вообще не было. И если бы тогда клиент обратился к системному аналитику, можно было бы подвергнуть анализу ход будущего и предсказать появление проблемы при сохранении стиля и тактики фирмы. Но была бы также возможность спроектировать вмешательство, результатом которого стало бы предотвращение появления проблемы.

Это отражено в слегка юмористическом высказывании: «Самый лучший системный анализ – тот, который не сбывается». Поэтому методика прогнозирования входит в арсенал прикладного системного анализа. Пока эта функция реализуется в организациях лишь в форме внутреннего аудита.

Фактом, однако, является то, что чаще всего клиенты обращаются к аналитикам после того, как их собственные попытки решить уже назревшую

проблему оказываются неудачными. Вторая, очень важная, принципиальная особенность прикладного системного анализа обозначена на рисунке 1.4 охватом сферы анализа за пределом E (End) решения проблемы. Этот прием позволяет обсудить вопрос: а что будет после решения проблемы? Конечно, перед бывшим клиентом снова возникнет какая-то проблема. Не в результате решения предыдущей, если мы постарались реализовать улучшающее вмешательство (в принципе не создающее новых проблем), а в случае неизбежных изменений в окружающей среде и в самой системе. И что же, снова обращаться к консалтинговой фирме? В этом не будет необходимости благодаря специфической черте системного анализа.

Дело в том, что процесс решения проблемы не может быть выполнен лишь самим системным аналитиком. Для построения модели проблемной ситуации необходима информация, которой обладают только сами ее участники. Поэтому обязательным элементом технологии является вовлечение их в процесс работы над проблемой. Системный аналитик знает, какие вопросы, в какой форме, в какой последовательности задавать, чтобы на основе полученной информации построить адекватную модель ситуации, а ответы на эти вопросы могут дать только сами участники ситуации. Более того, и воплощать разработанное вмешательство должны будут именно они, а не аналитик.

В итоге процесс системного анализа будут выполнять сами работники фирмы клиента. А выполнение какой-то работы собственными усилиями является самой эффективной формой обучения этой деятельности. Таким образом, в прикладном системном анализе оказывается естественно встроенным, неотъемлемым элементом обучение самому системному анализу. В итоге потребность в повторном обращении к консалтинговой фирме существенно ослабляется.

### **Контрольные вопросы:**

1. Поясните различия между понятиями «проблемная ситуация» и «проблема».
2. Что значит «решить проблему»?
3. Какие три способа воздействия на субъект без изменения реальности могут (при определенных условиях) привести к решению его проблемы? Каковы эти условия?
4. Почему при вмешательстве в реальность с целью решения проблемы приходится опираться на какую-то идеологию?
5. Приведите классификацию идеологий на три типа. Каково основное отличие между ними?
6. Назовите четыре типа улучшающих вмешательств.
7. Почему накопление и обобщение опыта решения проблем началось (и продолжается) в рамках каждой отдельной профессии?
8. Почему, несмотря на громадное разнообразие проблем, технология (совокупность приемов) их решения практически одинакова в случае успеха и различается в случае неудач?

9. Сформулируйте основные отличия прикладного системного анализа от традиционных наук.

10. Почему прикладной системный анализ можно назвать наддисциплинарной и междисциплинарной областью деятельности как в теоретической, так и в практической его сфере?

## ЛЕКЦИЯ № 2. ЭТАПЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

1. Фиксация проблемы, диагностика проблемы, составление списка стейкхолдеров.
2. Выявление проблемного месива, определение конфигуратора, целевыявление.
3. Определение критериев, экспериментальное исследование систем.
4. Построение и усовершенствование моделей, генерирование альтернатив.

### 1. Фиксация проблемы, диагностика проблемы, составление списка стейкхолдеров

В соответствии с нашими системными представлениями, изложенными ранее, переход из состояния проблемной ситуации в состояние желаемой конечной цели – решения проблемы – должен осуществляться системно, упорядоченно, путем последовательного выполнения определенных шагов. При этом каждый этап тоже имеет свою структуру из более мелких шагов, которую следует соблюдать достаточно строго – ее нарушение может отрицательно повлиять на качество результата одного этапа и, следовательно, всего процесса в целом. Кроме того, на каждом этапе существуют опасности совершить ошибку или попасть в «ловушку»; необходимо знать о возможности совершения таких неудачных действий и пользоваться приемами для того, чтобы их избежать.

*Технология прикладного системного анализа* и есть *изложение всего этого алгоритма с описанием всех особенностей каждого этапа.*

Современный прикладной системный анализ предлагает **холистический и креативный подход**, который состоит в сосредоточении внимания на двух «системообразующих» факторах:

1) целостность, эмерджентность системы (недопустимость отдельного рассмотрения любой части, когда целью является улучшение всей системы в целом);

2) вхождение системы как части в большие, объединяющие ее системы, и взаимосвязанность системы с другими системами в окружающей среде (необходимость учета целостности, охватывающей мета системы; рассмотрение проблемной ситуации с нескольких разных точек зрения).

### ***1.1. Этап первый. Фиксация проблемы.***

Задача первого этапа – сформулировать проблему и зафиксировать ее документально.

***Формулировка проблемы вырабатывается самим клиентом;*** дело аналитика – выяснить, на что жалуется клиент, чем он недоволен. Это и есть проблема клиента так, как он ее видит. При этом следует стараться не повлиять на его мнение, не исказить его. В беседе лучше не подавать реплик типа «Я согласен (не согласен) с вами», а «Я вас слушаю». (Кстати, этого правила нужно придерживаться и при интервьюировании на последующих этапах: ведь нам требуется информация не от аналитика, а от тех, с кем он беседует.) Самой грубой ошибкой на этом этапе было бы тут же заняться решением поставленной проблемы.

### ***1.2. Этап второй. Диагностика проблемы.***

Какой из способов решения проблем применить для решения данной проблемы, зависит от того, выберем ли мы воздействие на самого недовольного субъекта или вмешательство в реальность, которой он недоволен (возможны случаи, когда целесообразно сочетание обоих воздействий). ***Задача данного этапа и состоит в том, чтобы поставить диагноз – определить, к какому типу относится проблема.***

Иногда решение этого вопроса лежит на поверхности (как в случае с буйно помешанным, которого надо лечить; или с аварией, которую надо устранить; или с конфликтной личностью в коллективе, от которой стараются избавиться). Но часто диагностика проблемы является непростым делом. Ошибка в диагнозе приведет к неверным действиям и принесет лишь вред. Хотя при нашем старании осуществить улучшающее вмешательство этот вред будет снижен.

Постановка диагноза – сложное дело. Поскольку трудно дать какие-то общие теоретические рекомендации по выполнению этого этапа, диагностика оказывается более искусством, чем наукой, в ней большую роль играют интуиция, опыт и везение. И все же есть подсказки, как это делать.

Например, английский философ Дж. Милл советует: «Ищи то, что является общим для каждой неудачи и что никогда не появляется в случае успеха». В каких-то случаях этот совет может помочь.

### ***1.3. Этап третий. Составление списка стейкхолдеров.***

Нашей конечной целью является осуществление улучшающего вмешательства. Каждый этап должен на шаг приближать нас к нему, но надо специально заботиться, чтобы этот шаг был именно в нужную, а не в другую сторону.

Для того чтобы впоследствии учесть интересы всех участников проблемной ситуации (а именно на этом основано понятие улучшающего вмешательства), необходимо сначала узнать, кто же вовлечен в проблемную ситуацию, составить их список. При этом важно не пропустить никого: ведь невозможно учесть интересы того, кто нам неизвестен, а не учет кого-либо

грозит тем, что наше вмешательство не будет улучшающим. Таким образом, список участников проблемной ситуации должен быть полным.

Ситуация одна, интересы разные – полная аналогия с любой другой проблемной ситуацией. Игроки в тотализатор называются stakeholders («держатели ставок»). Было предложено таким же термином обозначать всех «непосредственных» участников любой проблемной ситуации. Термин прижился, пополнив профессиональный язык системных аналитиков.

При переводе его на русский язык разные авторы предлагали разные варианты (например, «акционеры», «заинтересованные стороны»), но каждый из них был неточным (у акционеров совпадающие интересы; среди участников могут быть и незаинтересованные стороны). Поэтому в конце концов остановились на прямом заимствовании иностранного термина – всех прямых, непосредственных участников проблемной ситуации будем называть одним словом «стейкхолдеры». Это всего лишь еще один профессиональный термин иностранного происхождения, каких немало в русском языке.

## **2. Выявление проблемного месива, определение конфигуратора, целевыявление**

### ***2.1. На четвертом этапе осуществляется выявление проблемного месива.***

Стейкхолдеры имеют интересы, которые нам предстоит учесть. Но для этого их необходимо знать. Пока же мы имеем лишь список обладателей интересов. Первая порция информации, которую необходимо получить о стейкхолдере, – это его собственная оценка ситуации, проблемной для нашего клиента. Она может быть разной: у кого-то из стейкхолдеров могут быть свои проблемы (оценка отрицательная), кто-то вполне удовлетворен (оценка положительная), другие могут нейтрально относиться к реальности. По сути, мы должны выполнить работу, которую делали на первом этапе с клиентом, но теперь с каждым стейкхолдером в отдельности.

**Полученный перечень субъективных оценок существующей реальности (которая для клиента является проблемной) Р. Акофф предложил называть проблемным месивом (mess).** Хотя этот термин имеет легкий жаргонный оттенок (из-за чего некоторые авторы предпочитают называть его более сухо – «*проблематикой*»), он удачно подчеркивает очень существенный, принципиально важный момент: входящие в него суждения не являются независимыми, они переплетены, взаимосвязаны (как суждения об одном и том же). Это означает, что они образуют целостную систему, со всеми вытекающими отсюда последствиями.

В данном случае главным следствием является такое свойство, как неделимость на части (десятое свойство системы). Отсюда очевидной становится не то чтобы недопустимость (к сожалению, не всегда удается удержать кого-то от совершения глупости), но нежелательность, неправильность решения какой-то одной, пусть и очень важной проблемы в отрыве от других компонент

проблемного месива. Таким образом, проблема клиента выступает в месиве как его ядро, зародыш, вокруг которого сгруппированы мнения остальных стейкхолдеров. **Нашей задачей является не решение проблемы клиента как таковой, а работа с проблемным месивом в целом.** Этому и служат проектирование и реализация улучшающего вмешательства, решающего проблему клиента с учетом интересов всех стейкхолдеров.

До сих пор мы говорили о «проблемном месиве» как своего рода «фотографии» текущего состояния отношений стейкхолдеров к существующей ситуации. Однако все происходящее со временем претерпевает изменения, и очень многое зависит от того, что будет происходить в дальнейшем. Поэтому для действительно «системного» решения проблемы необходимо опираться не только на информацию о текущем состоянии («фотографию») – статическую модель системы, но и на ее динамическую модель («кинофильм»).

**Таким образом, формулирование проблемного месива требует выявить совокупность взаимосвязанных угроз и возможностей для организации или учреждения, проблему которых мы взяли решать.**

Вот эта-то совокупность и является полной картиной («rich picture») проблемной ситуации, проблемным месивом («mess»). Она определяет, как организация довела бы себя до краха, если она будет продолжать действовать так же, как до сих пор, т. е., если она не сможет адаптироваться к изменениям во внутренней и внешней среде, даже если бы она могла точно предсказать ход этих изменений. Тем самым выявляется то, чего организация или учреждение должны избегать любой ценой.

Такой подход к формулированию проблемного месива практически одинаков как для организации, которая уже оказалась в кризисе, так и для той, которая лишь встревожена негативными тенденциями и желает предотвратить назревающий кризис. Иногда формулирование проблемного месива можно свести к выявлению проблем стейкхолдеров, что можно выполнить по типу мозгового штурма на сессии стейкхолдеров или их представителей. Но при достаточно большой сложности ситуации может потребоваться более детальное ее рассмотрение. Например, Р. Акофф рекомендует делать это в несколько этапов.

1. **Выполнение анализа системы.** Это – подробное описание того, как организация или учреждение работает в настоящее время. Удобно это представить серией блок-схем, показывающих, как в организации входной материал приобретает и преобразуется, как в ней проходят потоки денег и информации. Эти блок-схемы можно готовить по отдельности, но обычно полезно скомбинировать их в единую схему или изобразить на прозрачных слайдах, при наложении которых друг на друга легко просматриваются их взаимосвязи.

2. **Выполнение анализа препятствий.** Определите те характеристики и свойства организации, которые мешают ее прогрессу или препятствуют изменениям (например, конфликты или традиции).

3. **Определение сценариев (опорных проектов) возможного будущего.** Сформулируйте, к чему приведет ход событий, каково будущее организации,

если будут отсутствовать изменения в ее существующих планах, программах, политике и практике. Это должно обнажить возможность саморазрушения организации, показать, как препятствия, описанные на этапе 2, помешают произвести необходимые перемены.

## **2.2. Этап пятый. Определение конфигуратора.**

**Необходимым условием успешного решения проблемы является наличие адекватной модели проблемной ситуации**, с ее помощью можно будет испытывать и сравнивать варианты предполагаемых действий. Эта модель (или совокупность моделей) неизбежно должна строиться средствами некоторого языка (или языков). Встает вопрос о том, сколько и какие именно языки нужны для работы над данной проблемой и как их выбирать.

Например, если произошло дорожно-транспортное происшествие, то для разрешения возникшей проблемы могут потребоваться языки: правовой (кто за что отвечает), медицинский (состояние участников ДТП до и после), технический (состояние дороги и техники), административный (организация ликвидации всех последствий), экономический (финансовое обеспечение) и т. д.

Важно подчеркнуть, что проблемы реальной жизни не бывают однодисциплинарными, т. е. описываемыми на языке какой-нибудь одной специальности. Однодисциплинарными могут быть только учебные задачки, да и то не всегда (например, физические задачи требуют знания не только физики, но и математики).

**Конфигуратором** называется **минимальный набор профессиональных языков, позволяющий дать полное (адекватное) описание проблемной ситуации и ее преобразований.**

## **2.3. Этап шестой. Целевыявление.**

Стремясь к реализации улучшающего вмешательства, мы должны обеспечить, чтобы никто из стейкхолдеров не расценил его отрицательно. Люди дают положительную оценку изменению, если оно приближает их к цели, и отрицательную, если отдаляет от нее. Следовательно, **для проектирования вмешательства необходимо знать цели всех стейкхолдеров.** Конечно, главный источник информации – сам стейкхолдер. Мы снова пришли к необходимости провести собеседование с каждым стейкхолдером. Работа будет похожа на то, что мы делали, выясняя их отношение к существующей ситуации, только теперь мы будем спрашивать их о том, чего бы они хотели. В результате будем иметь то, что по аналогии с проблемным месивом можно назвать целевым месивом. Знание его позволит спроектировать улучшающее вмешательство. Поясним это схемой на рисунке 2.1.

Пусть ситуация характеризуется двумя параметрами –  $q_1$  и  $q_2$ . Тогда оценка ситуации стейкхолдером обозначится на схеме точкой. Проблемное месиво изображено группой точек в левом нижнем углу схемы, целевое – в правом верхнем. Теперь ясно, что любое продвижение (изменение ситуации) по траектории, приближающей нас к целевому месиву, – улучшающее. Таких

вмешательств много. Можно остановиться на любом из них, а можно попытаться найти то, которое дает наибольшее улучшение.

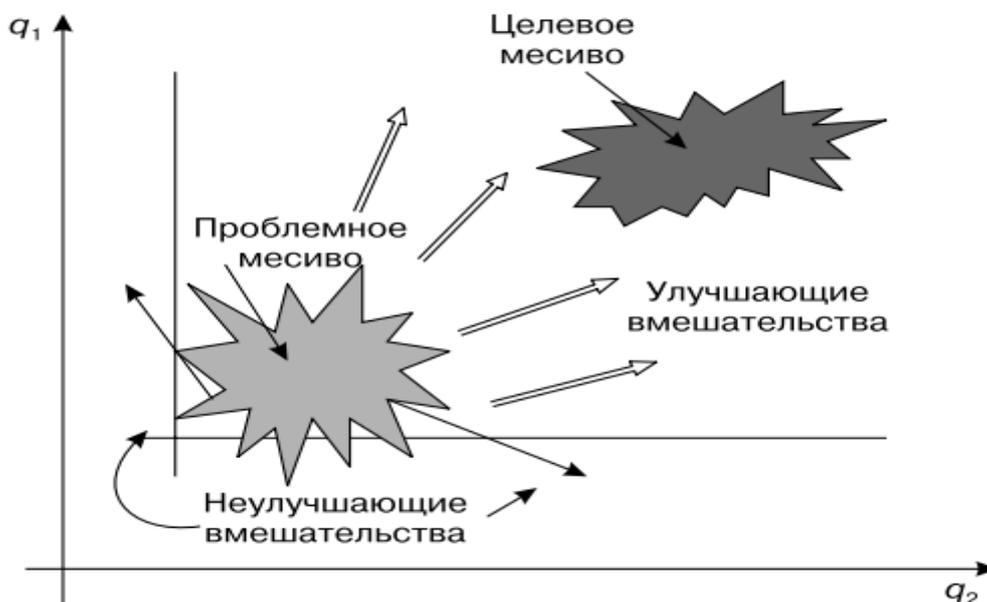


Рисунок 2.1 – Улучшающее вмешательство

При выявлении целевого месива нас подстерегает серьезная трудность. Если в целевом месиве окажутся ошибочные, неистинные цели, то последующая их реализация вызовет, естественно, недовольство, разочарование; вмешательство не будет улучшающим.

Трудность в том и состоит, что цели, объявленные стейкхолдером, отличаются от его истинных целей. Маловероятно, что мы столкнемся с обманом или сокрытием целей: стейкхолдеры понимают, что в их интересах помочь в осуществлении улучшающего вмешательства, что неверной информацией они себе же навредят. Но даже при полном и добровольном сотрудничестве с нами, добросовестно стараясь правильно изложить свои пожелания, стейкхолдер может испытывать затруднения и ошибаться. Тому есть несколько причин, и наша задача – с учетом их все-таки докопаться до истинных целей.

### 3. Определение критериев. Экспериментальное исследование систем

#### 3.1. Этап седьмой. Определение критериев.

В ходе решения проблемы будет необходимо сравнивать предлагаемые варианты, оценивать степень достижения цели или отклонения от нее, осуществлять контроль за ходом событий. Это достигается путем выделения некоторых признаков рассматриваемых объектов и процессов. Данные признаки должны быть связаны с интересующими нас особенностями рассматриваемых объектов или процессов, должны быть доступными для наблюдения и измерения. Тогда по полученным результатам измерений мы сможем

осуществить необходимый контроль. Такие характеристики называют критериями. В каждом исследовании (в том числе и нашем) потребуются критерии. Сколько, какие и как выбирать критерии? Данный этап и посвящен ответам на эти вопросы.

Нужно выбирать такие критерии и столько их, чтобы в своей совокупности они являлись адекватной моделью цели. (Правда, как выполнять эту рекомендацию, придется решать в каждом случае отдельно. Не всегда это удастся в полной мере. Но не следует отчаиваться: как говорит древняя поговорка, «Можно много пройти в башмаках, которые немного жмут».) В итоге мы приходим к многокритериальным задачам – не только потому, что бывают многоцелевые задачи, но и потому, что одну цель часто приходится отображать несколькими критериями. При выборе критериев иногда можно воспользоваться опытом ранее проведенных работ. Например, при анализе и проектировании технических систем обычно используются такие критерии, как финансовые (стоимость, прибыль и т. д.), инвентарные (количество продукта, ассортимент и т. д.), эксплуатационные (эффективность функционирования, надежность и пр.), живучесть (совместимость с существующими системами, адаптивность к среде, скорость морального устаревания, безопасность и пр.), экологичность, эргономичность и ряд других.

*Еще один совет состоит в том, чтобы для каждого признака, описываемого критериями, ввести по крайней мере три критерия: один должен характеризовать качественную сторону, другой – количественную, третий – временную. Такие эмпирические перечни, безусловно, полезны, но подлежат развитию.*

Критерии и ограничения. Обратим теперь внимание на то, что сформированное нами множество критериев при постановке задачи на оптимальность разбивается на два подмножества. Одни критерии подлежат изменениям, по мере которых ситуация приближается к желаемому состоянию как можно ближе. Другие же подвержены некоторым условиям, как правило, закрепляющим, фиксирующим их значения; эти условия должны соблюдаться в ходе решения всей задачи. Эти критерии называются ограничениями.

### **3.2. Экспериментальное исследование систем.**

**Эксперимент и модель.** Часто недостающую информацию о системе можно получить только из самой системы, проведя специально спланированный для этого эксперимент. Содержащуюся в протоколе эксперимента информацию извлекают, подвергая полученные данные обработке, преобразованию в форму, пригодную для включения ее в модель системы. Завершающим действием является коррекция модели, включающая полученную информацию в модель. Легко воспринимается, что эксперимент нужен для совершенствования модели. Важно понять также, что эксперимент невозможен без модели. Они находятся в одном цикле (рис. 2.2). Однако вращение по этому циклу напоминает не вращающееся колесо, а катящийся снежный ком – с каждым оборотом он становится все больше, весомее.

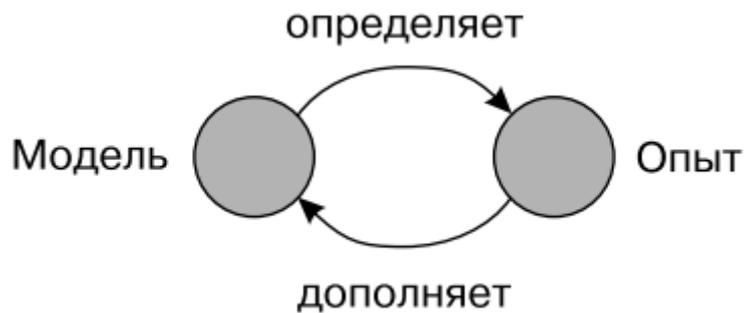


Рисунок 2.2 – Связь модели и эксперимента

**Эксперимент и измерения.** Разнообразие экспериментов можно упрощенно описать их классификацией. *Если мы не вмешиваемся в ход событий, а только регистрируем, что происходит на входах и выходах интересующей нас системы, то опыт называется пассивным экспериментом (или наблюдением). Если же мы не только созерцаем (и фиксируем) происходящее на входах и выходах, но и воздействуем на некоторые из них (одни намеренно поддерживая неизменными, другие – меняя должным образом), то опыт называется активным (или управляемым) экспериментом.*

Как и любая классификация, эта лишь приближенно описывает реальность. В абсолютно чистом виде эти два эксперимента невозможны: активный – потому, что все входы и выходы контролировать невозможно (некоторые даже неизвестны), пассивный – потому, что всякое измерение и наблюдение – взаимодействие, и вовсе не вмешаться в получаемый результат нельзя. Ближайшими реальными, близкими к идеальным, экспериментами являются активный лабораторный опыт и пассивные наблюдения в астрономии, истории, археологии, психологии и т. п.

*Еще одна важная классификация – деление экспериментов на прямые и косвенные.* Прямой эксперимент – это наблюдение непосредственно той характеристики, которая нас интересует (например, привес молодняка можно измерять ежедневным взвешиванием). Иногда интересующая нас характеристика не поддается прямому измерению, но есть наблюдаемая величина, связанная с нею, из наблюдений которой можно извлечь нужную нам информацию; это и будет косвенное наблюдение (например, по некоторым действиям матери можно судить о силе материнской любви, по ценам – о стоимости, по артериальному давлению – о состоянии сердечно-сосудистой системы). Деление измерений на прямые и косвенные важно потому, что их надо обрабатывать по-разному, даже если они описаны в одинаковой шкале.

Осуществившиеся результаты эксперимента фиксируются в виде протокола наблюдений. Эта запись – не сам эксперимент, а описание его результата, т. е. его модель. Понимая термин «язык» широко, можно сказать, что протокол наблюдений – это запись результатов эксперимента на некотором языке. Разнообразие экспериментов таково, что одним языком не обойтись; существует несколько таких языков, называемых измерительными шкалами. Следует ознакомиться с ними, так как в практике придется иметь дело с обработкой данных в разных шкалах, а делать это нужно по-разному для каждой

шкалы. Как в любом языке, неправильно построенная фраза теряет смысл, так и неправильно преобразованные данные эксперимента не несут ожидаемой информации.

#### **4. Построение и усовершенствование моделей, генерирование альтернатив**

**Построение и усовершенствование моделей.** Как уже было ранее отмечено, без моделирования невозможна вообще никакая деятельность. В системном анализе модель проблемной ситуации нужна для того, чтобы на ней «проиграть» возможные варианты вмешательств, чтобы отсеять не только те, которые окажутся не улучшающими, но и выбрать среди улучшающих наиболее (по нашим критериям) улучшающие.

Надо подчеркнуть, что вклад в построение модели ситуации делается на каждом предыдущем и на всех последующих этапах (и собственным вкладом, и решением о возврате на какой-то ранний этап для пополнения модели информацией). Поэтому на самом деле нет отдельного, особого «этапа построения модели». И все-таки стоит сосредоточить внимание на особенностях построения моделей, а точнее – их «дистраивания» (т. е. присоединения новых элементов или изъятия лишних). Вот и сделаем это в виде обособления данных операций как бы в отдельный этап анализа.

Пожалуй, самым удивительным при попытках понять, как устроен мир, является то, что, учтя лишь конечные совокупности отношений в бесконечном мире, мы часто добиваемся успехов в достижении наших целей. То ли мир устроен «просто», то ли мы сами весьма «ограниченны», то ли наше взаимодействие с миром «заужено» – это философские вопросы, а факт состоит в том, что конечные, упрощенные модели позволяют нам успешно познавать и преобразовывать (!) бесконечный мир. Но выяснилось, что для этого годятся не любые модели, а отвечающие ряду требований, обобщенных нами в понятии адекватности.

**О качественных моделях.** Построение «мягких», «рыхлых» качественных моделей – больше искусство, чем наука. Но есть несколько полезных советов.

**1. Следует разделить все входные факторы задачи на управляемые и неуправляемые.** Управляемые переменные подвластны нам, неуправляемые характеризуют условия, ограничения задачи.

**2. При выделении управляемых переменных надо иметь в виду, что связь между переменными может ошибочно приниматься за причинно-следственную.**

*Приведем пример.* В одном городе в США было обнаружено, что в тех районах, где загрязненность воздуха сажей больше, там и заболеваемость туберкулезом выше. Были приняты эффективные меры по борьбе с выбросами сажи в атмосферу. Через несколько лет загрязненность воздуха существенно уменьшилась, а заболеваемость туберкулезом – нет. Оказалось, что главной причиной болезни было недостаточное питание. А связь с загрязнением воздуха

была косвенной: в районах с плохой экологией квартплата была ниже и там селились в основном бедные семьи, плохо питающиеся. Итак, ловушка в этом случае состоит в том, что мы относим к числу управляемых только известные, знакомые нам по опыту факторы. Обойти эту опасность можно, создавая междисциплинарные группы разработчиков, с разных сторон смотрящих на проблему.

3. *При рассмотрении неуправляемых факторов очень перспективным для решения проблемы является превращение неуправляемой переменной в управляемую.* И, конечно, перспективно изучение фактора, не управляемого вследствие недостатка знаний о нем.

4. *Полезно иметь в виду, что стремление свести все связи к причинно-следственным часто ведет к неадекватности модели.* Желудь не является причиной дуба – необходимо множество других условий, без которых дуб не вырастет из желудя: почва, влага, температура, освещенность и т. д. Полезно использовать понятия направленной корреляции, продуцента – продукта, окружающей среды и условий и т. д.

**О количественных моделях.** В практике все большее значение придается количественному моделированию. Модель «прозрачного ящика» (комбинация моделей черного ящика, состава и структуры системы) в этом случае воплощается в виде некоторой формулы или алгоритма, связывающих входные переменные  $X$  с выходными  $Y$ :  $Y = n(X)$ .

Количественные модели могут быть описательными, феноменологическими, когда формула конструируется эвристически, а ее коэффициенты подбираются для наилучшего согласования с экспериментальными данными. Важный аспект такого построения количественных моделей осветил Р. Акофф в своем 21-м «антизаконе менеджмента»: **“Чем меньше менеджеры понимают свой бизнес, тем больше переменных им требуется для его объяснения”**.

$E = mc^2$  (специальная теория относительности) содержит одну независимую переменную,  $m$ , и объясняет, пожалуй, наиболее сложное явление, понятое учеными. Тогда почему требуется тридцать пять переменных, чтобы объяснить, почему люди предпочитают конкретный магазин и покупают определенную крупу? Ответ очевиден: эти явления не поняты. Чем менее понятно что-то, тем больше переменных нужно для создания якобы объяснения этого.

Именно поэтому, когда менеджеры не понимают, что происходит, они собирают всю информацию, какую только могут. Не зная, какая информация релевантна, они боятся пропустить что-то существенное. Как следствие, они страдают гораздо больше от избытка несущественной информации, чем от недостатка существенной.

Предпочтительной является другая форма количественной модели, когда формула выводится из определенных теоретических предположений. В любом случае стоит задача идентификации модели, т. е. определение параметров модели, при которых теоретические предсказания и практические наблюдения согласуются наилучшим образом.

**Генерирование альтернатив.** В любом системном исследовании наступает момент, когда требуется предлагать возможные варианты решения проблемы. В излагаемой технологии это действие производится в два этапа:

1) **выявление расхождений между проблемным и целевым мессивами.** Должны быть четко сформулированы различия между существующим сейчас (и неудовлетворительным) состоянием организации и будущим, наиболее желаемым, идеальным состоянием, к которому предполагается стремиться. Эти различия и есть те пробелы, ликвидацию которых и нужно спланировать;

2) **предложение возможных вариантов устранения или уменьшения обнаруженных расхождений.** Должны быть придуманы подлежащие осуществлению действия, процедуры, правила, проекты, программы и политики, – все компоненты менеджмента.

**Процесс выдвижения, изобретения, придумывания таких вариантов и называется генерированием альтернатив.** Это, несомненно, акт творчества, и встает вопрос, как его организовать, как сделать так, чтобы он был выполнен как можно лучше.

**Факторы, влияющие на творчество.** Не будучи в состоянии вникнуть в глубинные механизмы творческого процесса, психологи все же установили ряд факторов, влияющих на результативность попыток творить. Выявлены как позитивные, способствующие творчеству факторы, так и негативные, тормозящие его (см. рис. 2.3).

Ясно, что при сознательной организации этапа генерирования альтернатив положительные факторы следует намеренно поощрять, использовать, а отрицательные – блокировать, исключать, приглушать. А поскольку это можно делать разными способами и в разных комбинациях, то и методов генерирования альтернатив предложено и эксплуатируется много. Например, в «жестких» методологиях, направленных на решение хорошо формализуемых проблем (типа технических), таких технологий существует десятки.



Рисунок 2.3 – Факторы, влияющие на творчество

Для «мягких» технологий, работающих с «рыхлыми», слабо формализованными проблемами, в особенности в управлении социальными системами, отлаженных технологий генерирования альтернатив меньше, но их тоже больше десяти. Прежде чем описывать эти технологии, охарактеризуем сами факторы, используемые в них. К первой группе факторов отнесем внешние условия, связанные с физиологическими особенностями человека: температуру,

освещение, кондицию воздуха, звуковой фон, уютность обстановки – все это влияет на продуктивность творчества.

Не вдаваясь в подробности, сразу приведем рекомендацию по учету этих факторов: необходимо создать некий достаточный комфорт для участников процедуры генерирования альтернатив и приспособленность помещения для работы: наличие средств презентации текущих результатов, компьютерной поддержки работы, удобств общения и т. д.

Вторая группа «внутренних» факторов связана с нашими психологическими особенностями. Из позитивных факторов самым сильнодействующим для порождения новых идей является общение с другими людьми (не зря же ученые придают большое значение своему участию в симпозиумах, конференциях; политики – съездам, собраниям; руководители – совещаниям; врачи – консилиумам и т. д.).

Отсюда рекомендация проводить данный этап в виде коллективной, групповой работы. Оказывается, что люди порождают больше идей при взаимодействии друг с другом, нежели стараясь придумать что-нибудь по отдельности. Доказано, что группа экспертов, располагающих одной и той же информацией о проблеме, генерирует намного больше вариантов ее решения, если они работают, обмениваясь по ходу дела информацией, чем действуя порознь.

#### **Контрольные вопросы:**

1. Что значит «оценить риски» проекта?
2. Назовите причины (три), по которым участие стэйкхолдеров в системном анализе является необходимым.
3. Почему следует добиваться добровольности участия стэйкхолдеров в анализе?
4. Перечислите три условия, обеспечивающих добровольность участия. Каковы меры по выполнению этих условий?
5. Какие действия предполагает формулирование проблемного месива?
6. Дайте определение конфигуратора.
7. Какие действия предполагает генерирование альтернатив.

### **ЛЕКЦИЯ № 3. ЭТАПЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА**

1. Этап одиннадцатый. Выбор, или принятие решения.
2. Методы принятия решений.
3. Этап двенадцатый. Реализация улучшающего вмешательства.

#### **1. Этап одиннадцатый. Выбор, или принятие решения**

***Выбор как стремление реализовать цель.*** Рано или поздно наступает момент, когда дальнейшие действия могут быть различными, приводящими к

разным результатам, а реализовать можно только одно действие, причем вернуться к ситуации, имевшей место в этот момент, уже нельзя. Наступает момент выбора.

Естественно, выбирается тот вариант, который наиболее (по мнению выбирающего) соответствует его цели. Именно выбор является реализацией целенаправленности всей деятельности субъекта. Способность сделать правильный (т. е. наиболее приближающий к осуществлению цели) выбор – очень ценное качество, присущее людям в разной степени. Великие полководцы, выдающиеся политики, гениальные инженеры и ученые, талантливые администраторы отличались и отличаются от своих коллег или соперников, прежде всего, умением принимать лучшие решения, делать лучший выбор.

Естественно стремление понять, что такое «хороший» выбор, выработать рекомендации, как приблизиться к наилучшему решению, а если возможно, то и предложить точный алгоритм получения такого решения. Выяснилось, что разнообразие ситуаций простирается от хорошо изученных, достаточно формализованных, описываемых математически (так называемых «жестких», «твердых» – hard) ситуаций до плохо структурированных, описываемых на разговорном или профессиональных, далеких от математического, языках («мягких», «рыхлых» – soft) ситуаций с различными промежуточными вариантами.

*Для «жестких» задач выбора* разработана вполне строгая формальная методика нахождения наилучшего в заданных условиях (оптимального) решения. *В случае «рыхлой» постановки задачи* осознана многовариантность решения и разработана «мягкая» технология поиска приемлемых, «улучшающих» вмешательств. В промежуточных случаях сочетаются (в разных пропорциях) интеллектуальные способности человека решать неформальные задачи и подходящие формальные методы математики и компьютерного моделирования (системы поддержки принятия решений, экспертные системы, базы данных, автоматизированные системы управления и т. п.).

***На предыдущих этапах системного анализа было подготовлено все необходимое для выбора:***

- есть множество альтернатив, на котором предстоит сделать выбор (этап десятый);
- определены цели, ради достижения которых производится выбор (этап шестой);
- выбраны критерии для сравнения альтернатив по степени их пригодности для достижения целей (этап седьмой).

Данный же этап посвящен рассмотрению проблем собственно выбора, т. е. процесса принятия решений.

В самом общем виде выбор можно определить, как целевое сужение множества альтернатив: часть этого множества  $X$  признается приемлемым ( $C(X)$  на рис. 3.1), остальные отвергаются. Обычно стараются свести к одной-единственной альтернативе, но иногда это не разумно или даже невозможно.

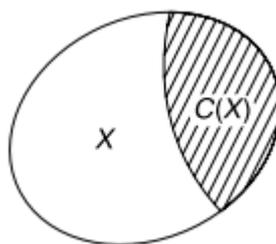


Рисунок 3.1 – Целевое сужение множества альтернатив

Стремление к тому, чтобы наш выбор был как можно более правильным, побуждает к построению некоторой теории выбора, которая предлагала бы средства синтеза алгоритмов выбора и их анализа (сравнения). Однако попытки построить «общую теорию принятия решения» наталкиваются на серьезные трудности.

***Множественность задач выбора.***

Выясним разнообразие ситуаций выбора с помощью ***метода морфологического анализа***. В соответствии с этим методом перечислим ***факторы, определяющие характер выбора, и их градации***.

1. Множество альтернатив  $X$  может быть конечным, счетным или континуальным (что требует разных методов оптимизации).

2. Типы критериев могут принадлежать разным измерительным шкалам (грубо разобьем их на качественные и количественные).

3. Число критериев тоже влияет на методику выбора: весьма существенна разница между одно- и многокритериальными задачами.

4. Число лиц, принимающих решение (ЛПР), тоже приводит к совершенно разным способам выбора (будем различать односторонний и многосторонний выборы).

5. Степень согласия между ЛПР существенно влияет на способ выбора. По-разному принимаются решения при совпадении интересов сторон (коллективный выбор) и при их противоположности (выбор в конфликтной ситуации). Возможны промежуточные случаи (компромиссный выбор, коалиционный выбор, выбор в условиях конфликта, выбор при переменной конфликтности).

6. Характер неопределенности последствий выбора – варьируется от полной определенности (когда точно известны последствия выбора каждой альтернативы) до неопределенности разного типа:

- незнания последствий,
- знания вероятностей исходов,
- расплывчатой неопределенности.

Каждый из этих вариантов требует совершенно специфического подхода, иных математических методов.

7. Повторяемость ситуации выбора. Различны подходы к принятию решений при разовом (уникальном, неповторяемом, первом) выборе и выборе повторном, многократном в аналогичных ситуациях, допускающем использование предыдущего опыта, с учителем или без него и т. д.

8. Ответственность за последствия выбора. Неверный выбор ведет к потерям. Потери могут быть приемлемыми, небольшими, а могут быть нетерпимыми, недопустимыми. Конечно, в этих случаях выбор нужно делать по-разному.

Учет только перечисленных факторов дает  $3 \times 2 \times 2 \times 2 \times 4 \times 4 \times 2 \times 2 = 800$  вариантов задач выбора. Каждый из них требует специального сочетания методов из разных областей знаний. Становится понятным, почему нет (и не может быть) универсальных методов принятия решений.

И действительно, разработаны различные методы для разных типов ситуаций выбора: *теория оптимизации (определенность исхода, односторонний выбор, одно- или многокритериальные задачи); математическая статистика (стохастическая неопределенность); теория размытых множеств (расплывчатая неопределенность); теория коллективного выбора (многосторонний выбор при единстве цели); теория игр (многосторонний конфликтный выбор) и т. д.* Для некоторых ситуаций пока не найдено алгоритмических решений (неявное задание критериев, незнание существенных параметров и т. д.), когда приходится действовать «по интуиции», «согласно здравому смыслу», «наугад» и пр.

## 2. Методы принятия решений

**Критериальный выбор.** Основой данного варианта выбора является предположение о том, что каждую отдельно взятую альтернативу можно оценить конкретным числом (значением критериальной функции). Тогда сравнение альтернатив сводится к сравнению соответствующих им чисел.

Пусть  $x$  – некоторая альтернатива из множества  $X$ . Считается, что для всех  $x \in X$  может быть задана функция  $q(x)$ , которая называется критерием (критерием качества, условной функцией, функцией предпочтения, функцией полезности и т. д.) и обладает тем свойством, что если альтернатива  $x_i$  предпочтительнее альтернативы  $x_j$  (будем обозначать это  $x_i > x_j$ ), то  $q(x_i) > q(x_j)$ , и обратно:

$$[x_j > x_i] \Leftrightarrow [q(x_j) > q(x_i)].$$

Если теперь сделать еще одно важное предположение, что выбор любой альтернативы приводит к однозначно известным последствиям (т. е. считается, что выбор осуществляется в условиях полной определенности) и значение  $q(x)$  численно выражает оценку этих последствий, то наилучшей альтернативой  $x^*$  является, естественно, та, которая обладает наибольшим значением критерия:

$$x^* = \arg \left[ \max_{x \in X} q(x) \right].$$

Задача отыскания  $x^*$ , простая по постановке, часто оказывается сложной для решения, поскольку метод ее решения (да и сама возможность решения) определяется как характером множества  $X$  (размерностью вектора  $x$  и принадлежностью его компонент к конечному, дискретному или континуальному множествам), так и типом критерия (является ли  $q(x)$  функцией или функционалом, каким именно, заданным явно или неявно, в виде равенства

или неравенства и т. д.). Университетский курс методов оптимизации, посвященный решению таких задач, является одним из самых объемных и сложных. Но сложности эти технические, а в принципе задача проста: нужно максимизировать критерий при заданных ограничениях.

Задача существенно усложняется при переходе от единственного к нескольким критериям. Правильнее даже будет сказать, что многокритериальная задача принципиально отличается от однокритериальной. Это проявляется уже на примере двухкритериальной задачи (рис. 3.2).

Если сравнивать альтернативы  $x_1$  и  $x_2$  или  $x_1$  и  $x_3$ , то никаких сомнений не возникает, поскольку и  $x_2$  и  $x_3$  по обоим критериям  $q_1$  и  $q_2$  лучше  $x_1$ . Но как сделать выбор между  $x_2$  и  $x_3$ ? Каждый из них лучше другого по одному критерию и хуже – по-другому.

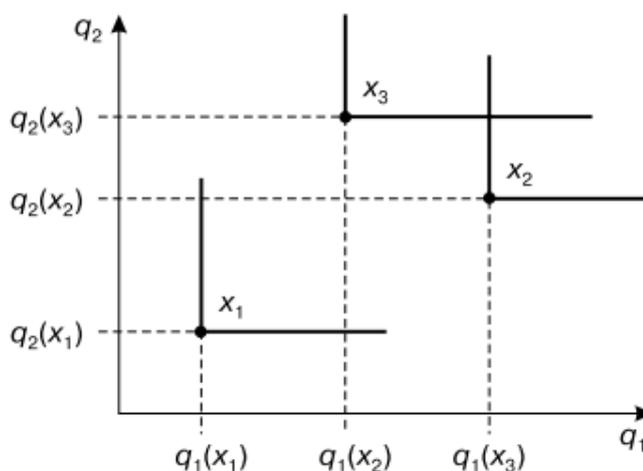


Рисунок 3.2 – Сравнение альтернатив по Парето

В теории выбора произошла история, подобная анекдоту, в котором математика попросили описать алгоритм получения чая.

«Все просто, – ответил он. – Нужно в чайник налить воды, поставить его на огонь, довести до кипения, бросить в него заварку. Через три минуты чай готов». А если вам дадут чайник с водой? «Нужно вылить воду из чайника, и задача сводится к предыдущей» – был ответ. История состоит в том, что были сделаны попытки решать многокритериальную задачу путем сведения ее к однокритериальной (или последовательности однокритериальных), так как способ решения последней очевиден. Было разработано несколько методов, из числа которых стали употребительными следующие.

**Построение «суперкритерия», «глобального критерия»  $q_0(x)$**  как некоторой комбинации локальных критериев  $q_1(x), \dots, q_k(x)$ :

$$q_0(x) = f[q_1(x), q_2(x), \dots, q_k(x)].$$

Наряду с техническими сложностями объединения критериев, измеряемых в разных шкалах (сложности решаемы искусственными приведениями их к одной шкале), все упирается в выбор упорядочивающей функции  $f$ : ее задание будет приводить к выбору единственной альтернативы, но

при переходе к другой упорядочивающей функции выбор будет иным. Чувствуется наличие нежелательного, но неизбежного произвола.

**Условная оптимизация**, при которой выделяется один «наиболее важный» критерий, остальные переводятся в разряд условий, т. е. фиксируются на приемлемом для заказчика уровне. Вариантом такой задачи является задание условий в виде неравенств. И в этом случае налицо произвольность получаемого решения, которое зависит от задаваемых условий.

**Метод уступок**, при котором критерии упорядочиваются по важности, а затем оптимизация производится по наиболее важному критерию. После этого назначается уступка по этому критерию, т. е. величина, на которую мы согласны понизить достигнутое значение первого критерия, чтобы в пределах этой уступки максимально повысить значение второго. И так далее. Здесь произвол присутствует в виде упорядочения критериев и величин уступок по каждому из них.

**Лексикографическое упорядочение**. В отличие от метода уступок, критерии считаются настолько сильно отличающимися по важности, что применение следующего критерия производится только в том случае, если предыдущий дал неоднозначный ответ, и без всяких уступок. Термин «лексикографический» применен в связи с тем, что этот принцип используется в словарях: там упорядочение слов соответствует порядку букв алфавита в искомом слове.

**Метод задания уровня притязаний**. В отличие от предыдущих методов в данном случае производится не поиск лучшей (в том или ином смысле) альтернативы, а задание ее желательных качеств и проверка, есть ли среди наличных альтернатив  $X$  именно такая. При положительном ответе желательно указать существующие превосходящие заданную альтернативы, при отрицательном – существующие ближайшие по заданным критериям.

Хотя через каждые два года проводятся международные симпозиумы Ассоциации многокритериального принятия решений (MCDM: Multy-Criterial Decision Making), где обсуждаются новые варианты перечисленных выше методов, отметим, что все эти методы – суть попытки применить однокритериальное мышление к многокритериальному случаю. Инертность мышления заставляет искать единственно верное решение, тогда как в многокритериальном случае такового, как правило, не существует.

Между тем адекватное решение многокритериальных задач было предложено еще в начале прошлого века математиком-экономистом Парето. Оно основано на том, что предпочтение одной альтернативе перед другой следует отдавать, только если первая по всем критериям лучше второй. Если же предпочтение хотя бы по одному критерию расходится с предпочтением по другому, то такие альтернативы признаются несравнимыми и одинаково предпочтительными.

На примере рисунка 3.2 введем понятия доминирующих и доминируемых альтернатив. Альтернатива, по всем критериям уступающая другой ( $x_1$  и  $x_2$ ;  $x_1$  и  $x_3$ ), называется доминируемой, а превосходящая ее по всем критериям – доминирующей. Теперь выбор в многокритериальном случае становится

очевидным: следует отбросить все доминируемые альтернативы. Но результат в общем случае становится неоднозначным, например, в случае, представленном на рисунке 3.2, итогом выбора являются  $x_2$  и  $x_3$ ; лучше их по обоим критериям вариантов нет, а между собой они несравнимы.

**Множество недоминируемых альтернатив называют паретовским множеством.** Это и есть адекватное решение многокритериальной задачи. Однако в реальной жизни можно реализовать только один вариант, и возникает вопрос: какой из вариантов из паретовского множества надо осуществлять? Встает вопрос о выборе на паретовском множестве. Его элементы несравнимы, т. е. одинаковы в том смысле, что лучше их по всем критериям нет, поэтому выбрать можно любой. Есть разные способы выбора в такой ситуации.

**Волевой выбор:** лицо, принимающее решение, самостоятельно определяет, какой вариант осуществлять, либо прибегает к услугам экспертов.

**Случайный выбор:** решение отдается воле случая (бросание монеты, игральной кости и т. п.).

**Введение дополнительных критериев,** различающих альтернативы из паретовского множества (в частности, применение глобального критерия или введение нового).

Интересный вариант выбора на паретовском множестве предложили Д. С. Хэммонд, Р. Л. Кини, Г. Райффа.

Трудность сравнения и выбора между данными, выраженными в различных измерительных шкалах, предлагается преодолевать методом «равноценного обмена». *Идея состоит в том, чтобы сравнивать не сами данные (они в принципе несравнимы), а сопоставлять выигрыш или потери, которые получаются в результате предпочтения одного другому.*

Метод разработан для случая выбора среди нескольких альтернатив по совокупности нескольких критериев – ситуации, типичной в управленческой практике.

**Метод «равноценного обмена».**

**Метод можно изложить в виде следующего алгоритма:**

1) ситуация представляется двумерной «Таблицей последствий» (аналог таблицы «Объект – свойства»), по вертикали которой перечисляются критерии («цели»), а по горизонтали сравниваемые варианты. Таблица заполняется целиком, случай пропущенных данных (незаполненных ячеек таблицы) не рассматривается;

2) устраняются все доминируемые альтернативы;

3) если значения какого-то критерия для всех недоминируемых альтернатив совпадают, этот критерий можно исключить из рассмотрения как несущественный для выбора;

4) делается попытка привести некоторый неравнозначный критерий к одному значению для всех альтернатив, чтобы его можно было исключить из рассмотрения. Предлагается делать это методом «равноценного обмена», увеличивая значение одного критерия, уменьшая значение другого на эквивалентную (по потерям) величину. Если это удастся, данный критерий исключается;

5) этап 4 применяется к каждому критерию, пока не останется одна альтернатива или один критерий, по которому и осуществляется выбор.

Главной трудностью этой методики является определение стоимости изменения величины каждого критерия. Например, при выборе между рейсами разных авиакомпаний трудно осуществить обмен степени безопасности на удобство времени вылета. В таких случаях рекомендуется перейти к рассмотрению более легко сравнимых пар критериев. Может случиться, что, сделав самые простые обмены, вы получите решение, и не потребуется ломать голову над сложными обменами.

***Главный итог состоит в том, что для многокритериальной задачи не существует единственно верного решения, есть некоторое (паретовское) множество приемлемых решений, из которых можно принять любое.***

***Выбор на основе парных сравнений.*** В реальной жизни часто встречаются случаи, когда никакие критерии не позволяют выделить «самую лучшую» альтернативу. Например, у боксера можно измерить вес, объем мышц, определить скорость реакции и т. д., но по этим данным нельзя предсказать, станет ли он чемпионом. В таких случаях критериальный язык теряет смысл, а с ним и соответствующие методы становятся неприменимыми. Однако, хотя адекватная оценка отдельной альтернативы при этом невозможна, существует возможность поставить две альтернативы в такую соревновательную ситуацию, где они в реальности сравнили бы свои качества, и исход такого соревнования определит их порядок предпочтения. Примерами таких ситуаций являются турниры, конкурсы, бои – любые парные сравнения.

Если альтернатив больше, чем две, то возникает вопрос: как выделить среди них наиболее предпочтительную, если мы располагаем только результатами попарных сравнений? По поводу такой задачи созданы довольно разветвленные математические теории, поскольку множество альтернатив может быть конечным, счетным или непрерывным, а сами отношения между парами можно описывать по-разному. Для наших целей ограничимся представлением парных сравнений так называемым графом предпочтений.

***Граф предпочтений*** – это рисунок, который получается следующим образом (рис. 3.4).

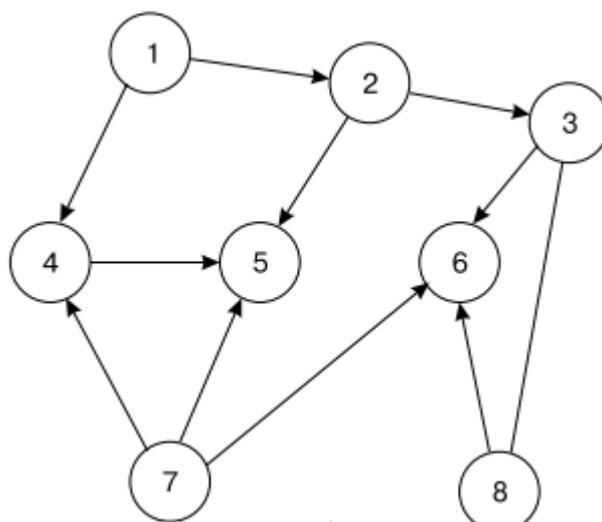


Рисунок 3.4 – Граф предпочтений

На рисунке 3.4: 1) кружочками изображаются альтернативы; 2) они пронумеровываются (это будут вершины графа); 3) если какие-то две альтернативы сравниваются, между ними проводится линия (называемая ребром или дугой графа); 4) если в сравнении «победила» одна альтернатива, это обозначается стрелкой в сторону проигравшего; 5) если исход ничейный, линия остается ненаправленной.

Располагая таким протоколом наблюдений, можно выделить «самые лучшие» альтернативы. Для этого нужно определить критерий, кого считать «лучшим», и сделать это можно по-разному.

Например, считать лучшим того, кто не проиграл ни разу. Тогда выделятся альтернативы 1, 7 и 8. Можно (для различения между ними) взять критерием количество выигранных «боев»; тогда лучшей станет 7-я альтернатива. Но может вызвать возражение проведение неодинакового числа боев для разных участников. Становится ясным, что для справедливого сравнения нужно провести встречи «каждого с каждым». Правда, и при этом может не оказаться «самого лучшего» по избранному критерию (например, не окажется того, кто не проиграл ни разу). Придется вводить другие критерии. Но главным препятствием для получения полного набора парных сравнений становится их большое количество –  $N(N-1)$  – при больших  $N$ , поэтому стало бы невозможным определение чемпиона мира ни по одному виду спорта. Правда, спортсмены разработали сокращенные, приближенные способы определения лидера – либо зональные соревнования с последующими сражениями между победителями зон, либо олимпийская система с выбыванием после первого проигрывания.

**Коллективный выбор.** Из многочисленных задач выбора особый практический интерес представляет задача многостороннего принятия решения, когда выбор осуществляется не одним лицом, а группой лиц. При этом предполагается высшая степень согласия между членами группы относительно

общей цели, выбор же приходится делать между вариантами средств достижения этой цели.

Типичным примером являются выборы на руководящий пост. Из нескольких кандидатов на этот пост можно избрать лишь одного, и каждый избиратель волен выразить свое личное предпочтение. Групповое решение  $C_0(X)$  о наиболее предпочтительном кандидате  $x_j \in X = \{x_1, \dots, x_k\}$  получается путем «пересчета» всех индивидуальных предпочтений  $C_1(X), C_2(X), \dots, C_N(X)$ , где  $N$  – число избирателей, в одно «коллективное» предпочтение  $C_0(X)$  с помощью, заранее объявленной и принятой всеми членами группы процедуры  $f$ :  $C_0(X) = f[C_1(X), C_2(X), \dots, C_N(X)]$ . Такую операцию называют процедурой голосования.

**Принятие решений в социальной системе.** До сих пор мы рассматривали принятие решений аналитически: есть множество альтернатив, из которых надо выделить одну, наиболее предпочтительную. И основное внимание уделялось внутренней, технической стороне дела: как надо делать такой выбор. Обнаружилось множество вариантов, и в каждой ситуации алгоритм принятия решений имел особенности, учитывающие специфику ситуации. А теперь обратимся к синтетическому рассмотрению выбора, т. е. рассмотрим, каковы внешние условия принятия решений.

Принятие решений – важнейшая функция в управленческой деятельности. Управление есть осуществление изменений в управляемой организации. А организация – это некоторая структура с распределением прав и обязанностей, власти и ответственности. Поэтому принятие решений в такой системе должно происходить с учетом того, каковы полномочия лица, принимающего решения. А эти полномочия определены его положением в организационной структуре.

При этом приходится учитывать позицию лица, принимающего решения как в структуре своей организации, так и в структурах внешних систем, куда наша организация входит как часть. Начнем с рассмотрения специфики принятия внутренних решений лицом, входящим в некоторую организацию. Диапазон его решений в определенной степени ограничен его должностной инструкцией. Но какие решения на каком уровне иерархии должны приниматься? Желательная цель – минимизировать вероятность принятия ошибочных решений. Подверженность ошибке – неизбежная особенность любого субъекта, на любом уровне управленческой иерархии. Отсюда следует вывод, что решение должно приниматься на том уровне, где сосредоточена максимальная информация о ситуации, требующей вмешательства. И это не обязательно уровень высшего руководства в организации, что и является основой необходимости делегирования властных полномочий на нижележащие уровни иерархии.

Такое перераспределение власти и ответственности может иметь разные формы. Например, нижестоящим предоставляется право вето на решения вышестоящих (продавец имеет больше информации о покупателях, чем директор магазина). Другой вариант реализован в авиакомпании SAS. Всем служащим, независимо от ранга, вменено в обязанность при получении просьбы, предложения или претензии от клиента либо самим отреагировать

соответственно, либо лично проследить, чтобы это было сделано должным образом соответствующей службой. Перекалывание ответственности на других запрещено.

Итак, стоит задача передачи права принятия решений на те нижестоящие уровни, которые наиболее компетентны в проблемной ситуации. Руководитель обычно неохотно идет на отдачу части своих полномочий подчиненным. Убедить его пойти на это можно несколькими способами. Главный – показать, что организация будет функционировать лучше, если предоставить работникам больше свободы в принятии решений. Работники в больших организациях обычно отчуждены из-за того, что у них нет права голоса, они не влияют на принятие решений, оказываются в значительной мере подобны роботам.

Другой важной особенностью внутренней среды организации для принятия решений является образованность работников. Чем более образованы работники, тем менее эффективно властное управление ими. Наглядным примером служат университеты, значительная часть работников которых имеют ученые степени. И никакой ректор не управляет университетом, решая, что и как должно преподаваться, как оцениваться, какие книги должны использоваться. Все важные для учебного процесса решения принимаются на нижних уровнях иерархии.

Еще один способ побудить высших руководителей делегировать полномочия подчиненным – ознакомить их с проблемами самого нижнего уровня, – пользователей. Руководители часто полагают, что их власть проявляется в том, чтобы выглядеть всезнающими и возвышенными; что общение с нижестоящими снижает их авторитет и статус; они часто и не желают знать, что происходит в самом низу.

Полезный совет состоит в том, чтобы руководитель транспортной компании иногда ездил вместе с обычными пассажирами, директор магазина сам делал покупки в нем, и т. п.

Подытоживая тему принятия внутренних решений в организации, можно сказать, что современная тенденция развития менеджмента идет в направлении децентрализации управления, в переходе от административно-командного стиля руководства к партисипативному, соучастному, демократическому управлению. Хотя диктаторский стиль управления не исключается (например, в условиях войны, чрезвычайных ситуаций и т. п.).

***Принятие решений, связанных с необходимостью взаимодействий с внешними управленческими структурами.***

Обратимся теперь к проблемам принятия решений, связанных с необходимостью взаимодействий с внешними управленческими структурами. Если внутренние проблемы связаны с оптимизацией распределения прав и обязанностей между подчиненными, что находится во власти менеджера, то отношения с внешними структурами чаще всего сводятся к испрашиванию решений вышестоящих руководителей по вопросам, существенным для нижестоящей организации.

***Взаимодействия с социальными системами бывают двух типов: либо они дают нам возможность сделать или получить что-то, чего без их***

*содействия мы не можем иметь, либо они предотвращают такую возможность.*

Иными словами, системы, с которыми мы взаимодействуем, расширяют или сокращают число наших допустимых действий: либо позволяют, либо запрещают что-то сделать. Хотя существуют системы, функционирование которых носит преимущественно ограничительный характер (например, тюрьма) или преимущественно расширительный (напр., библиотека), но многие совмещают эти функции (напр., школы, правительственные учреждения). Если некоторая система ориентирована на запреты, ее называют бюрократической.

**Выводы.** Мы рассмотрели лишь несколько задач теории выбора. Критерием отбора была их частая встречаемость в практике и предстоящее использование результатов в изложении технологии решения проблем.

Они составляют лишь незначительную часть всех вариантов практики принятия решения, неполный список которых был порожден морфологическим анализом, проведенным в начале описания данного этапа. Например, столкнувшись с необходимостью выбора в условиях неопределенности, следует идентифицировать ее тип и обратиться либо к теории игр (при неопределенности незнания), либо к теории статистических решений (при стохастической неопределенности), либо к теории нечетких множеств (при расплывчатой неопределенности). При отсутствии неопределенности последствий сделанного выбора задачи решаются методами оптимизации.

### **3. Этап двенадцатый. Реализация улучшающего вмешательства**

После принятия решения о том, какое именно из улучшающих вмешательств следует осуществить (это итог предыдущего этапа), предстоит работа по реализации этого решения (это задача данного этапа). Но между принятием решения и его реализацией, как говорят, «дистанция огромного размера». Эта дистанция преодолевается планированием необходимых действий и их исполнением при слежении за ходом событий и внесении поправок в необходимых случаях.

Планирование конечных результатов было осуществлено на этапе 6 («Целевыявление»). Планирование способов ликвидации разрывов между целями и проблемным месивом было осуществлено на этапе 10 («Генерирование альтернатив»). Выбор вмешательства, подлежащего осуществлению, был сделан на этапе 11 («Принятие решения»).

Теперь наступило время для *планирования ресурсов, требующихся для реализации спроектированного вмешательства. На этой фазе планирования для каждого вида ресурса должно быть определено:*

- 1) сколько его потребуется, где и когда;
- 2) сколько его будет в наличии в назначенных месте и времени;
- 3) что должно делаться в случае его нехватки или избытка.

**Должны быть рассмотрены все виды ресурсов:**

- 1) люди с их компетенциями и квалификацией;
- 2) здания и оборудование (капитальные затраты);
- 3) материалы по видам и объемам запасов, энергия (расходуемые вещи);
- 4) деньги;
- 5) информация;
- 6) время.

*Следующая фаза в реализации вмешательства – **организация исполнения решения***. Это действие по сути является актом управления. В соответствии со сложившейся ситуацией *применяется один из семи типов управления*, или их подходящая комбинация в нужной последовательности. Обычно **после реструктуризации** (4-й тип) применяется **регулирование** (3-й тип) или **преодоление сложности** (2-й тип). В любом случае потребуются мониторинг текущего состояния дел, определение предположений и рисков (функция контроля). Кроме того, для обеспечения адаптивности к предстоящим переменам внутри и вовне системы потребуются создать подсистему обнаружения и исправления ошибок в ожиданиях и предположениях (функция обучения).

**Определение предположений и рисков.** Как бы хорошо ни был спланирован и подготовлен проект, реальные события не всегда происходят в соответствии с планом. Многие внешние факторы могут повлиять на ход осуществления проекта и при этом лежат вне нашего контроля. Поэтому необходимо включить это в перечень наших предположений.

Поэтапное продвижение по цепочке от постановки проблемы до ее решения происходит через верификацию предположений, встроенных в каждый этап: переход к следующему этапу осуществляется только если предыдущий считается успешно выполненным.

*Одна из ролей системного аналитика состоит в идентификации таких внешних факторов и в том, чтобы по возможности встроить в проект либо противодействие им, либо осуществление отслеживания их влияния.* Поэтому необходимо оценить вероятность и значение возможных обстоятельств, внося тем самым вклад в оценку рискованности проекта. Некоторые из них будут существенными для успеха проекта, другие – малозначимыми. Можно предложить **алгоритм работы с предположениями** (рис. 3.5).

Для наглядности приведем примеры возможных предположений в случае решения социальной проблемы:

- местные организации будут сотрудничать в планировании нашей работы;
- нужные кадры определены и наняты – местные и приглашенные;
- отправленные на учебу кадры вернулись для участия в проекте;
- в бюджет внесены необходимые поправки;
- руководящие органы выполнили предварительные условия спонсоров проекта.

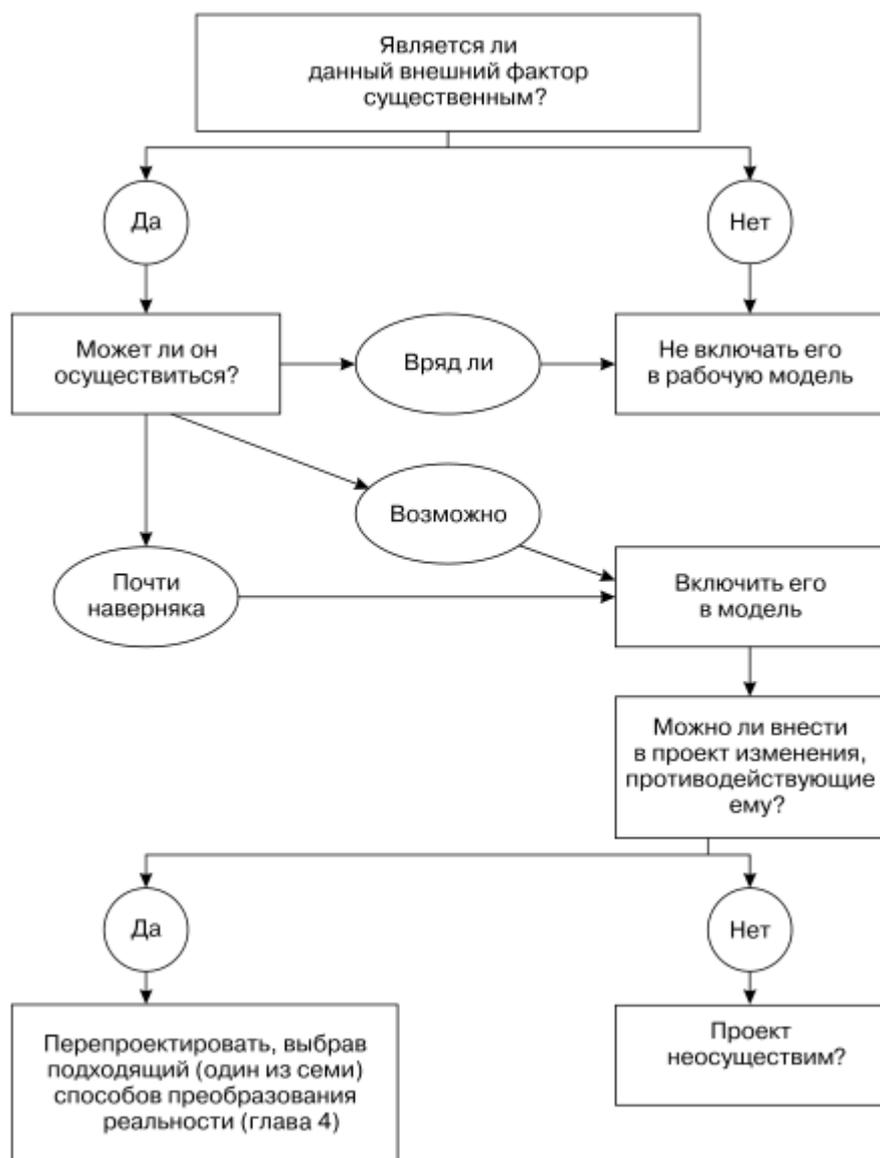


Рисунок 3.5 – Алгоритм работы с предположениями

Практика показывает, что дистанцию от принятия решения до его реализации далеко не всегда удастся пройти успешно. Естественны старания собрать и обобщить опыт успехов и неудач в достижении поставленных целей.

### Контрольные вопросы:

1. Дайте определение «выбора».
2. Почему нереально создать универсальную теорию выбора?
3. Как правильно решать многокритериальные задачи?
4. Что такое «паретовское множество»?
5. Каковы трудности выбора на основе парных сравнений?
6. Каковы особенности принятия решений с учетом окружающей социальной среды?

## ЛЕКЦИЯ № 4. МОДЕЛИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ В ПРИКЛАДНОМ СИСТЕМНОМ АНАЛИЗЕ

1. Моделирование как неотъемлемый этап системного анализа.
2. Способы воплощения моделей.
3. Соответствие между моделью и реальностью.
4. Понятие системы.

### 1. Моделирование как неотъемлемый этап системного анализа

**Понятие модели.** Первоначально моделью называли некое вспомогательное средство, объект, который в определенной ситуации заменял другой объект. В результате очень долго понятие «модель» относилось только к материальным объектам специального типа, например, манекен (модель человеческой фигуры), модель плотины, модели судов и самолетов, чучела (модели животных) и т. п. При этом далеко не сразу была понята универсальность законов природы, всеобщность моделирования, т. е. не просто возможность, но и необходимость представлять любые наши знания в виде моделей.

Осмысление понятия модели привело к следующему определению: *моделью называется некий объект – заменитель, который в определенных условиях может заменить объект – оригинал, воспроизводя интересующие нас свойства и характеристики оригинала, причем он имеет преимущества перед оригиналом (наглядность, обозримость, доступность испытаний и т. д.).*

Затем были осознаны модельные свойства чертежей, рисунков, карт. Следующий шаг заключался в признании того, что моделями могут служить и абстрактные построения, например, математические модели. В 20 веке понятие модели становится все более общим, охватывающим и реальные, и идеальные модели. Модели могут быть качественно различными, они образуют иерархию, в которой модель более высокого уровня (например, теория) содержит модели нижних уровней (скажем, гипотезы) как свои элементы. Важно, что признание идеальных представлений, научных построений, законов в качестве моделей подчеркивает их относительную истинность.

**Целесообразная деятельность и моделирование.** Всякий процесс труда есть деятельность, направленная на достижение определенной цели. Целевой характер имеет не только трудовая деятельность, но и отдых, развлечения, игры и т. п. Поэтому следует говорить о различных видах целесообразной деятельности человека.

**Цель – есть модель состояния, на реализацию которого и направлена деятельность.** Однако, роль моделирования этим не ограничивается. Системность деятельности проявляется в том, что она осуществляется по определенному плану (алгоритму). Следовательно, *алгоритм – образ будущей деятельности, ее модель.* Часто приходится заранее оценивать результат

последующих действий, не выполняя их, т. е. проигрывать на модели. Таким образом, моделирование является обязательным, неизбежным действием во всякой целесообразной деятельности, хотя часто и не осозанным.

### ***Цель как модель.***

***Модель является не просто образом – заменителем оригинала, а отображением целевым.*** Модель отображает не сам по себе объект – оригинал, а то, что нас в нем интересует, т. е. то, что соответствует поставленной цели. Из того, что модель является целевым отображением, следует множественность моделей одного и того же объекта. Для разных целей требуются разные модели. Сама целевая предназначенность моделей позволяет все многообразие моделей разделить на основные типы – по типам моделей.

***Познавательные и прагматические модели.*** Разделим модели на познавательные и прагматические, что соответствует делению целей на теоретические и практические. ***Познавательные модели являются формой организации и представления знаний, посредством соединения новых знаний с имеющимися.*** При обнаружении расхождения между моделью и реальностью встает задача устранения этого расхождения с помощью изменения модели. Познавательная деятельность ориентирована на приближение модели к реальности с помощью изменения модели.

***Прагматические модели являются средством управления, средством организации практических действий или их результата, т. е. являются рабочим представлением целей.*** При обнаружении расхождений между моделью и реальностью прилагают усилия, чтобы изменить реальность так, чтобы приблизить реальность к модели. Примерами прагматических моделей могут служить планы и программы действий, уставы организаций, кодексы законов, рабочие чертежи и шаблоны, экзаменационные требования и т. д. Основное различие между познавательными и прагматическими моделями заключается в том, что познавательные модели отражают существующее, а прагматические – не существующее, но желаемое и, возможно, осуществимое.

***Статические и динамические модели.*** Для одних целей нам могут понадобиться «моментальные фотографии» интересующего нас объекта. Такие модели называются статическими. Если возникает необходимость в отображении изменений состояния объекта, тогда строятся динамические модели.

## **2. Способы воплощения моделей**

Все модели делятся на абстрактные и материальные.

***Абстрактные модели*** являются идеальными конструкциями, построенными средствами мышления, сознания. Очевидно, что к абстрактным моделям относятся языковые конструкции, т. е. модели, построенные средствами естественного языка. Они являются конечной продукцией мышления, готовой для передачи другим носителям языка. Большую роль в построении моделей

играют и неязыковые формы мышления: эмоции, бессознательное, интуиция, озарение, образное мышление, подсознание и т. п.

Естественные языки обладают высокой универсальностью, главными их недостатками является расплывчатость понятий. Рано или поздно возникают ситуации, когда это неприемлемо, и тогда вырабатываются специализированные языки, более точные, чем естественные, например, языки конкретных наук или языки программирования для ЭВМ. В результате приходим к иерархии языков и соответствующей иерархии типов моделей.

На верхнем уровне находятся модели, создаваемые средствами естественного языка, на нижнем – модели, описываемые в точных терминах конкретных наук. Любая отрасль знаний может с тем большим основанием относиться к научной, чем в большей степени в ней используется математика.

Математические модели обладают абсолютной точностью, но для их использования в данной области необходимо накопить достаточное количество знаний.

### ***Материальные модели и виды подобия.***

***Чтобы некоторая материальная конструкция могла быть отображением, т. е. заменяла бы в каком-то отношении оригинал, между оригиналом и моделью должно быть установлено отношение подобия.*** Существуют разные способы установления такого подобия. Прежде всего, это подобие, устанавливаемое в результате физического взаимодействия модели и оригинала: фотографии, макеты, куклы, протезы, шаблоны, выкройки и т. п.

***Назовем такое подобие прямым.*** Только при прямом подобии возможна трудно обнаруживаемая не взаимозаменяемость модели и оригинала (копии произведений искусства, фальшивые денежные знаки). С другой стороны, как бы ни хороша была модель, она всего лишь заменитель оригинала, выполняющая эту роль только в каком-то отношении. Часто возникает проблема переноса результатов экспериментов с модели на оригинал.

Рассмотрим, например, испытания уменьшенной модели корабля на гидродинамические качества. Часть условий эксперимента можно привести в соответствие с масштабом модели (скорость движения), другая часть условий (вязкость воды, плотность и т. д.) не может быть масштабирована. Задача пересчета результатов эксперимента на модели на масштаб реального изделия становится нетривиальной. Для таких целей разработана специальная теория подобия и размерностей, относящаяся именно к моделям прямого подобия.

***Второй тип подобия назовем косвенным.*** Косвенное подобие между оригиналом и моделью устанавливается не в результате их физического взаимодействия, а объективно существует в природе и обнаруживается в виде совпадения или близости их абстрактных моделей и используется в практике реального моделирования. Наиболее известным примером здесь является электротехническая аналогия.

Появляется возможность заменить эксперименты с механической системой на простые опыты с электрической схемой. Роль моделей, обладающих косвенным подобием оригиналу, очень велика. Часы – аналог времени, подопытные животные – аналог человека. Аналоговые вычислительные машины

позволяют найти решение почти любого дифференциального уравнения, представляя, таким образом, аналог описываемого уравнением процесса.

Третий, особый, класс материальных моделей образуют *модели, обладающие условным подобием*, установленным в результате соглашения. Примерами условного подобия служат деньги (модель стоимости), удостоверение личности (модель владельца), рабочие чертежи, карты и т. д.

*Знаковые модели и сигналы.* Теория связи, теория информации и ряд других наук имеют дело со специфическими моделями условного подобия, которые применяются в технических устройствах без участия человека. Они получили название сигналов. Правила построения и способы использования сигналов, названные кодом, кодированием и декодированием, сами стали предметом широких исследований.

Наука о моделях условного подобия, использующихся непосредственно человеком, называется «семиотика». Сами модели называются знаковыми. Хотя условное подобие в принципе не требует фактического сходства, оно должно строиться с учетом особенностей человека, создателя и потребителя этих моделей (дорожные знаки, числа, пиктограммы, буквы, иероглифы).

### 3. Соответствие между моделью и реальностью

#### *Соответствие между моделью и реальностью: различия.*

*Конечность моделей.* Мир бесконечен, как бесконечен любой объект. Любые ресурсы ограничены, т. е. конечны. Необходимо познавать бесконечный мир конечными средствами. Способ преодоления этого противоречия состоит в построении моделей. Абстрактные модели всегда конечны. Материальные модели бесконечны, но мы из бесконечного множества свойств модели выбираем лишь некоторые, интересующие нас свойства. Особенно наглядная в этом случае модель – цветок в явочной квартире в фильме «Семнадцать мгновений весны». Наличие или отсутствие цветка на подоконнике служит сигналом о провале или благополучии явочной квартиры.

Модель подобна оригиналу в конечном числе отношений. Рассмотрим те факторы, которые позволяют с помощью конечных моделей эффективно отображать бесконечную действительность.

*Упрощенность моделей.* Сама конечность моделей делает их упрощенность неизбежной. В человеческой практике упрощенность является допустимой. Упрощение является сильным средством для выявления главных эффектов в исследуемом явлении. Это видно на примере таких моделей в физике, как идеальный газ, абсолютно черное тело, математический маятник и т. д. Часто упрощение просто необходимо, например, уменьшение размерности, замена переменных величин постоянными – это навязанное ресурсное упрощение. Есть и еще один аспект. Почему-то из двух теорий правильной всегда оказывается та, которая проще. Можно предположить, что простота правильных моделей отражает некие глубинные свойства Природы. Итак, упрощенность моделей

основана как на свойствах мышления и ограниченности ресурсов моделирования, так и на свойствах самой Природы.

**Приближенность моделей.** Второй фактор, позволяющий преодолевать бесконечность мира, – это приближенность отображения действительности с помощью моделей. Различие само по себе не может быть ни большим, ни малым. Величину приемлемости различий мы можем оценить только исходя из цели моделирования.

**Адекватность моделей.** Модель, с помощью которой успешно достигается поставленная цель, будем называть адекватной. В ряде случаев удается ввести меру адекватности модели, т. е. указать способ сравнения двух моделей по степени успешности достижения цели с их помощью.

**Соответствие между моделью и реальностью: сходство.**

**Истинность моделей.** Об истинности, правильности или ложности модели самой по себе говорить бессмысленно. Только в практическом соотнесении модели с отображаемой ей натурой выявляется степень истинности. При этом изменение условий, в которых ведется сравнение, весьма существенно влияет на результат. Яркий пример – волновая и корпускулярная модели света или электрона: эти модели различны, противоположны и истинны, каждая в своих условиях. Важно отметить, что каждая модель явно или неявно содержит условия своей истинности, и одна из опасностей практики моделирования состоит в применении модели без проверки выполнения этих условий. В инженерной практике часто встречается именно такая ситуация.

**Сочетание истинного и ложного в модели.** Ошибки в предположениях имеют разные последствия для прагматических и познавательных моделей. Если ошибки в предположениях вредны для прагматических моделей, то при создании познавательных моделей предположения, истинность которых еще только предстоит проверить, – единственный способ оторваться от фактов. Можно сказать, что вся научная работа состоит в выдвижении и проверке гипотез.

**О динамике моделей.** Как и всё в мире, модели проходят свой жизненный цикл: они возникают, развиваются и уступают место более совершенным. Например, при проектировании новой технической системы ее модель развивается от результатов НИР по стадиям технического задания, эскизного и технического проекта, рабочего проекта, опытного образца, мелкой серии до модели, предназначенной для серийного производства.

**Сложности алгоритмизации моделирования.** Стремление к совершенству требует алгоритмизации. Однако в практике моделирования чаще всего не удается строго выдержать рекомендуемую последовательность действий. Более того, вообще не существует какого-то единого, пригодного для всех случаев алгоритма для работы с моделями. Это вызвано различными причинами.

Во-первых, модель функционирует в культурной среде и конкретное окружение каждой модели может настолько отличаться, что опыт работы с одной моделью не может без изменений переноситься на другую.

Во-вторых, требования, предъявляемые к модели, противоречивы: полнота противоречит ее простоте; точность – размерности; эффективность – затратам на

реализацию. Многое зависит от того, какой компромисс выбран при согласовании этих противоречивых требований.

В-третьих, невозможно предусмотреть все детали того, что произойдет в будущем с любой моделью. Начальные цели впоследствии могут оказаться неполными. Недостатки модели проще и легче обнаружить и исправить в ходе моделирования, чем предусмотреть их заранее.

На примере инженерной и научной практики можно показать, что даже там отсутствует четкий набор правил (т. е. алгоритм) моделирования, т. е. в общем случае процесс моделирования не формализуем. В нем, кроме осознанных, формализованных, технических и научных приемов, огромную и решающую роль играет то, что мы называем творчеством. В этом одна из главных причин невозможности полной формализации процесса моделирования.

## 4. Понятие системы

Центральной концепцией теории систем, кибернетики, системного подхода является понятие системы. Потребность в использовании понятия «система» возникла для объектов различной природы с древних времен: еще Аристотель обратил внимание на то, что целое (т. е. система) несводимо к сумме частей, его образующих. В частности, термин «система» и связанные с ним понятия системного анализа исследуются, подвергаются осмыслению учеными различных направлений: кибернетиками, физиками, экономистами и т. д. Солнечная система, система управления станком, экономическая система, в математике – система уравнений, система счисления подчеркивают упорядоченность, целостность, наличие определенных закономерностей.

Системы подразделяют на классы по различным признакам. В зависимости от решаемой задачи можно выбрать разные принципы классификации:

- по виду отображаемого объекта: технические, биологические, экономические и т. д.;
- по виду научного направления: математические, физические, химические;
- по поведению: детерминированные и стохастические;
- по поведению во времени: статические и динамические;
- по связям с внешней средой: открытые и закрытые;
- абстрактные и материальные.

### 4.1. Первое определение системы.

**Проблемы и системы.** Начнем с рассмотрения искусственных систем, создаваемых человеком с определенными целями. Проблемность существующего положения осознается в несколько стадий: от смутного ощущения, что что-то не так, к осознанию потребности, затем к выявлению проблемы и, наконец, к формулированию цели.

Цель – это субъективный образ (абстрактная модель) несуществующего, но желательного состояния среды, которое разрешило бы существующую проблему. Вся последующая деятельность направлена на достижение цели, т. е.

отбор из окружающей среды объектов и объединение этих объектов надлежащим образом в некоторую систему.

Другими словами – *система есть средство достижения цели*. Это и есть первое определение системы.

**Сложности выявления целей.** Известны случаи, когда созданная система полностью отвечала поставленным целям, но совершенно не удовлетворяла тех, кто эти цели формулировал. В инженерной практике момент постановки целей (формулирование технического задания) – один из важнейших этапов создания систем. Обычно цели оперативно уточняются уже в процессе проектирования.

#### 4.2. Модель «черного ящика».

**Компоненты «черного ящика».** В первом определении системы сделан акцент на назначение системы и ничего не говорится об ее устройстве. Поэтому ее модель можно изобразить в виде непрозрачного «ящика», выделенного из окружающей среды. Эта простая модель по-своему отражает два следующих важных свойства системы: целостность и обособленность от окружающей среды. Система связана со средой и с помощью этих связей воздействует на среду. Выходы в данной модели соответствуют слову «цель» в первом определении системы. Кроме того, система является средством, поэтому должны существовать и способы воздействия на нее – «входы». Мы построили модель системы, которая получила название «черного ящика» (рис. 4.1). Такая модель часто оказывается полезной.



Рисунок 4.1 – Модель «черного ящика»

Пытаясь максимально формализовать модель «черного ящика», мы приходим к заданию двух множеств  $X$  и  $Y$  – входных и выходных переменных, но никаких других отношений между множествами не фиксируем.

#### **Сложности построения модели «черного ящика».**

**Пример 1.** Наручные часы – перечень всех выходов (целей).

1. Показание времени в произвольный момент.
2. Удобство ношения часов.
3. Требования санитарии и гигиены.
4. Прочность.
5. Пыле-, влагонепроницаемость.
6. Точность.
7. Наглядность показаний.
8. Вес.
9. Эстетические требования.

10. Цена.
11. Снятие показаний в темноте.
12. Функция будильника и т. д.

*Пример 2.* Входы легкового автомобиля (управляющие воздействия).

1. Руль.
2. Сцепление, газ и тормоз.
3. Рычаг коробки передач.
4. Освещение и сигнализация.
5. Ручка стояночного тормоза.
6. Регулировочные винты.
7. Точки смазки и заправочные отверстия.
8. Двери салона, багажник и капот.
9. Окна и зеркала.
10. Механическое воздействие грунта на колеса.
11. Поле тяготения Земли.
12. Температура окружающего воздуха.
13. Аэродинамическое сопротивление воздуха.
14. Силы инерции и т. д.

Рассмотренные примеры показывают, что построение модели «черного ящика» не является тривиальной задачей, так как на вопрос о том, сколько и какие именно входы и выходы следует включать в модель, ответ далеко не прост и не однозначен. Установим причины этого факта.

**Множественность входов и выходов.** Главной причиной множественности входов и выходов в модели «черного ящика» является то, что всякая реальная система взаимодействует с окружающей средой неограниченным числом способов. Строя модель системы, мы из этого множества связей отбираем конечное их число для включения в список входов и выходов. Критерием отбора при этом является целевое назначение модели, существенность той или иной связи по отношению к этой цели. Часто оказывается, что казавшееся несущественным или неизвестным для нас, на самом деле важно и должно быть учтено.

Особое значение это имеет при задании целей системы, т. е. при определении ее выходов. Реальная система вступает во взаимодействие со всеми объектами окружающей среды, поэтому важно, как можно раньше учесть все наиболее важное. В результате главную цель приходится сопровождать заданием дополнительных целей. В частности, пассажирский самолет должен не только летать, но и обеспечивать комфорт и безопасность пассажиров; не создавать сильного шума при взлете и посадке; не требовать слишком длинных ВПП; быть выгодным в эксплуатации и т. д.

**Важно подчеркнуть, что выполнения только основной цели недостаточно, что невыполнение дополнительных целей может сделать ненужным или даже вредным и опасным достижение основной цели.** Этот момент заслуживает особого внимания, т. к. на практике часто обнаруживается

незнание, непонимание или недооценка важности указанного положения. Между тем оно является одним из центральных во всей системологии.

#### **4.3. Модель состава системы.**

**Компоненты модели состава.** Целостность и обособленность выступают как важнейшие свойства системы. Внутренность «ящика» оказывается неоднородной, что позволяет различать составные части системы. При более детальном рассмотрении некоторые части системы могут быть также разбиты на составные части и т. д. Те части системы, которые мы рассматриваем как неделимые, будем называть элементами. Части системы, состоящие более чем из одного элемента, назовем подсистемами. При необходимости можно ввести обозначения, указывающие на иерархию частей (например, подсистема  $n$ -го уровня).

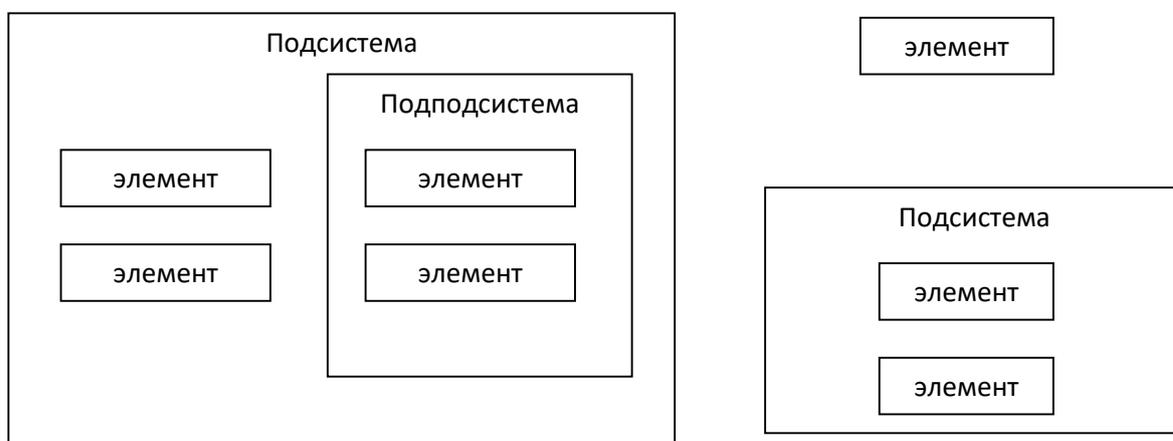


Рисунок 4.2 – Модель состава системы

**Сложности построения модели состава.** Если дать разным экспертам задание определить состав одной и той же системы, то результаты их работы будут отличаться и иногда довольно значительно. Существует, по крайней мере, три причины этого факта.

Во-первых, понятие элементарности можно определить по-разному. То, что с одной точки зрения является элементарным, с другой оказывается подсистемой.

Во-вторых, как и любые модели, модель состава является целевой, и для различных целей один и тот же объект потребуется разбить на разные части.

В-третьих, всякое разделение целого на части является относительным, в определенной степени условным. Это относится и к границам между самой системой и окружающей средой. Один и тот же завод для директора, главного бухгалтера, начальника пожарной охраны состоит из совершенно различных подсистем.

#### 4.4. Модель структуры системы.

Совокупность необходимых и достаточных для достижения цели отношений (связей) между элементами называется **структурой системы**.

**Отношения и структуры.** Между реальными элементами системы может быть бесконечное количество отношений. Однако, когда мы рассматриваем некоторую совокупность объектов как систему, то из всех отношений важными, т. е. существенными для достижения цели, являются лишь некоторые. Таким образом, в модель структуры мы включаем только конечное число связей, которые существенны для достижения цели.

*Пример 1.* При расчете механизма не учитываются силы взаимного притяжения его деталей.

*Пример 2.* Выделение языковых конструкций, выражающих отношения (типа находиться на (под, около), быть причиной, быть подобным, быть одновременно, состоять из, двигаться к (от, вокруг) и т. п.) привело к выводу, что в английском, итальянском и русском языках число выражаемых отношений примерно одинаково и несколько превышает 200.

#### 4.5. Второе определение системы. Структурная схема системы.

Объединяя все изложенное в предыдущих разделах, можно сформулировать второе определение системы. **Система есть совокупность взаимосвязанных элементов, обособленная от среды и взаимодействующая с ней как целое.**

**Структурная схема как соединение моделей.** Это определение охватывает модели «черного ящика», состава и структуры. Все вместе они образуют модель, которая называется структурной схемой системы («белый ящик», «прозрачный ящик»). В структурной схеме указываются все элементы системы, все связи между элементами внутри системы и связи определенных элементов с окружающей средой (входы и выходы системы).

*Пример.* Структурная схема системы «синхронизируемые часы».

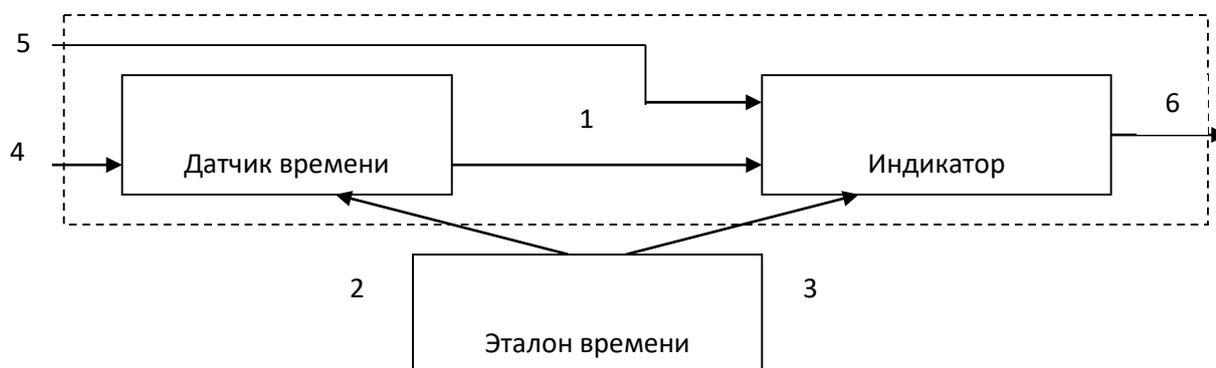


Рисунок 4.3 – Структурная схема системы «синхронизируемые часы»:

1 – связь «датчик-индикатор» – однозначное соответствие; 2 – связь «эталон-датчик» – приблизительное соответствие; 3 – связь «индикатор-эталон» – периодическое сравнение и устранение расхождений; 4 – поступление энергии извне – вход системы; 5 – регулировка индикатора – вход системы; 6 – показание часов – выход системы

Все структурные элементы имеют нечто общее, и это побудило математиков рассматривать их как объект математических исследований, что привело к созданию теории графов, которая рассматривает только наличие элементов и связей между ними, абстрагируясь от свойств конкретных систем.

Одной структурной информации, которая содержится в графах, часто оказывается недостаточно. В таких случаях методы теории графов играют вспомогательную роль, а главным является рассмотрение конкретных функциональных связей между входными, внутренними и выходными параметрами системы.

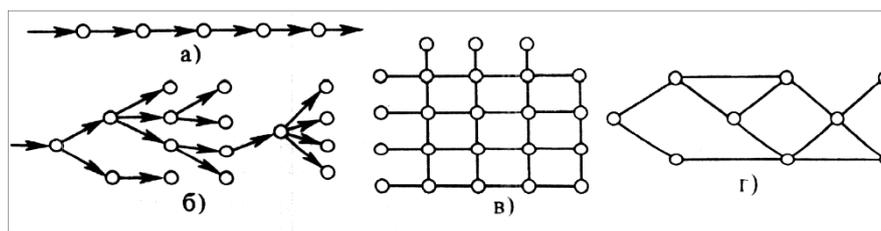


Рисунок 4.4 – Графы, соответствующие различным структурам:  
 а) линейная структура; б) древовидная структура;  
 в) матричная структура; г) сетевая структура

#### 4.6. Динамические модели систем.

**Отображение динамики моделей.** Системы, в которых происходят изменения со временем, называют динамическими, а модели, отображающие эти изменения, – динамическими моделями систем. Для разных систем разработано большое количество динамических моделей – от самого общего понятия динамики до формальных математических моделей конкретных процессов – уравнения движения в механике, волновые уравнения в теории поля и т. д.

**Функционирование и развитие.** Уже на этапе «черного ящика» различают два типа динамики системы: *ее функционирование и развитие.*

**Под функционированием** понимают процессы, которые происходят в системе и окружающей среде при реализации фиксированных целей.

**Развитием** называют то, что происходит с системой при изменении ее целей.

Характерной чертой развития является тот факт, что существующая структура перестает соответствовать новой цели и для обеспечения новой функции приходится изменять структуру, а иногда и состав системы.

**Типы динамических моделей.** Следует различать части, этапы происходящего процесса, рассматривать их взаимосвязи.

Типы динамических моделей такие же, как и статических, только элементы этих моделей имеют временной характер. Например, динамический вариант «черного ящика» – указание начального («вход») и конечного («выход») состояния системы (например, как в пятилетнем плане).

Модели состава соответствует перечень этапов в некоторой упорядоченной последовательности действий. Например, доказано, что любой

алгоритм можно построить, используя всего три оператора: «выполнить», «если то», «пока». Динамический вариант «белого ящика» – это подробное описание происходящего или планируемого процесса. В промышленности для этого широко используются сетевые графики. Те же типы моделей прослеживаются и при более глубокой формализации динамических моделей.

#### **4.7. Большие и сложные системы.**

**Большая система** – система, моделирование которой затруднено вследствие ее размерности (большого количества элементов).

**Сложная система** – система, в которой не хватает информации для эффективного управления.

Можно разделять системы следующим образом:

1. Малые простые (исправные бытовые приборы – утюг, часы, холодильник и т. д.).
2. Малые сложные (неисправные бытовые приборы – для пользователя).
3. Большие простые (шифрзамок для похитителя).
4. Большие сложные (мозг, экономика, живой организм).

#### **4.8. Искусственные и естественные системы.**

Один из основных признаков системы состоит в ее структурированности, в целесообразности связей между элементами. Понятное и очевидное, если речь идет о системах, созданных человеком, такое определение системы приводит к сложным вопросам, когда приходится сталкиваться с естественной структурированностью реальных природных объектов. Как красиво и правильно растут кристаллы! Как стройна наша Солнечная система! Как целесообразно устроены живые организмы! Явно налицо необходимые признаки систем. Но в таком случае мы должны вернуться к первому определению системы и поставить перед собой вопрос: на достижение каких целей направлено функционирование этих систем и если такие цели существуют, то кто их поставил? Попробуем последовательно придерживаться принятой точки зрения.

Признаем, во-первых, первое и второе определения системы, а во-вторых, что окружающий мир состоит из структурированных объектов, имеющих связанные между собой части. Следовательно, всякая система есть объект, но не всякий объект есть система.

Если рассматривать системы только как создаваемые человеком средства для достижения поставленных им целей, то все остальные природные предметы и их совокупности являются естественными объектами, познанные свойства которых человек может использовать, включая их в искусственные системы. Такое ограничительное толкование понятия «система» наталкивается на ряд трудностей:

- наличие у естественных объектов структурированности и упорядоченной взаимосвязанности их частей – характерных признаков системы;
- необходимость отрицать системность искусственного сооружения, как только неизвестна цель, ради которой оно создано;
- невозможность признания системности самого человека и всей природы.

Эти сложности исчезают, если признать не только то, что искусственная система остается системой, даже если ее цель неизвестна, но и то, что вся природа объективно системна, т.е. что наряду с искусственными существуют естественные системы. Эта идея требует обобщения понятия цели – *наряду с целями субъективными (желательными состояниями) вводится понятие объективной цели как будущего реального состояния, в которое объект придет через какое-то время.*

Означает ли это, что «не систем» не существует? Чтобы акцентировать внимание на особенностях системного подхода, скажем без оговорок: да, означает. Другое дело, что мы можем рассматривать некий объект и обращаться с ним, не полностью считаясь или совсем не считаясь с его системностью. Рано или поздно недостаточная системность нашего подхода выльется в появление проблем.

### **Контрольные вопросы:**

1. Модель есть отображение – для кого?, зачем?, чего?, каким способом?
2. Что заставляет нас пользоваться моделями вместо моделируемых объектов?
3. Какие функции выполняют модели во всякой целесообразной деятельности?
4. Укажите отличия между познавательными и прагматическими моделями.
5. Какими средствами располагает человек для построения моделей?
6. Что общего между моделью и оригиналом при косвенном подобии?
7. Чем объясняется существование различных определений системы?
8. От чего зависит количество входов и выходов «модели «черного ящика» для данной системы?
9. Какими признаками должна обладать часть системы, чтобы ее можно было считать элементом?
10. Какова связь между вторым определением системы и ее структурной схемой?
11. Какие особенности системы отражены в ее графе и какие свойства системы не отображаются данной моделью?
12. Какие приемы могут повысить степень полноты содержательной модели системы?

## **ЛЕКЦИЯ № 5. РОЛЬ ИЗМЕРЕНИЙ В СОЗДАНИИ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМ**

1. Свойства системы.
2. Эксперимент и модель.
3. Измерения и шкалы.
4. Шкалирование и оценивание.

## 1. Свойства системы

Свойство относится к трудно определяемым понятиям. Возьмем за основу определение, данное в философском словаре.

***Свойство** – сторона объекта, обуславливающая его различие или сходство с другими объектами, проявляющееся во взаимосвязи с ними.*

Для характеристики свойства используется понятие «параметр». Когда говорят о *входных* или *выходных параметрах* системы, имеют в виду значения ее входных или выходных переменных, а говоря о *внутренних параметрах* системы, имеют в виду значения ее внутренних свойств.

Свойства имеют следующие основные особенности:

- всякое свойство относительно. По отношению к дереву железо твердое, а по отношению к алмазу – мягкое;

- каждая вещь обладает бесчисленным количеством свойств, совокупность которых означает ее качество, для каждого конкретного исследования существенны только некоторые из них. Следовательно, существенность тех или иных свойств может меняться с изменением цели исследования;

- свойства дают возможность оценивать и сравнивать системы с помощью измерительных шкал;

- свойства вещей присущи самим вещам, т. е. объективны. Отделить их от вещей можно лишь мысленно.

В системном анализе большое внимание уделяется так называемым интегративным свойствам.

***Интегративные свойства** – свойства, которые имеются у системы в целом, но отсутствуют у ее элементов.*

Интегративное свойство отражает сущность системы. Оно чаще всего и является объектом системного исследования.

## 2. Эксперимент и модель

Сам по себе эксперимент представляет собой один из способов, причем самых дорогостоящих, целенаправленного получения (а иногда сбора) информации, необходимой для доказательства или опровержения выдвинутой при исследовании гипотезы, которую нельзя получить никаким другим способом.

***Под экспериментом понимают** “помещение” объекта исследования в специальные условия, наблюдение за его поведением, обусловленным изменением условий, и фиксацию информации (показателей), отражающей это поведение. Исходя из результатов наблюдений выдвинутая гипотеза может быть подтверждена или опровергнута. Эксперимент осуществляют чаще всего по оригинальным, тщательно продуманным методикам.*

Из приведенной схемы на рисунке 5.1 видно, что эксперимент выступает в качестве одного из этапов исследования. Но этапа важного настолько, что его

роль гипертрофируют до масштабов самостоятельного исследования, включая в него предшествующие и последующие этапы.

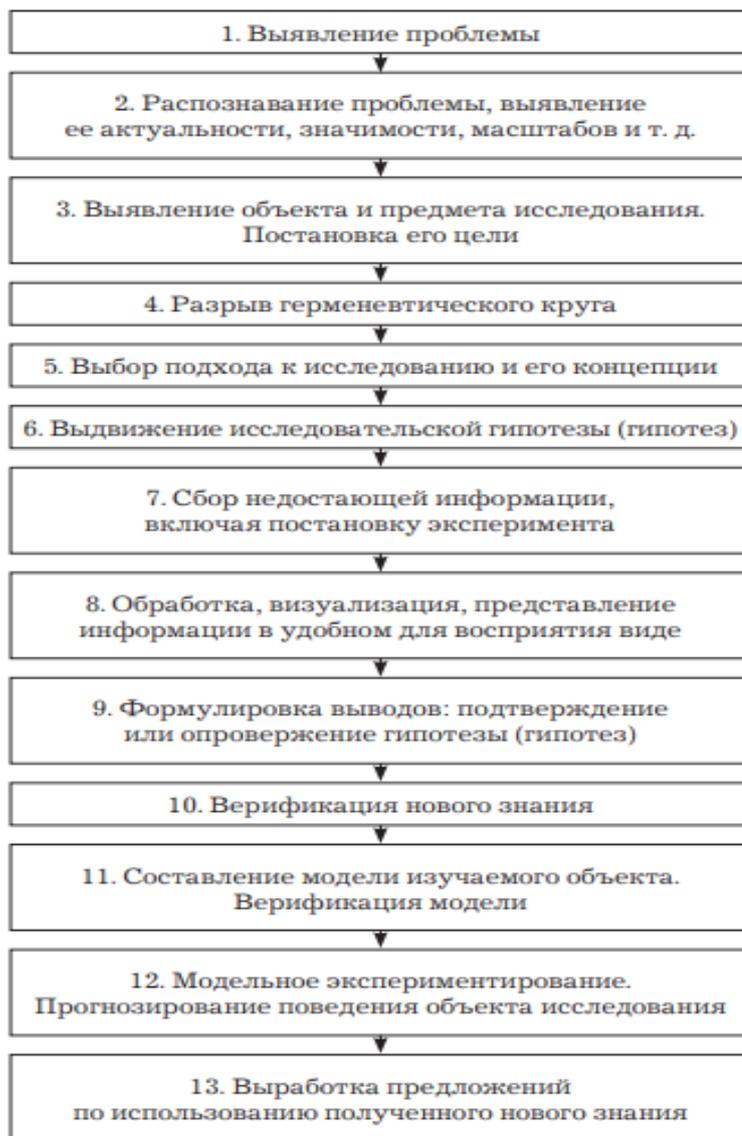


Рисунок 5.1 – Обобщенная схема исследования

Зачастую эксперимент рассматривают как синоним понятия “исследование”. Между тем сам по себе эксперимент представляет собой один из способов целенаправленного получения (а иногда сбора) информации.

Эксперимент с некоторым объектом проводится, чтобы уточнить или построить модель этого объекта, поэтому постановка эксперимента определяется имеющейся до опыта моделью. Это полностью относится и к экспериментальному исследованию систем. В изначальном смысле отношение между экспериментом и моделью такое же, как и между курицей и яйцом: они находятся в одном цикле, и нельзя определить, «что было в самом начале».

*Рассмотрим возможности опытов с системами.* Начнем с модели «черного ящика». Выбор именно этих входов и выходов и есть построение модели, которая и будет определять организацию опыта. Если мы только

регистрируем события на выбранных входах и выходах, то опыт называется пассивным экспериментом (или наблюдением). Если мы как-то воздействуем на входы и выходы, то опыт называется активным (или управляемым) экспериментом.

Результаты опытов регистрируются с помощью измерений. Важно, что современное понятие измерения существенно шире только количественного измерения. Оставив неизменным принцип проверки адекватности модели на опыте, современный подход позволил расширить понятие измерения, по крайней мере, в четырех отношениях.

**Современное понятие эксперимента.**

1. Существуют наблюдаемые явления, в принципе не допускающие числовой меры (например, количество материнской любви), но которые можно фиксировать в «слабых», «качественных» шкалах и эти результаты учитывать в моделях, получая качественные, но вполне научные результаты.

2. Расплывчатость некоторых наблюдений также признана их неотъемлемым природным свойством, которому придана строгая математическая форма, и разработан формальный аппарат работы с такими наблюдениями.

3. Осознано, что погрешности измерений являются не только чем-то побочным для измерений, но и неотъемлемым, естественным и неизбежным свойством самого процесса измерения. Проверяемыми на практике должны быть не только гипотезы об исследуемой модели, но и гипотезы об ошибках измерения.

4. Широкое распространение получили статистические измерения.

Для обеспечения достоверности результатов многофакторного моделирования приходится существенно увеличивать количество отдельных наблюдений (или опытов), а также точность измерений по ним. Представление о масштабах такого увеличения дают данные таблицы 5.1, составленные для 95 % - ного уровня достоверности.

Величина  $q$  представляет собой отношение достоверной оценки точности и ожидаемого эмпирического стандарта ошибки. Для того чтобы избежать столь значительного объема опытной работы, а также решения ряда других задач, предложено использовать предварительное *планирование эксперимента*.

Таблица 5.1 – Изменение потребности в наблюдениях (опытах) в зависимости от точности измерений и желаемой точности результатов

Значения показателя (q)	1,0	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,05
Требуемое количество опытов (n)	7	18	27	46	99	387	1540

*Под планированием эксперимента понимают совокупность приемов, позволяющих разумно поставить эксперимент, сообразуясь с целью*

исследования, со стремлением получить максимум информации при ограниченном числе опытов, а также правильно обработать и интерпретировать результаты эксперимента. Эти приемы применяют на начальных и конечных этапах исследования.

Планирование осуществляется по отношению так называемых активных экспериментов. *Под активным экспериментом* понимают такой, в котором уровни (значения) факторов в каждом отдельном опыте задаются исследователем в соответствии с определенным планом (рис. 5.2).

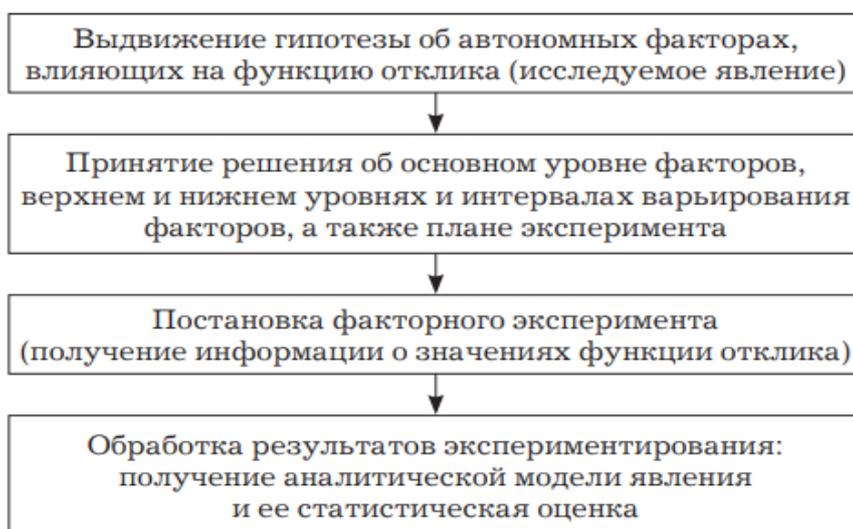


Рисунок 5.2 – Примерный алгоритм планирования эксперимента

Под пассивным – такой, в котором уровни факторов в каждом опыте регистрируются исследователем, но не задаются.

К учитываемым в процессе активных экспериментов факторам предъявляются два требования: быть независимыми один от другого и совместимыми. Факторы рассматриваются независимыми, если экспериментатор имеет возможность установить значение любого из них на нужном ему уровне (значении) независимо от уровней остальных факторов.

Факторы рассматриваются совместимыми, если имеется возможность реализации в эксперименте любых комбинаций уровней факторов в пределах допустимых значений.

При проведении активных многофакторных экспериментов возможны два способа их постановки. При первом – влияние независимых факторов (факторов-аргументов) на независимый (фактор-функцию) оценивается поочередно: сначала варьируется один из них, при этом сохраняют неизменными уровни всех остальных факторов; потом аналогично варьируется только второй фактор, затем третий и т. д.

При втором способе – при переходе к каждому последующему опыту изменяют уровни не одного, а сразу нескольких факторов, т. е. одновременно варьируются все или почти все факторы. При этом составляются планы факторных экспериментов, полные или дробные (реплики от него).

### 3. Измерения и шкалы

В основе любого наблюдения и анализа лежат *измерения*. Измерение можно определить, как представление свойств объекта с помощью каких-либо символов (чисел, номеров, букв, знаков) или образов (графических, вербальных, музыкальных). Дадим более строгое определение измерения.

***Измерение – это алгоритмизированная операция, которая данному наблюдаемому свойству (состоянию) объекта (процесса, явления) ставит в соответствие определенное обозначение: число, номер или символ.***

Результаты измерений содержат информацию о наблюдавшемся объекте. Количество информации зависит от степени полноты этого соответствия и разнообразия вариантов. Нужная нам информация получается из результатов измерений с помощью их преобразований. Совершенно ясно, что чем теснее соответствие между состояниями и их обозначениями, тем больше информации можно извлечь в результате обработки данных. Менее очевидно, что степень этого соответствия зависит не только от организации измерений, но и от природы исследуемого явления, и что сама степень соответствия определяет допустимые и недопустимые способы обработки данных.

Множество обозначений, используемых для регистрации свойств наблюдаемого объекта, называется ***измерительной шкалой***.

Измерительные шкалы в зависимости от допускаемых на них операциях различают по силе. Самые слабые – номинальные шкалы, а самые сильные – абсолютные.

***Выделяют три основных атрибута измерительных шкал***, наличие или отсутствие которых определяет принадлежность шкалы к той или иной категории:

1) ***упорядоченность*** данных означает, что один пункт шкалы, соответствующий измеряемому свойству, больше, меньше или равен другому пункту;

2) ***интервальность пунктов шкалы*** означает, что интервал между любой парой чисел, соответствующих измеряемым свойствам, больше, меньше или равен интервалу между другой парой чисел;

3) ***нулевая точка (точка отсчета)*** означает, что набор чисел, соответствующих измеряемым свойствам, имеет точку отсчета, принимаемую за ноль, что соответствует полному отсутствию измеряемого свойства.

Кроме того, выделяют следующие группы измерительных шкал:

- не метрические, или качественные, шкалы, в которых отсутствуют единицы измерений (номинальная и порядковая шкалы);

- метрические, или количественные, шкалы (шкала интервалов, отношений и абсолютная шкала).

Для качественных шкал (в меньшей степени для количественных) можно выделить две группы измерений:

Объективные шкалы – объективные измерения, в которых результат не зависит от субъекта;

Субъективные шкалы (иногда психологическими или психофизическими) – субъективные измерения, при которых результат зависит от субъективной оценки.

Рассмотрим только такие объекты, про любые два состояния которых можно сказать, различимы они или нет, и только такие алгоритмы измерения, которые различным состояниям ставят в соответствие разные обозначения, а неразличимым состояниям – одинаковые обозначения. Это означает, что как состояния объекта, так и их обозначения удовлетворяют следующим аксиомам тождества:

1<sup>0</sup>. Либо  $A=B$ , либо  $A \neq B$ ;

2<sup>0</sup>. Если  $A=B$ , то  $B=A$ ;

3<sup>0</sup>. Если  $A=B$  и  $B=C$ , то  $A=C$ .

### ***Шкала наименований.***

Предположим, что число различных состояний конечно. Каждому классу эквивалентности поставим в соответствие обозначение, отличное от обозначений других классов. Тогда измерение будет состоять в том, чтобы, проведя эксперимент над объектом, определить принадлежность результата к тому или иному классу эквивалентности и записать это с помощью символа, обозначающего данный класс. Такое измерение называется измерением в шкале наименований.

Шкала наименований (номинальная, классификационная) представляет собой конечный набор обозначений для никак не связанных между собой состояний (свойств) объекта. Такая шкала вводится при классификации объектов по каким-либо признакам.

Шкала наименований используется для измерения значений качественных признаков. Значением такого признака является наименование так называемого *класса эквивалентности*, к которому принадлежит рассматриваемый объект.

В шкале отсутствуют все главные атрибуты измерительных шкал, а именно упорядоченность, интервальность, нулевая точка. Измерение будет состоять в том, чтобы, во-первых, определить принадлежность результата оценки состояния объекта к той или иной группе (классу эквивалентности); во-вторых, записать это с помощью символа (набора символов), обозначающего данное состояние.

Это самая простая шкала из тех, что могут рассматриваться как измерительные, хотя фактически эта шкала не ассоциируется с измерением и не связана с понятием «величина». Она используется только с целью отличить один объект от другого.

Разновидностью номинальной шкалы можно считать *дихотомическую шкалу*, содержащую только две категории, например, мужской и женский пол, правая и левая рука.

Если классифицируются дискретные по своей природе объекты и явления, то естественнее всего использовать шкалу наименований.

*Примеры.* Для обозначения в номинальной шкале могут быть использованы: – слова естественного языка (например, географические названия, собственные

имена людей и т. д.);

– произвольные символы (гербы и флаги государств, эмблемы родов войск, всевозможные значки и т. д.);

– номера (регистрационные номера автомобилей, номера официальных документов, номера на майках спортсменов);

– различные комбинации слов, символов, номеров (например, почтовые адреса, экслибрисы личных библиотек, печати и пр.).

Необходимо понимать, что обозначения классов – это только символы, даже если для этого использованы номера. С этими номерами нельзя обращаться как с числами – это только цифры. Номера обладают свойством упорядоченности только благодаря предписанию или договоренности, к ним не применимы математические операции. Числа же обладают свойством упорядоченности в силу реальных свойств упорядоченных объектов.

*Пример.* Если у одного спортсмена на спине номер 1, а другого – 2, то никаких других выводов, кроме того, что это разные участники соревнований, делать нельзя. Так, нельзя сказать, что второй «в два раза лучше».

Необходимость классификации возникает и в тех случаях, когда классифицируемые состояния образуют непрерывное множество. Задача сводится к предыдущей, если все множество разбить на конечное число подмножеств. Однако условность введенных классов рано или поздно проявится на практике. Например, возникают трудности при точном переводе с одного языка на другой при описании цветовых оттенков (в английском языке голубой, лазоревый и синий цвета не различаются).

При обработке экспериментальных данных, зафиксированных в номинальной шкале, непосредственно с самими данными *можно выполнять операцию проверки их совпадения* (несовпадения), а также соответствие измерения какому-либо классу эквивалентности.

*Над множеством результатов измерений* в номинальной шкале можно выполнять некоторые действия:

- считать число попаданий в заданный класс;

- вычислять относительные частоты попадания измерений в разные классы.

***Порядковые шкалы.*** В тех случаях, когда измеряемый признак состояния имеет природу, не только позволяющую отождествлять состояния с одним из классов эквивалентности, но и дающую возможность в каком-то отношении сравнивать разные классы, для измерений можно выбрать более сильную шкалу, чем номинальная.

Такой шкалой является ***порядковая (или ранговая) шкала***. Этот класс шкал появляется, если кроме аксиом тождества  $1^0 - 3^0$  классы удовлетворяют следующим аксиомам упорядоченности:

4<sup>0</sup>. Если  $A > B$ , то  $B < A$ ;

5<sup>0</sup>. Если  $A > B$  и  $B > C$ , то  $A > C$ .

Обозначив такие классы символами и установив между этими символами те же отношения порядка, мы получим ***шкалу простого порядка***. Примерами применения такой шкалы являются: нумерация очередности, воинские звания, призовые места на соревнованиях.

Иногда оказывается, что не каждую пару классов можно упорядочить по предпочтению: некоторые пары считаются равными. В этом случае аксиомы  $4^0$  и  $5^0$  видоизменяются:

$4^1$ . Либо  $A \leq B$ , либо  $A \geq B$ ;

$5^1$ . Если  $A \geq B$  и  $B \geq C$ , то  $A \geq C$ .

Шкала, соответствующая аксиомам  $4^1$  и  $5^1$ , называется *шкалой слабого порядка*. Примером шкалы слабого порядка служит упорядочение по степени родства с конкретным лицом (мать = отец > сын = дочь) и т. д.

Иная ситуация возникает, когда имеются пары классов, несравнимые между собой, т. е. ни  $A \leq B$ , ни  $B \leq A$ . В этом случае говорят о *шкале частичного порядка*. Такие шкалы часто возникают в социологических исследованиях субъективных предпочтений. Например, при изучении покупательского спроса субъект часто не в состоянии оценить, какой именно из двух разнородных товаров ему больше нравится (клетчатые носки или фруктовые консервы).

*Характерной особенностью порядковых шкал является то, что отношение порядка ничего не говорит о дистанции между сравниваемыми классами. Поэтому порядковые экспериментальные данные, даже если они изображены цифрами, нельзя рассматривать как числа, над ними нельзя выполнять действия, которые приводят к получению разных результатов при преобразовании шкалы, не нарушающей порядка.* Например, нельзя вычислять выборочное среднее порядковых измерений, т. е.

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i,$$

так как переход к монотонно преобразованной шкале  $x' = f(x)$ , при усреднении даст:

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x'_i \neq \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i.$$

Однако допустима операция, позволяющая установить, какое из двух наблюдений  $x_i$  или  $x_j$  предпочтительнее, хотя формально эту операцию мы можем выразить через разность  $x_i - x_j$ .

Введем *индикатор положительных чисел* – функцию  $C(t) = \{1: t \geq 0; 0: t < 0\}$ . Тогда, если  $x_i \geq x_j$  и мы ввели цифровую шкалу порядка, то  $C(x_i - x_j) = 1$ , а  $C(x_j - x_i) = 0$ , что и позволяет установить предпочтительность  $x_i$  перед  $x_j$ . Число  $R_i = \sum_{j=1}^n C(x_i - x_j)$ , где  $n$  – число сравниваемых объектов ( $1 \leq R_i \leq n$ ), называется *рангом  $i$ -го объекта*. (Отсюда происходит другое название порядковых шкал – *ранговые*).

Итак, при измерениях в порядковых (в строгом смысле) шкалах обработка данных должна основываться только на допустимых для этих шкал операциях – вычисления  $\delta_{ij} = \{1: x_i = x_j; 0: x_i \neq x_j\}$  и  $R_i = \sum_{j=1}^n C(x_i - x_j)$ . С этими числами можно «работать» дальше уже произвольным образом:

- кроме нахождения частот и мод (как и для номинальной шкалы) появляется возможность определить выборочную медиану (т. е. наблюдение с рангом  $R_i$ , ближайшим к числу  $n/2$ );
- можно разбить всю выборку на части в любой пропорции, находя выборочные квантили любого уровня  $p$ ,  $0 < p < 1$  (т. е. наблюдения с рангом  $R_i$  ближайшим к величине  $np$ );
- можно определить коэффициенты ранговой корреляции между двумя сериями порядковых наблюдений;
- строить с помощью полученных величин другие статистические процедуры.

**Модифицированные порядковые шкалы.** Существуют и используются на практике порядковые шкалы, но не в таком строгом смысле, о котором мы говорили выше. При этом иногда с полученными данными начинают обращаться как с числами, даже если произведенная модификация не выводит шкалу из класса порядковых. Это сопряжено с ошибками и неправильными решениями. Рассмотрим некоторые из известных модификаций.

**Шкала твердости по Моосу.** В 1811 г. немецкий минералог Ф. Моос предложил установить шкалу твердости, установив 10 ее градаций. За эталон приняты следующие минералы с возрастающей твердостью: 1 – тальк, 2 – гипс, 3 – кальций, 4 – флюорит, 5 – апатит, 6 – ортоклаз, 7 – кварц, 8 – топаз, 9 – корунд, 10 – алмаз. Шкала Мооса устанавливает отношение слабого порядка, т. к. промежуточных градаций твердости она не имеет. Нельзя говорить, что алмаз в 2 раза тверже апатита или что разница в твердости флюорита и гипса такая же, как у корунда и кварца.

**Шкала силы ветра по Бофорту.** В 1806 г. английский гидрограф и картограф адмирал Ф. Бофорт предложил балльную шкалу силы ветра, определяя ее по характеру волнения моря: 0 – штиль, 4 – умеренный ветер, 6 – сильный ветер, 10 – шторм, 12 – ураган. Кроме штиля градации силы ветра имеют условный, качественный характер. При этом нельзя утверждать, что шестибалльный ветер сильнее в два раза трехбалльного.

**Балльные шкалы оценки знаний учащихся.** Потребность общества в официальном определении степени квалифицированности проходящих обучение, независимо от того, где, когда и как они получают образование, способствовала введению общепринятых балльных шкал: (2-балльных, 5-балльных, 30-балльных). Мало кто понимает, что балльная шкала принадлежит к классу порядковых. Дело доходит до того, что выводится среднеарифметический балл – величина, не имеющая смысла в порядковой шкале.

**Шкалы интервалов.** Если упорядочивание объектов можно выполнить настолько точно, что известны расстояния между любыми двумя из них, то измерение окажется заметно сильнее, чем в шкале порядка. При этом равные интервалы измеряются одинаковыми по длине отрезками шкалы, где бы они на ней не располагались. Следовательно, отношение двух интервалов не зависит от того, в какой из шкал они измерены и какое значение принято за начало отсчета. Построенные таким образом шкалы называются интервальными.

*Шкала интервалов (интервальная шкала)* в отличие от предыдущих качественных шкал является количественной шкалой. Эта шкала применяется, когда упорядочивание значений измерений можно выполнить настолько точно, что известны интервалы между любыми двумя из них.

Примерами величин, которые по физической природе не имеют абсолютного нуля, или допускают свободу выбора начала отсчета и поэтому измеряются в интервальных шкалах, являются температура, время, высота местности. Начало летоисчисления у христиан установлено от рождества Христова, у мусульман – на 622 года позднее – от переезда Мухаммеда в Медину. В астрономии существует шесть определений года.

Название «шкала интервалов» подчеркивает, что в этой шкале **только интервалы имеют смысл настоящих чисел** и только над интервалами можно выполнять арифметические операции: если произвести арифметические операции над самими отсчетами по шкале, забыв об их относительности, то имеется риск получить бессмысленные результаты. Например, если сказать, что температура воды увеличилась в 2 раза при ее нагреве от  $9^\circ$  до  $18^\circ$  по шкале Цельсия, то для тех, кто привык пользоваться шкалой Фаренгейта, это будет звучать весьма странно, так как в этой шкале температура воды изменится от  $37^\circ$  до  $42^\circ$ .

*Подобно тому, как определение значения символа Кронекера является единственной допустимой операцией над наблюдениями в номинальной шкале, а вычисление ранга наблюдения – в порядковой шкале, в интервальной шкале единственной новой допустимой операцией над наблюдениями является определение интервала между ними.* Над интервалами же можно выполнять любые арифметические операции, а вместе с ними – использовать подходящие способы статистической и иной обработки данных.

**Шкалы разностей.** К таким шкалам относятся циклические или периодические шкалы. В таких шкалах измеряется направление из одной точки (шкала компаса, роза ветров), время суток, фаза колебаний. Циклические шкалы являются частным случаем интервальных шкал. Однако соглашение о хотя и произвольном, но едином для нас начале шкалы, позволяет использовать показания в этой шкале как числа, применять к ним арифметические действия сложения и вычитания.

В такой шкале значение не изменяется при любом числе сдвигов (рис. 5.3):

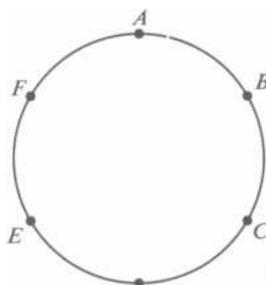


Рисунок 5.3. – Шкала разностей  $y = x + nb$ , где  $n = 0, 1, 2, \dots$  – число сдвигов;  $b$  – период шкалы

*Пример.* В таких шкалах измеряется направление из одной точки (шкала компаса, роза ветров и т. д.), время суток (циферблат часов), фаза колебаний (в градусах или радианах).

Начало отсчета шкалы разностей произвольно и едино позволяет использовать показания в этой шкале как числа, применять к ним арифметические действия (до тех пор, пока кто-нибудь «не забудет» об условности нуля, например, при переходе на летнее время или обратно).

**Шкалы отношений.** Пусть наблюдаемые величины удовлетворяют не только аксиомам  $4^0$  и  $5^0$ , но и аксиомам аддитивности:

$6^0$ . Если  $A=P$  и  $B>0$ , то  $A+B>P$ ;

$7^0$ .  $A+B=B+A$ ;

$8^0$ . Если  $A=P$  и  $B=Q$ , то  $A+B=P+Q$ ;

$9^0$ .  $(A+B)+C=A+(B+C)$ .

**Это существенное усиление шкалы: измерения в такой шкале являются «полноправными» числами, с ними можно выполнять любые арифметические действия.** Введенная таким образом шкала называется шкалой отношений. Этот класс шкал обладает следующей особенностью: *отношение двух наблюдаемых значений измеряемой величины не зависит от того, в какой из этих шкал произведены измерения.* Величины, измеряемые в шкале отношений, имеют естественный абсолютный ноль, хотя остается свобода в выборе единиц. Примерами величин, природа которых соответствует шкале отношений, являются: длина, вес, электрическое сопротивление, деньги.

**Абсолютная шкала.** Рассмотрим такую шкалу, которая имеет и абсолютный ноль, и абсолютную единицу. Эта шкала уникальна. Именно такими качествами обладает числовая ось, которую естественно назвать абсолютной шкалой. Важной особенностью абсолютной шкалы, по сравнению со всеми остальными, является отвлеченность (безразмерность) и абсолютность ее единицы.

**Указанная особенность позволяет производить над показаниями абсолютной шкалы такие операции, которые недопустимы для показаний других шкал, – использовать их в качестве показателей степени и аргумента логарифма.** Числовая ось используется при счете предметов и как вспомогательное средство присутствует во всех остальных шкалах. Некоторые безразмерные числовые отношения, обнаруживаемые в природе, вызывают восхищение (явления резонанса, гармоническое отношение размеров, звуков; законы теории подобия и размерностей, квантование энергии элементарных частиц и т. д.).

Абсолютные шкалы применяются, например, для измерения количества объектов, предметов, событий, решений и т. п. Примером абсолютной шкалы является шкала температур по Кельвину.

Можно сказать, что чем сильнее шкала, в которой производятся измерения, тем больше сведений об изучаемом объекте дают эти измерения. Однако важно иметь в виду, что выбор шкалы должен ориентироваться на объективные

отношения, которым подчинена наблюдаемая величина. Можно измерять в шкале более слабой, но измерять в более сильной шкале – опасно.

#### 4. Шкалирование и оценивание

При моделировании объектов или процессов возникает необходимость оперировать параметрами системы, для значений которых требуется подобрать соответствующие шкалы.

**Шкалирование** – это *операция упорядочивания исходных эмпирических данных путем перевода их в шкальные оценки*. Шкала дает возможность упорядочить наблюдаемые явления, при этом каждое из них получает количественную оценку (квантифицируется). Шкалирование помогает определить низшую и высшую ступени исследуемого явления. Иначе говоря, *Шкалирование – это метод подбора шкалы для параметров моделируемой системы*.

При выборе шкалы следует ориентироваться на объективные отношения, которым подчинена наблюдаемая величина, и лучше всего производить измерения в шкале, максимально согласованной с этими отношениями.

При шкалировании возможны два типа ошибок:

1. Выбор более сильной шкалы, чем объективные отношения.
2. Выбор более слабой шкалы, чем объективные отношения.

Чем сильнее шкала, в которой производятся измерения, тем больше сведений об изучаемом объекте, явлении, процессе дают измерения. Поэтому вполне естественно стремление каждого исследователя провести измерения в возможно более сильной шкале, что не всегда оправдано.

Можно измерять и в шкале, более слабой, чем согласованная (это приведет к потере части полезной информации), но применять более сильную шкалу опасно: полученные данные на самом деле не будут иметь той силы, на которую ориентируется их обработка, есть большая вероятность сделать неверные выводы о свойствах объекта.

Иногда же исследователи усиливают шкалы; типичный случай – «оцифровка» качественных шкал: классам в номинальной или в порядковой шкале присваиваются номера, с которыми дальше «работают» как с числами. Если в этой обработке не выходят за пределы допустимых преобразований, то «оцифровка» – это просто перекодировка в более удобную (например, для ЭВМ) форму.

Однако применение других операций сопряжено с заблуждениями и ошибками, так как свойства, навязываемые подобным образом, на самом деле не имеют места. По мере развития соответствующей области знания тип шкалы может меняться.

*Пример.* Температуру сначала измеряли по порядковой шкале (холоднее – теплее), затем – по интервальным шкалам (Цельсия, Фаренгейта, Реомюра), а после открытия абсолютного нуля – по абсолютной шкале (Кельвина).

**Оценивание.** Одним из важнейших методов получения количественной информации об объекте исследования является оценивание. *Под оцениванием понимают установление наличия и меры проявления той или иной характеристики явления (процесса).*

Метод используется всегда, когда необходимую количественную информацию невозможно прямо “снять” с объекта. Оценивание сводится к вычислению значений релевантных величин. Для оценивания необходимо:

- уяснить объект и предмет оценки;
- установить требования (критерии) и оценочные шкалы;
- разработать процедуры и систему оценивания;
- выбрать методы и средства оценивания;
- использовать результаты оценки.

Процесс (технология) оценивания схематично представлен на рисунке 5.4.



Рисунок 5.4 – Алгоритм процесса оценивания

Для оценивания зачастую используются общепринятые выражения (формулы), тогда “работающими” являются только блоки 5 и 6 (рис. 5.4). Однако нередко исследователю-первопроходцу приходится самостоятельно проходить все этапы оценивания.

При оценивании следует иметь в виду и различать следующие виды используемых показателей: абсолютные и относительные; моментные и интервальные; индивидуальные и средние.

**Показатель** – это оцененная соответствующим образом характеристика явления (процесса).

**Абсолютные показатели** являются чаще всего первичными, получаемыми в результате счета, измерения, реже – вычисления. Таковы, например, численность бригады рабочих, протяженность трассы, продолжительность календарного периода, площадь участка.

**Относительные показатели** получают в результате соотнесения двух абсолютных. Особую разновидность относительных показателей составляют удельные, например, плотность вещества.

**Моментные показатели** связаны с определенным моментом времени и характеризуют состояние исследуемого объекта на данный момент. Таковы, например, явочная или списочная численность рабочих на начало или конец месяца, квартала, года.

**Интервальные показатели** характеризуют состояние исследуемого объекта усредненно, за определенный период времени. Таковы, например, среднесписочная численность рабочих в течение месяца, года, среднегодовая стоимость основных фондов и др.

**Индивидуальные показатели** характеризуют конкретный объект. Таковы, например, месячная заработная плата водителя Иванова В. С., цена изделия “А”.

**Средние показатели** характеризуют обезличенные (массовые) объекты. Таковы, например, средняя заработная плата рабочего в бригаде, средняя учетная цена однородных изделий, поступивших партиями в разное время и от разных поставщиков.

Требования, предъявляемые к используемым показателям:

- валидность, т. е. соответствие конкретным целям использования, способность решать возложенную на показатель задачу;
- размерность, т. е. соответствие принятым системам измерений;
- допустимая простота;
- увязанность с другими показателями.

Порядок использования алгоритма оценивания, приведенного на рисунке 5.4, покажем на следующем примере. Исследователю надлежит оценить состояние технологической специализации производства (оцениваемая величина) на определенном предприятии.

Описание предстоящей к оцениванию величины в принципе существует: под технологической специализацией производства понимают процесс (и его состояние) разделения труда при изготовлении продукции. Предполагается, что чем больше выделено обособленных операций при изготовлении продукции (однородных изделий) и, соответственно, чем больше исполнителей участвует в изготовлении, тем специализация выше (глубже). Между тем общепринятого измерителя специализации и оценочного (вычислительного) выражения для этого явления, по существу, не предложено.

Результат мыслительной деятельности исследователя по блоку 2 рисунка 5.4 (словесное определение измерителя) в первом приближении может выглядеть следующим образом: под уровнем технологической специализации будем понимать показатель, отражающий глубину разделения труда при

изготовлении продукции, выражаемую числом обособленных технологических процессов или, что, то же самое, числом обособленных (специализированных) исполнителей. Обозначим это число через “ $n$ ”. В качестве вычислительного выражения (см. блок 3 рис.5.4) можно было бы принять:

$$Y_c = n, \quad (5.1)$$

где  $Y_c$  – уровень технологической специализации, измеритель оцениваемого явления.

Выражение (5.1) просто и логично: чем больше число обособленных исполнителей ( $n$ ), тем глубже специализация, выше ее уровень ( $Y_c$ ). При более тщательном рассмотрении предложенного выражения (5.1) обнаруживаются и его недостатки. Показатель не имеет осязаемого верхнего предела: “ $n$ ” может принимать значения и 10, и 100, и т. п. А где предел? При каком значении “ $n$ ” специализация наиболее полная?

При принятии в качестве вычислительного выражения

$$Y_c = \frac{1}{n} \quad (5.2)$$

обнаруживается нелогичное поведение измерителя: с увеличением значения “ $n$ ” показатель, хотя и приобретает предел (устремляется к нулю), но его значения не увеличиваются, а, наоборот, уменьшаются, что неприемлемо. И только принятие в качестве вычислительного выражения

$$Y_c = 1 - \frac{1}{n} \quad (5.3)$$

позволяет достичь желаемого. Проверка (см. блок 4 рис. 5.4) соответствия вычислительного выражения (5.3) словесному определению измерителя дала положительные результаты: при “ $n$ ”, равном единице (все операции по изготовлению продукции выполняются одним исполнителем, специализация – отсутствует), значение  $Y_c$  равно нулю; с возрастанием числа “ $n$ ” значение  $Y_c$  асимптотически устремляется к единице как естественному верхнему пределу.

При неприемлемости нелинейного изменения показателя  $Y_c$  может быть предложено логарифмирование выражения (5.3). Единица измерения уровня специализации безразмерна.

### **Контрольные вопросы:**

1. Приведите примеры наблюдений в каждой из измерительных шкал.
2. Перечислите допустимые операции над данными в каждой из измерительных шкал.
3. Что происходит при рассогласовании между природой наблюдаемого явления и силой измерительной шкалы? Как обеспечить их согласование?
4. Когда недопустимые преобразования результатов наблюдений безвредны?
5. Почему верны оказываются оба противоположных утверждения «опыт определяет модель» и «модель определяет опыт»?
6. Что такое измерение?
7. Почему над наблюдениями в некоторой шкале можно производить не любые, а только допустимые операции? Приведите примеры.

8. Каковы возможные последствия «усиления» или «ослабления» наблюдений, т. е. пересчета протоколов наблюдений в шкалу, отличающуюся от той, в которой производилось наблюдение?
9. Дайте определение понятию «измерение».
10. Дайте определение измерительной шкалы.
11. Укажите допустимые операции на шкалах наименований.
12. Укажите допустимые операции на порядковых шкалах.
13. Какие ошибки возможны при работе с модифицированными порядковыми шкалами?
14. Укажите допустимые операции на интервальных шкалах.
15. Укажите допустимые операции в шкалах отношений.
16. Укажите допустимые операции на абсолютных шкалах.

## **ЛЕКЦИЯ № 6. ПРОЦЕДУРЫ ПРИКЛАДНОГО СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА**

1. Анализ и синтез в системных исследованиях.
2. Модели систем как основания декомпозиции.
3. Алгоритмизация процесса декомпозиции.
4. Агрегатирование, эмерджентность, внутренняя целостность систем.
5. Виды агрегатирования.

### **1. Анализ и синтез в системных исследованиях**

Единство анализа и синтеза позволяет понять окружающий мир.

*Рассмотрим технические аспекты аналитического и синтетического методов исследования систем, т. е. остановимся на том КАК выполняются операции разделения целого на части и объединения частей в целое и ПОЧЕМУ они выполняются именно так. Иными словами, мы обсудим в какой степени анализ и синтез на сегодняшний день могут быть алгоритмизируемы.*

**Аналитический метод.** Аналитический метод, изначально, органически присущий человеческому мышлению, был в явной форме осознан в 17 веке. «Расчлените каждую изучаемую Вами задачу на столько частей, сколько потребуется, чтобы ее легко решить».

Его успех и значение состоят не только и не столько в том, что сложное целое расчленяется на простые части, а в том, что, будучи соединены надлежащим образом, эти части снова образуют единое целое. Агрегатирование частей в целое является конечным этапом анализа. *Лишь после агрегатирования мы сможем объяснить целое через его части в виде структуры целого.*

Аналитический метод имеет огромное значение на практике. Разложение функций в ряды, дифференциальное и интегральное исчисление, исследование

атомов и элементарных частиц, анатомия и физиология, схемотехника, конвейерная технология – все это служит иллюстрацией эффективности анализа.

**Сочетание анализа и синтеза в системном исследовании.** Роль синтеза не сводится только к «сборке» деталей, полученных при анализе. Важна целостность системы, которая нарушается при анализе. Утрачиваются не только существенные свойства самой системы (разобранный автомобиль не едет, расчлененный организм не живет), но исчезают и существенные свойства частей системы (оторванный руль не рулит, отделенный глаз не видит). Поэтому **результатом анализа является лишь вскрытие структуры системы**, знание о том, как система работает, но не понимание того, почему и зачем она это делает. Синтетическое мышление требует объяснить поведение системы. Оно существенно отличается от анализа.

**На первом шаге анализа** вещь, подлежащая объяснению, разделяется на части; в синтетическом мышлении она должна рассматриваться как часть большего целого.

**На втором шаге анализа** объясняются содержимые части; в синтетическом мышлении объясняется содержащее нашу вещь целое.

**На последнем шаге анализа** знание о частях агрегируется в знание о целом; в синтетическом мышлении понимание содержащего целого дезагрегируется для объяснения частей. Это достигается путем вскрытия их ролей или функций в целом. Синтетическое мышление открывает не структуру, а функцию; оно открывает, почему система работает так, а не то, как она делает это.

Таким образом, не только аналитический метод невозможен без синтеза (на этом этапе части агрегируются в структуру), но и синтетический метод невозможен без анализа (необходима дезагрегация целого для объяснения функций частей). Анализ и синтез дополняют, но не замещают друг друга. Системное мышление совмещает оба указанных метода.

В настоящее время все еще преобладает аналитический подход к решению проблем, поэтому приведем дополнительные аргументы в пользу синтетических методов.

### **Особенности синтетических методов.**

1. **Аналитический метод дает наилучшие результаты, когда систему удастся разделить на независимые друг от друга части.** Однако такие случаи, когда система является суммой своих частей, являются редким исключением. Правилom является то, что вклад каждой части в общесистемный эффект зависит от вкладов других частей. Если даже мы заставим каждую часть системы функционировать наилучшим образом, то суммарный эффект, как правило, не будет наивысшим. Таким образом, при анализе «неаддитивных» систем следует делать акцент на рассмотрение взаимодействия частей системы.

2. **Конечной целью аналитического метода является установление причинно-следственной закономерности между рассматриваемыми явлениями.** Явление считается познанным, если известна его причина (совокупность условий, необходимых и достаточных для реализации следствия). Это далеко не всегда достижимо. Для причинно-следственного отношения не

существует понятия окружающей среды, так как для следствия ничего, кроме причины, не требуется.

**Синтетический подход** признает, что отношение «причина-следствие» является не единственно возможным и приемлемым описанием взаимодействия. Более адекватной моделью является отношение «производитель-продукт», когда производитель является необходимым, но не достаточным условием для осуществления продукта. (Пример: желудь – дуб – кроме желудя для произрастания дуба необходимы почва, влага, воздух, свет, тепло, сила тяготения и т. д.). **Таким образом, для получения продукта необходимы и другие условия, которые образуют окружающую среду.**

Как бы то ни было, и при аналитическом, и при синтетическом подходе наступает момент, когда необходимо разложить целое на части или объединить части в целое. Напомним, что эти операции называются, соответственно, **декомпозицией** и **агрегатированием**. Далее рассмотрим технические аспекты выполнения этих операций.

## 2. Модели систем как основания декомпозиции

Основной операцией анализа является разделение целого на части. Задача распадается на подзадачи, система на подсистемы, цели – на подцели и т. д. Обычно объект анализа сложен, слабо структурирован, плохо формализован, поэтому операцию декомпозиции выполняет эксперт. При этом **основанием для всякой декомпозиции является модель рассматриваемой системы.**

**Содержательная модель как основание декомпозиции.** Операция декомпозиции представляется теперь как сопоставление объекта анализа с некоторой моделью, как выделение в ней того, что соответствует элементам взятой модели. В результате декомпозиции должно получиться столько частей, сколько элементов содержит модель, взятая в качестве основания. Вопрос о полноте декомпозиции – это вопрос завершенности модели.

**Пример.** В начале 70-х годов проводились работы по системному анализу целей развития морского флота. Первый уровень дерева целей выглядел в виде схемы, изображенной на рисунке 6.1.

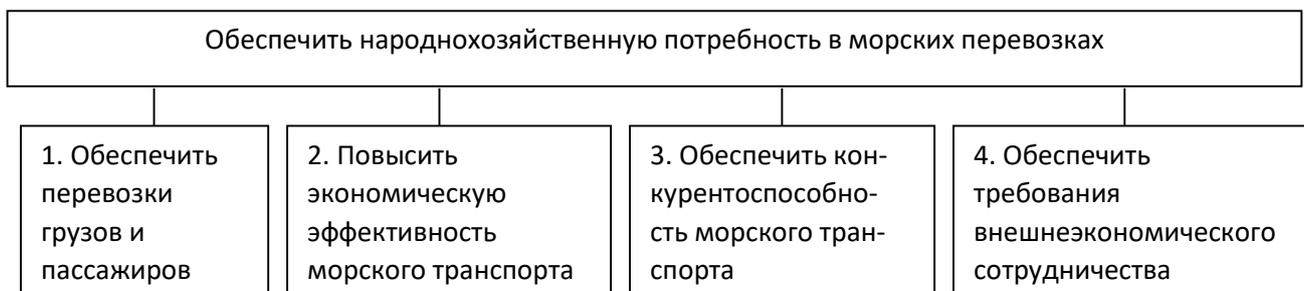


Рисунок 6.1 – Первый уровень дерева целей

Декомпозиция проведена по модели входов организационной системы, которая включает входы:

от «нижестоящих» систем (здесь клиентуры – подцель 1);

от «вышестоящих» систем (здесь народного хозяйства в целом – подцель 2);

от «существенной среды» (в данном случае – флотов капиталистических государств – подцель 3 и социалистических государств – подцель 4), рисунок 6.2.

Очевидно, что такая декомпозиция неполна, поскольку отсутствует подцель, связанная с собственными интересами морского флота.



Рисунок 6.2 – Схема входов организационной системы

Итак, объект декомпозиции должен сопоставляться с каждым элементом модели-основания. Однако и сама модель-основание может с разной степенью детализации отображать исследуемый объект. Например, в системном анализе часто используют модель типа «жизненный цикл», позволяющую декомпонировать анализируемый период времени на последовательные этапы от его возникновения до окончания.

Шахматная партия – дебют, миттельшпиль, эндшпиль.

Человеческая жизнь – молодость, зрелость, старость (можно выделить более мелкие этапы – детство, отрочество, юность).

Такое же разнообразие может иметь место и при декомпозиции жизненного цикла любой проблемы. Разбиение на этапы дает представление о последовательности действий, начиная с обнаружения проблемы и кончая ее ликвидацией. Иногда такую последовательность рассматривают как алгоритм системного анализа.

В качестве примера можно рассматривать декомпозиции жизненного цикла проблем, разработанные крупными специалистами по системному анализу, такими как: С. Д. Оптнер, С. Янг, Н. П. Федоренко, С. П. Никаноров, Ю. И. Черняк (были рассмотрены в курсе «Основы системного анализа»).

Приведенные ими варианты декомпозиции являются наглядным примером решений, возникающих на эвристических этапах системного анализа. Установив, что декомпозиция осуществляется с помощью некоторой модели, сквозь которую мы как бы рассматриваем расчленяемое целое, далее следует ответить на естественно возникающие вопросы:

1. Модели какой системы следует брать в качестве оснований декомпозиций?
2. Какие именно модели надо брать?

Выше уже упоминалось, что основанием декомпозиции служит модель «рассматриваемой системы», но какую именно систему следует под этим понимать? Всякий анализ проводится для чего-либо, и именно эта цель анализа и определяет, какую систему следует рассматривать. *Система, с которой связан объект анализа, и система, по моделям которой проводится декомпозиция, не обязательно совпадают*, и, хотя они имеют определенное отношение друг к другу, это отношение может быть любым: одна из них может быть подсистемой или надсистемой для другой, они могут быть и разными, но как-то связанными системами.

Например, анализируя цель «выяснить этиологию и патогенез ишемической болезни сердца», в качестве исследуемой системы можно взять сердечно-сосудистую систему, а можно выбрать конкретный кардиологический институт. В первом случае декомпозиция будет порождать перечень подчиненных целей научного, во втором – организационного характера.

Вспомним, что любая модель имеет целевой характер. Иногда в качестве оснований декомпозиции полезно брать сначала модели надсистемы, затем самой системы и, наконец, подсистем. Чаще всего в практике системного анализа в качестве глобального объекта декомпозиции берется нечто, относящееся к проблемосодержащей системе и к исследуемой проблеме, а в качестве оснований декомпозиции берутся модели проблем разрешающей системы.

Какие модели нужно брать за основания декомпозиции?

**Формальных типов моделей немного:** модель «черного ящика», состава, структуры, конструкции (структурной схемы) – каждая в статическом или динамическом варианте. Это позволяет организовать нужный перебор типов моделей в зависимости от необходимости.

**Связь между формальной и содержательной моделями.** Основанием для декомпозиции может служить только конкретная содержательная модель рассматриваемой системы. Формальную модель следует наполнить содержанием. Полнота декомпозиции обеспечивается полнотой модели-основания, а это означает, что, прежде всего, следует позаботиться о полноте формальной модели. Благодаря абстрактности такой модели часто удается достичь ее абсолютной полноты.

*Пример.* Схема входов организационной системы является полной: к ней нечего добавить (перечислено все, что воздействует на систему), а изъятие любого элемента лишит ее полноты.

*Пример.* Формальный перечень типов ресурсов состоит из энергии, материи, времени, информации (для социальных систем добавляются кадры и финансы). При анализе ресурсного обеспечения любой конкретной системы этот перечень не дает пропустить что-то важное. Итак, полнота формальной модели должна быть предметом особого внимания.

Пример декомпозиции по модели входов организационной системы приведен на рисунке 6.3.



Рисунок 6.3 – Пример декомпозиции по модели входов организационной системы

**Проблемы полноты моделей.** Введем понятие *фрейма – полной формальной модели*. Полнота декомпозиции в конечном счете зависит от полноты содержательной модели, которая строится по шаблону формальной модели, но ей не тождественна.

Фрейм лишь привлекает внимание эксперта к необходимости рассмотреть, что именно в реальной системе соответствует каждому из составляющих фрейм элементов, а также решить, какие из этих элементов должны быть включены в содержательную модель. Это очень ответственный элемент и очень трудный.

Вернемся к анализу целей морского флота (рис. 6.1). Фреймовая модель входов организационной системы требует определить конкретно, что понимается под «существенной средой», т. е. взаимодействие с какими

реальными системами не своего ведомства должно войти в основание. Судя по результату анализа, авторы учитывали только взаимодействие морского флота с флотами других государств. Ясно, что может потребоваться учет взаимодействия с сухопутным транспортом, речным и воздушным флотами. Если возникнет вопрос о ресурсах, то потребуются учет связей с ведомствами, производящими топливо и энергию, продукты питания, услуги и т. д.

Таким образом, вопрос степени детализации содержательных моделей, в отличие от фреймовых, всегда остается открытым.

### 3. Алгоритмизация процесса декомпозиции

*Компромиссы между простотой и полнотой.* Начнем с рассмотрения требований к древовидной структуре, которая получится как итог работы по всему алгоритму. С одной стороны, это полнота, с другой – простота. Компромиссы между полнотой и простотой вытекают из требования: свести сложный объект анализа к конечной совокупности простых подобъектов. Компромисс достигается тем, что в модель-основание включаются только компоненты, существенные по отношению к цели анализа (релевантные). Решение вопроса о том, что же является существенным, а что нет – возлагается на эксперта.

Перейдем к вопросу о числе уровней декомпозиции. Желательно, чтобы оно было небольшим, но в случае необходимости можно продолжать декомпозицию как угодно долго до принятия решения о ее прекращении на данной ветви. Такое решение принимается в нескольких случаях. Первый, к которому мы стремимся, – это когда декомпозиция привела к получению результата (подцели, подзадачи), не требующего дальнейшего разложения, т. е. результата простого, понятного, реализуемого, обеспеченного, заведомо выполнимого (например, программные модули). Будем называть его элементарным. Для некоторых задач (математических, технических) понятие элементарности может быть конкретизировано до формального признака. В других задачах оно неизбежно остается неформальным (структура правительства).

*Типы сложности.* Может наступить момент, когда эксперт признает, что его компетенции недостаточно для дальнейшего анализа данного фрагмента и что следует обратиться к эксперту другой квалификации (специальности). Сложность такого типа – есть сложность из-за не информированности, которую можно преодолеть, т. е. довести процесс декомпозиции до элементарных фрагментов во всех ветвях дерева.

В действительно сложных случаях (случай большой размерности) получение вполне завершенной декомпозиции должно не радовать, а настораживать: не связана ли реальная сложность с пропущенной ветвью дерева, сочтенной экспертами несущественной. Опасность неполноты анализа следует иметь в виду всегда (примеры: проблема поворота северных рек, проблемы Байкала и Ладожского озера и т. д.). Один из приемов – предлагать экспертам

рассматривать обязательно и отрицательные стороны проекта. В частности, в классификатор выходов (конечных продуктов) любой системы помимо полезных продуктов обязательно должны быть включены отходы.

Итак, если рассматривать анализ как способ сведения сложного к простому, то полное сведение сложного к простому возможно лишь в случае сложности из-за не информированности. В случае других типов сложности анализ не ликвидирует сложность, но локализует ее. Поэтому можно сказать, что декомпозиция не дает новых знаний, а лишь структурирует и организует их, обнажая возможную нехватку знаний в виде «дыр» в этой структуре. Алгоритм декомпозиции представлен на рисунке 6.4.

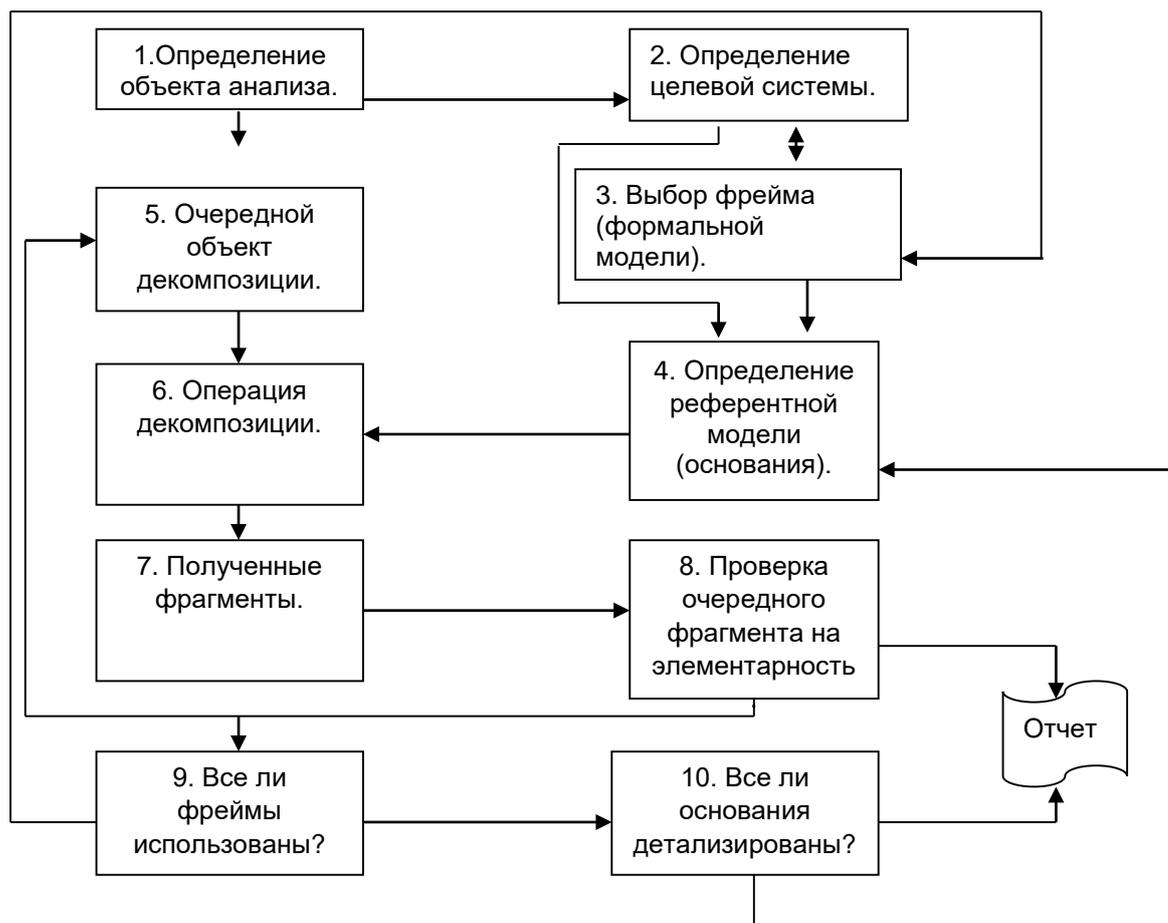


Рис. 6.4 – Укрупненная блок-схема алгоритма декомпозиции

*Блок 1.* Объектом анализа может стать что угодно: любое выступление, раскрытие смысла которого требует его структурирования. На определение объекта анализа иногда затрачиваются значительные усилия. Когда речь идет о действительно сложной проблеме, ее сложность проявляется и в том, что сразу трудно сформулировать объект анализа. Даже в таком регламентированном случае, как работа министерства, формулировка глобальной цели, возглавляемой им отрасли требует многократного уточнения и согласования, прежде чем станет объектом анализа.

*Блок 2.* Этот блок определяет зачем нужно то, что мы делаем. В качестве целевой системы выступает система, в интересах которой осуществляется весь анализ.

*Блок 3.* Этот блок содержит набор фреймовых моделей и рекомендуемые правила их перебора, либо обращение к эксперту с просьбой самому определить очередной фрейм.

*Блок 4.* Содержательная модель, по которой будет произведена декомпозиция, строится экспертом на основании изучения целевой системы. Хорошим подспорьем ему могут служить различные классификаторы, построенные в различных областях знаний.

*Блоки 5-10.* Были достаточно описаны ранее.

Окончательный результат анализа оформляется в виде дерева, конечными фрагментами ветвей которого являются либо элементарные фрагменты, либо сложные фрагменты, но не поддающиеся дальнейшему разложению.

#### **4. Агрегатирование, эмерджентность, внутренняя целостность систем**

Операцией, противоположной декомпозиции, является агрегатирование, т. е. объединение нескольких элементов в одно целое (например, периодическая система элементов). Необходимость агрегатирования может вызываться различными целями, что приводит к различным способам агрегатирования. Однако у всех агрегатов есть одно общее свойство, получившее название эмерджентности. Это свойство присуще всем системам.

***Эмерджентность как проявление внутренней целостности системы.*** Будучи объединенными, взаимодействующие элементы образуют систему, которая обладает не только внешней целостностью, обособленностью от окружающей среды, но и внутренней целостностью, природным единством. Если внешняя целостность отображается моделью «черного ящика», то внутренняя целостность связана со структурой системы.

Наиболее яркое проявление внутренней целостности системы состоит в том, что свойства системы не являются только суммой свойств ее составных частей. Система в целом есть нечто большее, она обладает такими свойствами, которых нет ни у одной из ее частей, взятой в отдельности.

Обратим внимание на то, ***что при объединении частей в целое возникает нечто качественно новое, такое, чего не было и не могло быть без этого объединения.***

*Пример.* Пусть имеется цифровой автомат S, преобразующий любое целое число на его входе в число на единицу большее входного. Если соединить два таких автомата последовательно в кольцо, то в полученной системе обнаружится новое свойство: она генерирует возрастающие последовательности на выходах A и B, причем одна из последовательностей состоит только из четных, другая только из нечетных чисел (рис. 6.5).

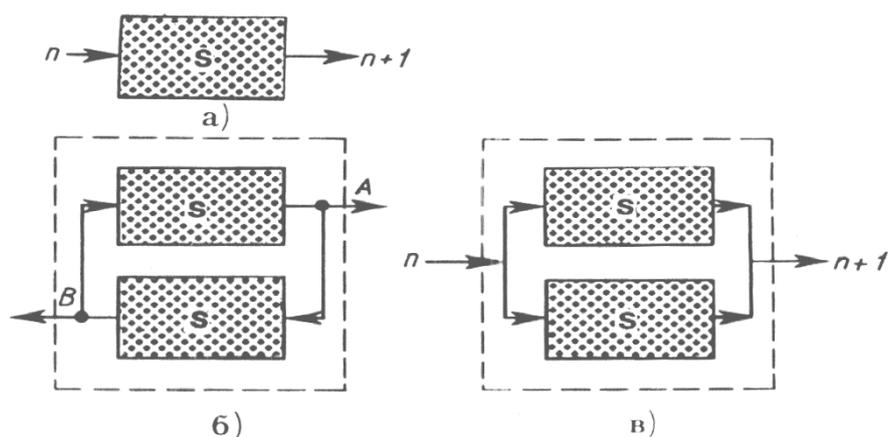


Рисунок 6.5 – Пример подключения цифровых автоматов

**Эмерджентность как результат агрегатирования.** Такое «внезапное» появление новых качеств у систем и дало основание присвоить этому свойству название эмерджентность (в изобретательстве – «сверхсуммарный эффект»). Новые свойства возникают благодаря конкретным связям между конкретными элементами. Другие связи дадут другие свойства, не обязательно очевидные. Например, параллельное соединение тех же автоматов ничего не дает в арифметическом отношении, но повысит надежность вычислений.

Возникновение качественно новых свойств при агрегатировании элементов есть проявление закона диалектики о переходе количества в качество. Чем больше отличаются свойства совокупности от суммы свойств элементов, тем выше организованность системы. Новые качества систем определяются характером связей между элементами и могут варьировать от полного согласования до полной независимости частей.

*Примеры.* Человек – толпа – армия; муравей – муравейник; триггер – ЭВМ и т. д.

## 5. Виды агрегатирования

Как и в случае декомпозиции, техника агрегатирования основана на использовании **определенных моделей исследуемой или проектируемой системы**. Именно избранные нами модели жестко определяют, какие части должны войти в состав системы (модель состава) и как они должны быть связаны между собой (модель структуры). Разные условия и цели агрегатирования приводят к необходимости использовать разные модели, что, в свою очередь, определяет, как тип окончательного агрегата, так и технику его построения. В самом общем виде **агрегатирование можно определить, как установление отношений на заданном множестве элементов**. Благодаря значительной свободе выбора в том, что именно рассматривается в качестве элемента, как образуется множество элементов и какие отношения устанавливаются на этом множестве, получается обширное количественно и разнообразное качественно множество задач агрегатирования. Отметим лишь **основные агрегаты**,

типичные для системного анализа: конфигуратор, агрегаты-операторы и агрегаты-структуры.

**Конфигуратор** (совокупность языков описания системы). Всякое действительно сложное явление требует разнообразного описания. Только совместное (агрегатированное) описание в терминах нескольких качественно различающихся языков позволяет охарактеризовать явление с достаточной полнотой.

Например. Автомобильная катастрофа должна рассматриваться не только как физическое явление, вызванное механическими причинами (техническое состояние автомобиля и дорожного покрытия, силами инерции, трения, ударов и т. д.), но и как явление медицинского, социального, экономического, юридического характера. Даже движение планет имеет не только механические аспекты, но и социальные – вспомним, какие потрясения вызвал переход от геоцентрического к гелиоцентрическому описанию этого движения. В реальной жизни не бывает проблем чисто физических, химических, экономических, общественных или даже системных – эти термины обозначают не саму проблему, а выбранную точку зрения на нее.

**Как отметил П. Андерсон, проблема, сколь бы сложной она не была, станет еще сложнее, если на нее правильно посмотреть.** Эта многоплановость реальной жизни имеет важные последствия для системного анализа. Перед экспертом всегда встает вопрос о допустимой минимизации описания явления. При агрегатировании риск неполноты становится почти недопустимым, поскольку при неполноте речь может идти вообще не о том, что мы имеем в виду. Напротив, риск переопределения связан с большими излишними затратами.

Приведенные соображения приводят к понятию **агрегата, состоящего из качественно различных языков описания системы и обладающего тем свойством, что число этих языков минимально, но необходимо для заданной цели.** Будем называть такой агрегат **конфигуратором.**

*Пример 1.* Конфигуратором для задания любой точки  $n$ -мерного пространства является совокупность ее координат.

*Пример 2.* В радиотехнике для описания одного и того же прибора используется конфигуратор: блок-схема, принципиальная схема, монтажная схема.

*Отметим, что синтез, проектирование, производство и эксплуатация прибора возможны только при наличии всех трех описаний.*

Конфигуратор, таким образом, зависит от поставленных целей. Если говорить о сбыте прибора, то в конфигуратор нужно включить язык рекламы, позволяющий описать внешний вид и потребительские качества прибора.

*Пример 3.* При обсуждении кандидатуры на руководящую должность каждый претендент рассматривается с учетом его профессиональных, деловых, идейно-политических, моральных качеств и состояния здоровья (характеристика – конфигуратор).

*Пример 4.* Опыт проектирования организационных систем показывает, что для синтеза оргсистемы конфигуратор состоит из описания распределения

власти (структуры подчиненности), распределения ответственности (структуры функционирования) и распределения информации. Все три структуры не обязательно совпадают топологически, хотя связывают одни и те же части системы.

Заметим, что конфигуратор является содержательной моделью высшего возможного уровня. Как всякая модель конфигуратор имеет целевой характер и при смене цели может утратить свойства конфигуратора.

**Агрегаты – операторы** (конкретизация отношения между элементами). Очень часто возникает ситуация, когда совокупность данных, с которыми приходится иметь дело, плохо обозрима и эти данные нужно агрегатировать.

**Простейший способ агрегатирования состоит в установлении отношения эквивалентности между агрегируемыми элементами, т. е. образовании классов (созвездия, периодическая система элементов).** Классификация является важным явлением в практике и системном анализе. С практической точки зрения одной из важнейших является проблема определения к какому классу относится данный конкретный элемент.

#### **Классификация как агрегатирование.**

*Примеры.* Разложить окрашенные куски картона по цветам (куда отнести оранжевый?). Кого отнести в класс высоких людей? и т. д. Сложности классификации резко возрастают, если признак классификации не наблюдается непосредственно, а сам является агрегатом косвенных признаков.

*Пример.* Диагностика заболевания по результатам анамнеза.

Таким образом, агрегатирование в классы является эффективной, но далеко не тривиальной процедурой. Если представлять класс как результат действия агрегата-оператора, то такой оператор имеет вид:

«если» <условия или признак> «то» <имя класса>.

**Функция нескольких переменных как агрегат.** Другой тип агрегата-оператора возникает, если агрегируемые признаки фиксируются в числовых шкалах. Тогда появляется возможность задать отношение на множестве признаков в виде числовой функции многих переменных, которая и является агрегатом.

Интересно, что, когда агрегат-оператор является вполне адекватной моделью системы, мы лишаемся свободы выбора функции, агрегирующей набор переменных. Именно этот случай имеет место, когда закономерности природы отображаются безразмерными отношениями физических размерных величин. Такое, казалось бы, тривиальное требование, как сохранение отношения двух числовых значений составных физических величин при изменении единиц измерения исходных величин, приводит к нетривиальному выводу: если удалось построить безразмерный степенной одночлен из размерных величин, образующих конфигуратор данного физического явления, то выявлена физическая закономерность этого явления.

Например, из того, что  $F/ma = c$  (безразмерная постоянная) следует второй закон Ньютона. Другой редкий пример однозначности агрегата-функции дает стоимостный анализ экономических систем. Если все участвующие факторы

удается выразить в терминах денежных доходов и расходов, то агрегат оказывается их алгебраической суммой.

**Агрегаты-структуры** (описание связей на всех языках конфигуратора). Важной формой агрегатирования является образование структур. Как и любой вид агрегата, структура является моделью системы и, следовательно, определяется тройственной совокупностью объекта, цели и средств. Это и объясняет многообразие типов структур (сети, матрицы, деревья и т. д.).

При анализе мы создаем, определяем, навязываем структуру будущей проектируемой системе. Если это не абстрактная, а реальная система, то в ней возникнут, установятся и начнут «работать» не только связи, которые мы сконструировали, но и множество других, не предусмотренных нами, но вытекающих из самой природы сведенных в одну систему элементов. Поэтому при проектировании системы важно задать ее структуры во всех существенных отношениях, так как в остальных отношениях структуры сложатся сами. Совокупность всех существенных отношений определяется конфигуратором системы и отсюда вытекает, что **проект любой системы должен содержать разработку столько структур, сколько языков включено в ее конфигуратор.**

Хотя можно перечислить, казалось бы, все мыслимые структуры как частные случаи полного графа, некоторые явления природы наводят на мысль, что в этом вопросе не следует спешить с окончательными выводами. Отдельные особенности живых организмов, экономических и социальных систем заставляют предположить, что даже сложнейшие существующие модели структурной организации в чем-то слишком просты.

Очевидным примером нерешенной задачи организации системы является работа мозга, хотя точно известно, что он состоит из  $10^{10}$  нейронов, каждый из которых имеет  $10^2 - 10^3$  нервных окончаний и может находиться лишь в одном из двух состояний.

**Диссипативные структуры** – структуры, образующиеся в результате рассеивания (диссипации) энергии. К ним относятся некоторые недолговечные структуры, которые распадаются, как только прекращается поток энергии или вещества. Одной из первых таких структур была описана ячеистая структура, образующаяся в жидкости при наличии конвекции между двумя горизонтальными плоскостями (см. рис. 6.6).

Подобные процессы, по существу, лежат в основе явления жизни. Например, биение сердца является периодическим по времени процессом, который поддерживается целым комплексом осциллирующих химических реакций. К реакциям, обладающим периодичностью в пространстве, относится возникновение клеточной структуры живого организма. Такие процессы получили название автоволновых.

Может быть существуют еще не известные нам принципы самоорганизации? Может быть имеется качественная, а не количественная разница между объединениями большого числа составляющих с малым и большим числом связей для каждой из них? Подобные вопросы пока остаются без ответа.

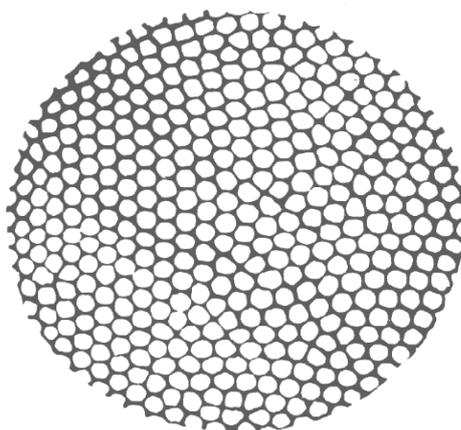


Рисунок 6.6 – Пространственная структура конвекционных ячеек

**Самоорганизация** – это тоже способ агрегатирования, когда сама система устанавливает свою структуру и связи между элементами.

**Контрольные вопросы:**

1. Приведите примеры, показывающие, что именно берется в качестве объекта анализа и как именно система порождает модели-основания декомпозиции.
2. Каково главное отличие причинно-следственного описания связи между явлениями от ее описания как отношения «производитель-продукт»?
3. Что конкретно имеется в виду, когда мы говорим, что основанием декомпозиции является содержательная модель целевой системы?
4. Как используются понятия существенности и элементарности в процессе декомпозиции?
5. В чем состоит свойство систем, называемое эмерджентностью? Приведите примеры эмерджентности.
6. Какая совокупность языков описания называется конфигуратором?
7. Какие аспекты системы подчеркиваются при рассмотрении ее структуры как агрегата?

**ЛЕКЦИЯ № 7. ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ НА СТАДИЯХ  
ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА**

1. Определение и формирование жизненного цикла.
2. Структура жизненного цикла.
3. Цель и содержание предпроектной стадии.

**1. Определение и формирование жизненного цикла**

Понятие «цикл» *несет в себе несколько смысловых нагрузок*, оно отражает:

- законченность определенного процесса предполагаемым результатом;
- повторяемость определенных процессов развития;
- передачу информации, «памяти» системы от одного поколения результатов к другому;
- замкнутость, упорядоченность составных частей процесса, стадий.

*Под теорией циклов понимается системная теория, исследующая закономерности в формировании структуры циклов в процессах «жизни» различного типа систем живой и неживой природы.*

**Цикл** – это повторяющийся законченный замкнутый процесс, переводящий цель, замысел, потребность в определенный результат, продукцию, предмет потребности.

Ориентированность на конечный результат цикла составляет *содержание принципа целевого подхода* к построению информационного представления цикла исследований и разработок.

**Фаза цикла** связана с определенным временным разделением цикла, его стадийностью. Как правило, первой фазой цикла является цикл нижнего уровня, т. е. цикл подсистемы первого уровня. Оценка фазы как цикла связана с проверкой наличия таких признаков цикла, как конечность и завершенность, повторяемость.

**Цикл характеризуется** повторяемостью за определенный промежуток времени взаимосвязанных стадий. Время (длительность) цикла – характеристика, определяющая временную масштабность цикла. Временная масштабность цикла одновременно определяет временную структуру, «временной спектр» процессов, соответствующих систем-носителей указанных циклов и соответственно их «временную инерцию».

**Носителем цикла** является непосредственно та система, системообразующим фактором которой является продукция цикла. *Правильная соотнесенность цикла и системы-носителя – один из важнейших принципов анализа и проектирования сложных систем и комплексов.*

Например, носителем *проектного цикла* объекта *N* является проектная система, непосредственно осуществляющая проектирование объекта (проектирующая система). Носителем «*цикла жизни*» любого материального или идеального объекта, создаваемого человеком, является система, объединяющая в себе проектную, производственную и эксплуатационную или потребительские системы. Циклы определяют временной ритм, цикличность функционирования систем-носителей:

- **проектные циклы** – временной ритм функционирования соответствующих проектных систем;
- **производственные циклы** – временной ритм функционирования соответствующих производственных систем (производственных организаций);
- **жизненные циклы объектов техники** – временной ритм функционирования соответствующих технических систем.

Процессы изменения, развития объекта цикла являются одновременно процессами становления, формирования и реализации соответствующей

системной эффективности. Одновременно эти процессы отражают трансформацию потребности  $\Pi$  в результат:

$$\Pi \rightarrow R_e \leftrightarrow R_{\Pi} \rightarrow R_{Re},$$

где  $R_e$  – результат;  $R_{\Pi}$  – прогнозируемая эффективность;  $R_{Re}$  – реальная эффективность.

*При определении жизненного цикла* технической или другой создаваемой человеком системы используются *понятия состояния и движения системы*. Система от момента замысла до окончания существования (снятия с эксплуатации, расформирования, списания, утилизации и т. п.) принимает ряд состояний, причем переход ее из одного состояния в другое осуществляется путем выполнения различных работ в ходе взаимодействия с окружающей средой и внутренних взаимодействий между элементами системы. Если теперь развернуть во времени совокупность состояний системы и работ, обеспечивающих переход из одного состояния в другое, то получится жизненный цикл системы.

Таким образом, *жизненный цикл (ЖЦ) – упорядоченная во времени совокупность состояний системы и работ (процессов), обеспечивающих изменение состояний от момента замысла системы до окончания ее существования.*

*Один из возможных вариантов формирования ЖЦ системы* можно представить следующим образом. *ЖЦ* формируется под воздействием окружающей среды *в результате синтеза (соединения) трех составляющих: материальных объектов (материалов), информации и энергии* (см. рис. 7.1).

*Материальные объекты* – это различные элементы, устройства, подсистемы и оборудование входящие в состав системы. При формировании человеко-машинных систем к материальным объектам можно отнести людей, рассматриваемых как элемент системы.

Под *информацией* понимаются сведения о материальных объектах, требуемых для создания системы, о связях между ними и окружающей средой, о порядке взаимодействия элементов системы и другие необходимые данные.

*Энергия* – это совокупность воздействий окружающей среды на систему, осуществляемых с целью ее организации на основе имеющихся материальных объектов и информации. В свою очередь, в процессе развития и функционирования системы окружающая среда получает от системы:

- материальные объекты (производимую продукцию, отходы);
- информацию о ее параметрах и результатах функционирования;
- энергию – ответное воздействие системы (производимую энергию, различные излучения, шумы, механические воздействия и др.



Рисунок 7.1 – Формирование ЖЦ системы

Процесс формирования всех состояний системы путем синтеза трех указанных составляющих тесно связан с учетом и раскрытием неопределенности. То есть с постепенным накоплением сведений о системе и в соответствии с этим зарождением системы из равновероятной, в предельном случае хаотической, смеси различных материальных объектов и сведений об аналогичных системах, а также изучения нормативно-правовых документов, во многом определяющих облик будущей системы.

Начальному моменту времени  $t_0$ , когда только возникает предварительный замысел о создании системы, соответствует состояние  $S_0$  с высоким уровнем неопределенности  $H = H_{max}$ . Материальные объекты  $M$ , требуемые для создания системы, находятся в разобранном виде, информация о системе  $I = I_{min}$  представляет собой весьма неопределенную мысленную модель, а энергетические затраты  $\mathcal{E}$  фактически равны нулю, не считая затрат на формулировку цели создания и общих требований к системе. После окончательного принятия решения о создании системы и формировании уточненных требований к ней к моменту времени  $t_1$  уровень неопределенности падает, и система принимает состояние  $S_1$ , представляющее собой описание требований к разрабатываемой системе. Промежуточные состояния  $S_0$  и  $S_1$  формируются, как правило, с помощью информации, поступающей от окружающей среды с небольшими косвенными затратами материалов и энергии, в основном на проведение расчетов и экспериментов по обоснованию характеристик системы.

При проектировании системы продолжает накапливаться информация  $I$  и при достижении требуемого уровня к моменту времени  $t_2$  утверждается окончательный вариант проекта в виде конструкторской документации для изготовления опытного образца (состояние  $S_2$ ). При этом начинает формироваться материальная часть системы, увеличиваются непосредственные энергетические затраты на ее создание (разработка и испытание различных устройств, подсистем, вариантов опытного образца).

В процессе изготовления средств системы в основном заканчивается формирование ее материальной части при высоких энергетических затратах, возрастает информация и уменьшается неопределенность (состояние  $S_3$  к моменту времени  $t_3$ ). В ходе эксплуатации средств системы и применения ее по

назначению продолжает возрастать суммарное потребление энергии, несколько снижается рост материальных затрат, продолжает накапливаться информация, необходимая для функционирования, доработок и технического обслуживания средств системы, соответственно уменьшается уровень неопределенности. При этом система испытывает энергетические и информационные воздействия окружающей среды, приводящие к ее разрушению и деградации (физическое старение) или неспособности выполнять дополнительные требования (моральное старение). В итоге наступает состояние  $S_m$  к моменту времени  $T$ , когда система снимается с эксплуатации. Этому моменту соответствуют максимальная информация о системе, максимальные суммарные энергетические и материальные затраты.

Системы создаются людьми и так же, как люди, рождаются, живут и умирают. Жизнь системы может быть и длиннее, и короче жизни ее создателя. Система понятий, представлений, жизненного опыта и навыков отдельного человека умирает вместе с ним, если он не позаботится о передаче своих знаний и опыта потомкам. Даже системы научных знаний, кристаллизующие обобщенный универсальный опыт нескольких поколений, достигнув своего расцвета, исчезают почти бесследно, уступая место новым системам. Если системам знаний угрожает только новое знание, то судьба материальных систем подчинена суровым законам реального мира: им приходится непрерывно бороться с разрушением тех материалов, из которых они сделаны.

Материальное воплощение системы не является начальным этапом – это логическое завершение пути ее развития, без которого система осталась бы чисто умозрительной конструкцией. Одновременно материализация служит мощным толчком возникновения новых идей, дающих жизнь новым системам.

Таким образом, жизнь системы протекает по замкнутому кругу, в чередовании этапов идеального – в виде идей или знаний – и материального существования (для развития системы уместнее использовать образ спирали, что, однако, не изменяет последовательности основных этапов жизненного цикла системы). С момента возникновения новой идеи в голове одного человека или группы людей начинается идеальный цикл жизни системы. Вначале идея может быть довольно смутной, может не получить признания, что обычно объясняется отсутствием ясно выраженных, назревших потребностей, связанных с ее использованием.

Историческое развитие общества, приводящее к возникновению данной потребности, становится, таким образом, объективным источником возникновения и развития новых систем. Соединение идеи с потребностью ее реализации дает мощный толчок научной разработке самой идеи, смежных проблем, вопросов проектирования и организации дальнейшего продвижения идеи.

**Фаза научной разработки**, включающая, в свою очередь, работы на нескольких уровнях фундаментальной и прикладной науки, завершается экспериментальным опробованием идеи и выбором путей практической реализации. Одновременно с завершением научных разработок или даже значительно опережая их, возникают и начинают прорабатываться идеи о

создании технической, производственной или какой-либо другой системы, материализующей первоначальную идею. *С этого момента начинается большой цикл работ, весьма различных по содержанию, но носящих общее название – проектирование.*

Система последовательно проходит основные фазы проектирования, причем разные стороны проекта могут прорабатываться множеством различных организаций. Здесь завершается первая половина жизни системы – ее идеальный цикл. Большинство систем заканчивает свое существование уже на какой-то фазе идеального цикла, не достигая материализации. Это явление вполне нормально, если отбраковка преследует цель выделить наиболее эффективные системы, с самого начала не допускать к реализации проекты с низкой эффективностью, пусть даже и необходимые с точки зрения текущих потребностей народного хозяйства.

Если первая часть жизни системы проходит главным образом на бумаге, то ее вторая часть – реальный цикл – осуществляется уже более активно, происходит изготовление опытного образца, испытания, опытная эксплуатация, доработка конструкторской документации и, наконец, серийный выпуск системы. Каждый новый объект неизбежно проходит через многие звенья строительного процесса – от выбора площадки и проведения на ней геодезических и геологических работ до завершения монтажа. Все, что было недостаточно продумано при проектировании, на всех фазах идеального цикла, все, что не удалось выявить и исправить при строительстве, все это проявляется теперь «в натуре», требуя доводки.

Выйдя в результате освоения на проектную мощность, ***система вступает в важнейший, целевой этап своего существования – этап практической эксплуатации.*** Здесь борются две противоположные тенденции:

- 1) износ оборудования постепенно приводит к нарастанию числа поломок и дефектов;
- 2) накопление опыта эксплуатации позволяет ликвидировать и предотвращать возникновение дефектов, находить внутренние резервы системы и за счет этого планомерно наращивать ее мощность.

Результирующая тенденция проявляется в динамике производительности труда. Тем не менее, начиная с определенного момента, внутренние резервы системы оказываются исчерпанными, система физически и морально устаревает и попытки удержать ее показатели на требуемом уровне приводят к падению производительности труда: растут расходы на ремонт, модернизацию. В конце концов, возникает необходимость в некоторых случаях в постепенном уничтожении системы, а в других случаях – необходимость в ее модернизации.

Принятие тех или иных решений на отдельных этапах жизни системы отражается на конечных результатах ее эксплуатации лишь косвенно, в соответствии с логикой взаимосвязи всех фаз жизненного цикла.

***Поэтому, чтобы управлять системой, необходимо «видеть всю жизнь» системы, уметь обосновать тот или иной вариант движения ее жизненного цикла.***

Управление позволяет существенно менять его содержание и характер, ускорять или замедлять развертывание спирали развития. Только в полном жизненном цикле при соотношении всех разнородных затрат на различных фазах этого цикла с полученным конечным полезным эффектом проявляется эффективность системы. В противном случае могут возникать системы, которые, имея удовлетворительные показатели на каждой фазе, оказываются неэффективными в пределах жизненного цикла. Это происходит, когда показатели деятельности организаций, отвечающих за отдельные фазы жизненного цикла (проектирование, строительство и т. д.), не согласованы с полным жизненным циклом системы по содержанию и срокам. При прочих равных условиях система тем эффективнее, чем меньше время оборота ее жизненного цикла.

**Полное время цикла** складывается из временных затрат каждой его фазы. Затягивание процессов проектирования и строительства может поставить систему в условия, когда самая высокопроизводительная эксплуатация не сможет компенсировать потерь эффективности. Чтобы исследовать зависимость эффективности системы от характера и длины ее жизненного цикла, используют развертку «круга жизни», или «спирали развития» системы в тех или иных координатах.

*Рассмотрим развертку жизненного цикла в экономических координатах «время – стоимость».* Реальный цикл экономической жизни системы можно разделить на четыре этапа.

**На первом этапе** (строительство или изготовление системы) кривая экономического эффекта падает вниз, отражая нарастающие затраты на создание системы. С момента ввода в строй объекта строительные затраты сменяются эксплуатационными, к которым со временем добавляются затраты на ремонт, замену и обновление элементов системы. С этого же момента начинается отдача возможных средств за счет экономической оценки обществом результатов деятельности системы – кривая эффекта начинает подниматься вверх.

**Второй этап жизни** системы заканчивается в тот момент, когда сумма накопленного экономического результата работы системы сравняется с суммой всех сделанных затрат (точка пересечения кривой оси времени), т. е. когда будут возвращены вложенные средства. Длительность этого этапа называется сроком окупаемости. Следует отметить, что срок окупаемости отражает лишь часть общего времени жизненного цикла системы.

Однако два первых этапа жизненного цикла, даже взятые в совокупности, еще не определяют эффективности системы. С экономической точки зрения в тот самый момент, когда заканчивается срок окупаемости, система и приобретает интерес для создателей системы. Только с этого момента она начинает вносить свой вклад в развитие экономики, способствовать процессу экономического роста. **Начинается третий этап**, в котором созданный объект вносит свой вклад в экономику, способствует росту производительности труда. Именно в этот период система дает обществу средства сверх возмещения затрат. Теоретически этот период жизни системы неограничен, однако на практике физический и моральный износ оборудования, изменение структуры

общественных потребностей, возрастающие требования к качеству ставят жесткие границы целесообразности существования системы.

Поэтому существует определенный срок, за который система успевает внести весомый вклад в развитие народного хозяйства, и в интересах этого развития должна уступить место более совершенным системам. В это время начинается *последний, четвертый, этап*, когда отдача системы постепенно падает. В итоге это приводит к тому, что система ложится грузом на экономику и во избежание излишних затрат должна быть своевременно и поэтапно ликвидирована.

Разумеется, граница между третьим и четвертым этапами жизненного цикла чисто условна. Определяется она достаточно точно: для этого нужно сопоставить кривую экономического эффекта системы с эталонной кривой, характеризующей средний по народному хозяйству темп экономического роста. Когда кривая экономического эффекта системы вторично пересекает эталонную кривую роста, «отставая» от нее, эффективность системы становится меньше, чем в среднем по народному хозяйству. Следует отметить, что экономическая развертка жизненного цикла не является единственно возможной.

## 2. Структура жизненного цикла

Для целенаправленного исследования жизненного цикла (ЖЦ) с использованием существующих научных теорий и методов *множество состояний системы*, формируемых в процессе ее создания и применения, *разбивают на подмножества по различным признакам*. Например:

- *подмножество состояний на начальном этапе проектирования*, когда система еще не имеет материального воплощения и описывается только с помощью концептуальных и математических моделей, используемых для ее исследования на этом этапе;
- *подмножество состояний, когда система уже воплощается* в виде физических моделей ее отдельных устройств или опытного образца на этапах изготовления и испытаний;
- *подмножество состояний, принимаемых системой в процессе ее функционирования* и т. д.

Целесообразной является группировка состояний по временному признаку – по стадиям и этапам, а также по работам, выполняемым на каждой стадии в процессе разработки и применения системы. В соответствии с этим иерархическую структуру ЖЦ представим в виде, изображенном на рисунке 7.2.

ЖЦ включает стадии  $S_1, S_2, \dots, S_n$ , каждая из которых включает этапы. Например, в составе стадии  $S_1$  входят этапы  $\mathcal{E}_{11}, \dots, \mathcal{E}_{m1}$ , которые, в свою очередь, делятся на работы. Возможно последующее деление работ на отдельные операции и т. д. В настоящее время нет общепринятых обозначений и наименований стадий, этапов и работ ЖЦ всех создаваемых систем.

Часто ЖЦ сложной системы представляется следующими стадиями:

$S_1$  – выбор облика системы;

- C2 – проектирование системы;
- C3 – изготовление элементов системы;
- C4 – эксплуатация системы, включая поэтапное снятие с эксплуатации элементов системы и их утилизацию;
- C5 – непосредственное применение системы.

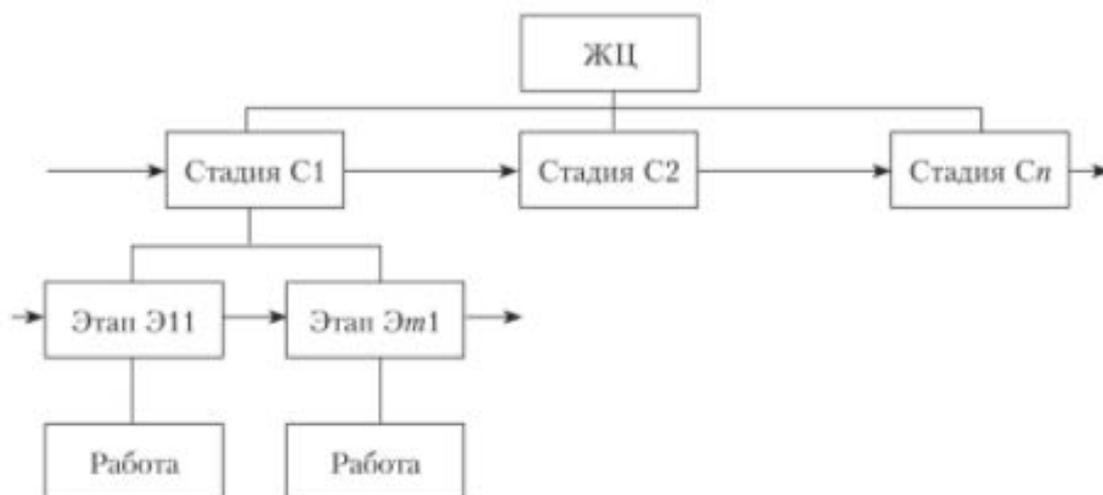


Рисунок 7.2 – Общая структура жизненного цикла

Содержание перечисленных этапов сводится к следующему.

***C1 – выбор облика системы.*** Этот этап начинается с замысла (формирования концепции), осознания потребностей в развитии или замене существующих технических систем, в связи с расширением и изменением характера задач или созданием принципиально новых систем на базе новых открытий либо изобретений. Затем реализуется маркетинг как система общепринятых стандартов эффективной предполагаемой сбытовой деятельности. Маркетинг призван обеспечить непрерывный поток ресурсов, денежных средств, информации о требованиях рынка и изменениях во всех факторах внешнего окружения.

***Замысел формируется рядом действий, основными из которых являются следующие:***

- анализ новых задач и выявление требований к системам, предназначенным для решения задач;
- выдвижение первоначальных тактико-технических требований к новым техническим системам, связанных с поставленными задачами и прогнозируемыми на ближайший период достижениями науки, техники и производства;
- поиск научных и технических принципов решения новых задач;
- разработка нескольких вариантов первоначального проекта в целях выявления «облика» технических систем, основных взаимосвязей ее элементов, путей решения важных технических проблем и определения необходимых ресурсов для создания и функционирования такой системы;

– исследование эффективности и оптимизация ее параметров при выборе предпочтительного варианта.

**Конечным результатом замысла являются** предложения или рекомендации по решению изучаемой проблемы в виде характеристик системы, объема и источников ресурсов для ее разработки и функционирования, а также оценка сроков ее создания и эксплуатации. Для выбора оптимальной системы требуется разработка нескольких принципиально различных вариантов технической системы, отвечающих единому замыслу.

**Основная задача** – определение типа каждого элемента системы на основе анализа соответствия целей, поставленных перед системой, и ее характеристик.

В результате этого можно предположить, что цели создания системы и ее общие характеристики также должны формироваться на данной стадии. Стадия включает этапы и работы, направленные на решение поставленной задачи. Для выполнения этапов и работ используются методы анализа систем с широким привлечением методов экспертных оценок и прогнозирования. Результатом работ стадии являются общие требования к системе и последующим стадиям ЖЦ. Значительное влияние на формирование облика системы оказывают нормативно-правовые документы.

**С2 – проектирование. Основная задача** – определение конкретных параметров каждого проектируемого элемента, исходя из оценки эффективности системы в целом в интересах разработки проектно-конструкторской документации. Стадия включает ряд этапов, обеспечивающих решение данной задачи. Для большинства создаваемых систем выделяются следующие этапы проектирования:

Э21 – разработка эскизного проекта;

Э22 – разработка технического проекта;

Э23 – разработка рабочего проекта или рабочей конструкторской документации.

Для выполнения этапов и работ стадии используются методы проектной эффективности с привлечением методов системного анализа, математических методов исследования операций и других системных направлений исследования. Работы стадии выполняются головными проектно-конструкторскими организациями и организациями, проектирующими отдельные элементы системы. Результатом проектирования является проектно-конструкторская документация, используемая для изготовления элементов системы.

**С3 – изготовление. Основная задача** – создание элементов системы, соответствующих требованиям конструкторской документации при ограничениях на используемые материальные ресурсы и время в условиях конкретной производственной базы. Для серийно производимых элементов стадия может включать следующие этапы:

Э31 – постановка на производство;

Э32 – серийное производство;

Э33 – поставка элемента эксплуатирующим организациям.

При выполнении этапов и работ используются методы исследования производственных процессов (планирования и организации разработок, технико-экономического анализа, надежности и т. п.). Работы стадии выполняются заводами-изготовителями совместно с проектно-конструкторскими организациями, разрабатывающими элементы системы.

***С4 – эксплуатация системы, включая поэтапное снятие с эксплуатации элементов системы и их утилизацию.***

***Основная задача С4 – обеспечение работоспособности элементов системы.*** Стадия может включать следующие чередующиеся этапы:

Э41 – ввод в эксплуатацию;

Э42 – приведение в готовность;

Э43 – поддержание в готовности;

Э44 – снятие с эксплуатации и утилизация.

При выполнении этапов и работ стадии используются методы исследования операций, методы теории эксплуатации и надежности сложных систем и др. Работы стадии в основном выполняются организациями, занимающимися техническим обслуживанием и ремонтом средств систем при научно-техническом сопровождении организациями-разработчиками или фирмами-интеграторами.

***С5 – применение. Основная задача – определение вариантов наилучшего использования элементов системы в конкретной сложившейся обстановке.*** Данную стадию можно разделить на два этапа:

Э51 – подготовка к применению;

Э52 – непосредственное применение по назначению.

Для решения поставленной задачи используются методы исследования эффективности применения элементов в составе системы и планирования операций. Стадия реализуется организациями, применяющими системы по назначению, для которых, собственно, и создаются технические системы.

Возможны и другие варианты деления ЖЦ произвольной сложной системы на стадии и этапы.

***Рассмотренное позволяет сделать общий вывод*** о том, что *жизненный цикл включает упорядоченную во времени последовательность стадий, этапов и работ, между которыми существуют определенные связи, отношения и взаимодействия.*

В итоге он представляет собой сложную систему, для исследования которой можно использовать основные понятия и закономерности общей теории систем. ЖЦ обладает системными свойствами. Ему присуща целостность, обуславливающая необходимость комплексного рассмотрения всех стадий и этапов при изучении интегративных свойств ЖЦ. Он имеет иерархическую структуру и может подвергаться делению на стадии, этапы, работы, вплоть до элементарных операций, выполняемых в процессе создания и функционирования системы.

ЖЦ обладает ***эквивинальностью***, т. е. *имеет предельные значения своих показателей, характеризующих затраты на создание и эксплуатацию системы, сроки ее разработки, эффективность в процессе применения,*

продолжительность всего периода существования системы. ЖЦ присуща также историчность, выражающаяся в том, что при создании и эксплуатации последующих систем учитывается опыт, приобретенный в процессе формирования ЖЦ предшествующих аналогичных систем. Он обладает коммуникативностью, так как процесс его формирования осуществляется в ходе непрерывного взаимодействия с окружающей средой.

***ЖЦ имеет следующие характеристики и особенности:***

- элементами жизненного цикла являются отдельные стадии, этапы и работы, рассматриваемые на соответствующих уровнях иерархии;
- между элементами ЖЦ существуют информационные и материальные связи, причем информация и материальные объекты, получаемые на предыдущих стадиях и этапах, используются для формирования последующих стадий и этапов;
- между элементами жизненного цикла существуют отношения подчинения;
- цели, достигаемые на каждой из стадий низшего иерархического уровня, подчинены целям стадий более высокого уровня;
- стадии и этапы ЖЦ имеют суперпозицию во времени, поэтому продолжительность ЖЦ не равна сумме продолжительности его стадий и этапов.

***Длительность цикла современных систем зависит от типа и специфики системы.*** Например, для многих сложных технических систем время от стадии фундаментальных и поисковых исследований до производственной и коммерческой реализации составляет 10–15 лет. По статистическим данным, время выполнения фундаментальных научно-исследовательских работ составляет 4–5 лет, а прикладных – 3 года. Эти оценки являются весьма приблизительными, но подчеркивают их довольно существенные величины и нацеливают на необходимость их сокращения. Продолжительность работ по созданию новых видов технических систем сокращается медленно. Оптимизация полного ЖЦ системы может привести к уменьшению этих сроков, а, следовательно, и к сокращению соответствующих полных затрат.

Большие сложные системы состоят из большого количества разнотипных, пространственно-разнесенных подсистем, звеньев и других средств, выполняющих различные функции, имеющих разнообразные связи и отношения между собой. Отдельные подсистемы могут автономно решать целый ряд задач и имеют возможность наращивания путем ввода в строй новых элементов и функций.

### **3. Цель и содержание предпроектной стадии**

***Предпроектная стадия ЖЦ системы имеет целью обосновать целесообразность создания системы и разработать требования к ней.***

Стадия содержит два основных этапа: Э11 – обоснование создания сложной системы; Э12 – разработка требований (тактико-технического задания – ТТЗ). Этап Э11 содержит следующие работы и операции:

- формирование предварительного замысла и цели создания системы;

- анализ (обследование) существующей системы;
- формирование облика новой системе;
- оценка эффективности и принятие решения о создании новой системы;
- разработка организационно-технических мероприятий по созданию системы.

Между перечисленными работами существуют прямые и обратные связи, которые образуют замкнутый цикл. *После формирования замысла* о создании системы производятся детальный анализ существующего положения дел и формирование облика новой системы. Результаты анализа используются для определения облика новой системы, а более детальное описание новой системы требует более глубокого анализа существующего положения дел. Кроме того, по результатам анализа и формирования облика осуществляется уточнение замысла и целей создания новой системы.

*На основании полученных предварительных данных* о существующем положении дел и создаваемой системе сравнительно оценивают эффективность и принимают решение о целесообразности создания новой системы. В процессе принятия решения может возникнуть необходимость в получении дополнительной информации и уточнении результатов выполнения работ данного этапа. Работы данного этапа выполняются до тех пор, пока не будет принято решение о целесообразности создания новой системы и разработке детальных требований к ней.

**Обоснование проектного варианта.** Рассматривая ЖЦ любой системы с практической точки зрения, ***можно выделить три основных этапа, которые проходит каждый проект в ходе своей реализации.***

*Прежде всего, требует доказательств и обоснований сама необходимость создания нового объекта или новой системы;* при наличии таких доказательств необходимо выбрать принципиальное решение, конкретный вариант реализации нового объекта или системы, оценить прямые и косвенные результаты его реализации. *Далее требуется создать развернутое идеальное представление будущего объекта или системы* в форме комплекса проектов: технического, организационного, экономического, архитектурного и др.

Эти проекты затем надо трансформировать в конкретные программы, а также в планы выполнения всех работ и мероприятий по созданию объекта или системы: строительно-монтажных, организационных, экономических, исследовательских, пуско-наладочных и др. Иначе говоря, ***прежде чем приступить к созданию нового, необходимо дать полные и четкие ответы на три основных вопроса: зачем создавать, что создавать и как создавать.*** К сожалению, на практике вопросам обоснования проектного варианта далеко не всегда уделяется должное внимание. Часто на вопрос «зачем создавать» ответ дается чрезвычайно простой – «надо». Круг вопросов, на которые следует ответить для обоснования необходимости создания системы, чрезвычайно широк. На все эти вопросы важно ответить как можно точнее, прежде чем прозвучит окончательное «надо».

Длительность периода обоснования проекта и количество участвующих в этом организаций не гарантируют того, что этот важнейший этап жизни проекта

будет проведен достаточно качественно. Затягивание этого процесса вызывается обычно сложностью и запутанностью процедуры согласования всевозможных проектных решений между различными организациями и ведомствами, отсутствием четкой системы распределения ответственности за своевременность принятия решений.

Если при этом каждая организация и ведомство отстаивают собственные интересы, то не только не обеспечивается всестороннее рассмотрение проекта, но даже, напротив, основные вопросы обоснования проекта могут вообще не ставиться, утонув в перипетиях борьбы «конфликтующих» сторон. В результате выбранный проектный вариант оказывается некоторым компромиссом между стремлениями различных организаций и ведомств.

**Стратегия работ по обоснованию нового проекта** должна начинаться с попыток обосновать создание какого-то конкретного проекта, тем более конкретного его варианта. Даже, если первоначальная идея возникает в такой конкретной форме, необходимо «подвергнуть ее сомнению», постаравшись выделить ее «рациональное зерно», т. е. общую проблему, стимулировавшую выдвижение идей. Такой проблемой в большинстве случаев является объективно существующая потребность в какой-либо продукции или в улучшении реализации какой-либо функции. Формулировка этой потребности должна быть произведена в максимально общей инвариантной форме – так, чтобы допустить к рассмотрению все возможные альтернативы удовлетворения этой потребности.

Практика разработки и обоснования крупных проектов показала, что удобной формой организации процесса обоснования проекта является создание целевых междисциплинарных групп, составляемых из специалистов различных профилей, чтобы получить оценки с различных точек зрения. Существует четкая система приоритетов при возникновении противоречий в оценках с различных точек зрения, причем сокращение сроков строительства – один из решающих критериев.

**В исследовании используется аналитический подход** – последовательный переход от общей проблемы к частным проблемам. Исследование не сводится к обоснованию экономической целесообразности осуществления проекта, учет неэкономических факторов повышает обоснованность принимаемого варианта. Организации исследований на стадии обоснования проекта принадлежит важнейшая роль в обеспечении перехода от инженерной интуиции и субъективных оценок экспертов к комплексному, многовариантному аналитическому исследованию. Необходимо избегать проникновения узковедомственного подхода в организацию исследований, в исходные предпосылки, методы и результаты. При обосновании проекта закладываются основы решений по применению передового отечественного и зарубежного опыта по снижению материалоемкости, ускорению темпов строительства за счет использования новых или коренным образом модернизированных старых технологий.

После того как проект в целом обоснован, определены его структура и перспектива, решаются задачи его размещения и привязки к конкретному месту. Практика показывает, что это отнюдь не простая задача. Конкретное место

корректирует все составные части проекта и часто оказывается решающим в его обосновании. На всех этапах анализа и обоснования проекта варианты решений должны проходить строгий «фильтр», задерживающий неэффективные решения, недоработанные с какой-либо точки зрения проекты с учетом косвенных эффектов и последствий реализации проекта, сопровождающих основной результат, в частности, с учетом влияния реализации проекта на окружающую среду.

**Центральным принципом исследования, безусловно, является обеспечение наибольшей эффективности как самого проекта, так и процесса его создания.** При этом основным приемом анализа эффективности любых проектов выступает оценка их вклада в проект интегральной эффективности. Для этой цели могут быть использованы различные экономико-математические методы, в частности, факторные модели.

**Важным принципом анализа эффективности создания и реализации проектов выступает учет полного эффекта.** На практике это осуществляется далеко не всегда. Ведь проектные характеристики и нормативы являются частными показателями, определяющими только данный проект и не учитывающими опосредованных связей с обществом и окружающей средой. Эти опосредованные эффекты могут быть весьма значительными и даже превышать по масштабам основной эффект. Нередко опосредованные эффекты проявляются лишь спустя много лет после реализации проекта, как это имеет место в случае загрязнения окружающей среды. Поэтому необходимо перейти от прямых характеристик эффекта к показателям полного эффекта проекта, учитывающим все опосредованные связи. **Не менее важен принцип анализа полных затрат.** Для получения показателя полных затрат на основании показателей прямых расходов по проекту необходимо проследить все цепочки обратных связей в экономике.

**Главная задача последнего этапа обоснования проекта** – его защита. Решающую роль в этом может и должен играть заказчик создаваемого объекта. Немаловажным вопросом является правовая регламентация основных элементов системы управления проектом, т. е. эффективное использование в ходе создания проекта правовых механизмов регулирования экономических взаимоотношений, применение необходимых санкций, штрафов и других мер для обеспечения точного и своевременного решения задач управления.

### **Контрольные вопросы:**

1. Что понимают под теорией цикла? Дайте определение понятия «цикл».
2. Что является носителем цикла?
3. Дайте определения понятия «жизненный цикл системы».
4. Под воздействием каких факторов и в результате соединения каких составляющих формируется жизненный цикл системы?
5. На какие этапы можно разделить реальный цикл экономической жизни системы?

6. Какие стадии включает в себя жизненный цикл системы? Каковы основные задачи стадий жизненного цикла?
7. Какие характеристики и особенности имеет жизненный цикл?
8. Какова цель предпроектной стадии жизненного цикла системы?
9. Какие работы и операции содержит этап обоснования создания сложной системы?
10. Что является центральным принципом исследования, проводимого на предпроектной стадии?

## **ЛЕКЦИЯ № 8. ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ НА СТАДИЯХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА**

1. Формирование замысла и цели создания системы.
2. Формирование облика системы.
3. Общий подход к выбору показателей системы.
4. Разработка критериев и показателей.
5. Разработка требований к системе.
6. Оценка эффективности системы.

### **1. Формирование замысла и цели создания системы**

*Замысел* возникает на основе выявления недостатков существующей системы, появления новых задач и требований, которой неспособна выполнить используемая система, новых достижений науки и техники, внедрения более перспективных аналогичных отечественных и зарубежных систем.

В ходе анализа перечисленных факторов формируется предварительное суждение о цели создания новой, эффективной системы, определяются перечень решаемых задач и основные направления разработки системы. В процессе формирования цели создания новой системы определяется перечень основных показателей, позволяющих сравнить существующую и вновь создаваемую системы. Перечисленные работы выполняются творчески на основе анализа и обработки большого объема информации и слабо формализуются. Для выполнения данных работ можно рекомендовать методы экспертных оценок и методы прогнозирования.

*Основная цель анализа существующей системы – определить целесообразность дальнейшего использования или совершенствования существующей системы, выявить ее недостатки и получить необходимые исходные данные для формирования облика и проектирования новой системы. Анализ может включать следующие работы:*

- подготовка к обследованию (выпуск распоряжения, разработка и согласование программы и методики обследования, создание и подготовка рабочих групп);

- проведение обследования (изучение организационной структуры системы, изучение основных задач и функций системы и ее элементов, изучение потоков входной и выходной информации, изучение источников и потребителей информации);
- обработка, анализ и оформление результатов (разработка схемы организационной структуры; описание перечня задач, решаемых системой, процесса функционирования системы, процессов обмена информацией и информационных потоков);
- определение перечня недостатков существующей системы и разработку предложений по ее совершенствованию.

*Обобщая перечисленные работы, можно выделить следующие виды анализа: структурный, функциональный и информационный.*

**Методологической основой анализа** является системный подход, сущность которого была рассмотрена ранее. В соответствии с этим подходом каждый из перечисленных видов анализа системы управления выполняется в следующей последовательности:

- формирование цели анализа;
- выбор показателей, позволяющих оценить эффективность анализируемого объекта;
- изучение и моделирование объекта с целью определения значений показателей и оценки эффективности;
- исследование модели, определение значений показателей и оценка эффективности объекта;
- выработка рекомендаций о целесообразности дальнейшего использования объекта, путях его совершенствования или замены.

**Структурный анализ** проводится с целью изучения структуры системы и получения исходных данных для разработки структуры создаваемой системы.

Для оценки эффективности структуры используются показатели  $g$ , характеризующие степень достижения целей системы, а также экономические показатели. В процессе изучения структуры системы определяются перечень подсистем, элементов и других объектов структуры и показатели каждого  $i$ -го элемента  $\mu_i$ , наличие и вид связи между элементами, показатели каждой связи  $\mu_{ij}$  между  $i$ -м и  $j$ -м элементами (пропускная способность, надежность, живучесть). При оценке значений показателей структуры используются различные способы графического и матричного описания структур, а также аналитические и алгоритмические зависимости обобщенных показателей структуры  $g$  от частных показателей ее элементов  $\mu_i$  и связей между ними  $\mu_{ij}$ .

Исследование модели и оценка структуры производятся на основании конкретных численных данных  $\mu_i$ ,  $\mu_{ij}$ , в результате чего по полученным зависимостям  $F$  определяются конкретные значения  $g$  и производится их оценка. На основе результатов оценки вырабатываются предварительные рекомендации по совершенствованию структуры.

**Функциональный анализ** осуществляется одновременно с исследованием структуры и неразрывно связан со структурным анализом.

**Цель функционального анализа** – изучение принятой схемы функционирования системы и получение исходных данных для разработки общего алгоритма функционирования системы, программного, информационного и технического обеспечения, а также для уточнения результатов структурного анализа.

Для оценки эффективности функционирования системы используются, как правило, обобщенные показатели. В ходе изучения процессов функционирования определяются:

- перечень задач, решаемых каждым элементом системы;
- способы и алгоритмы решения этих задач;
- требуемая входная и выходная информация;
- последовательность решения задач;
- должностные и временные характеристики задач;
- должностные инструкции, положения о функциях, правах и обязанностях подразделений и отдельных должностных лиц;
- данные о занятости персонала в реализации отдельных задач и функций.

В ходе изучения системы разрабатываются модели функционирования. Из них для комплексного описания и моделирования можно рекомендовать *функциональные схемы и сетевые графики*, а для моделирования работы отдельных звеньев целесообразно использовать *функциональные, структурно-функциональные модели*, которые, в свою очередь, обобщают различные детерминированные и стохастические модели. Функциональные модели отражают динамику анализируемой системы, т. е. изменение ее характеристик с течением времени или в зависимости от тех состояний, которые принимает система.

В соответствии с этим в процессе исследования системы с помощью перечисленных моделей определяются зависимости обобщенных показателей от времени функционирования, изменяющихся во времени частных показателей, характеристик различных состояний системы и входных процессов. С использованием полученных аналитических, графических, табличных алгоритмических и других зависимостей определяются количественные значения обобщенных показателей системы и производится их оценка.

**На основании результатов функционального анализа:**

- уточняется перечень решаемых задач, их взаимосвязь, постановки и описания;
- оцениваются периодичность и допустимое время решения задач;
- выявляются новые задачи, решение которых повышает эффективность системы;
- предлагаются рекомендации по разработке общего алгоритма функционирования системы.

**Информационный анализ** проводится с целью определения характеристик потоков и состава информации, циркулирующей между элементами системы, изучения методов ее классификации и кодирования, получения исходных данных для разработки информационного обеспечения, а также для уточнения результатов структурного и функционального анализа.

### ***В ходе информационного анализа определяются:***

- суммарные объемы поступающей и исходящей информации в единицу времени в целом по системе и отдельно по основным подсистемам и объектам;
- минимальный объем информации, постоянно хранящийся на объектах системы;
- единичные объемы передаваемой информации;
- способы доставки информации;
- основные направления информационных потоков;
- частота поступления информации;
- качественный состав информации.

При определении количественных значений перечисленных показателей и оценке их влияния на обобщенные показатели системы используются различные табличные (матричные) и графические модели, отражающие состав, основные показатели и характер взаимодействия информационных потоков. Исследование информационных моделей и оценка обобщенных показателей производится одновременно с проведением структурного и функционального анализа.

На основании результатов информационного анализа вырабатываются предварительные рекомендации по разработке информационного и лингвистического обеспечения, включающего рациональные методы кодирования и способы представления информации, состав информации, необходимой для нормального функционирования системы, структуру информационного обмена и др.

## **2. Формирование облика системы**

***Облик системы*** формируется на основе анализа общей цели создания системы, достижений науки и техники, изучения состояния и перспектив развития аналогичных отечественных и зарубежных систем. Процесс формирования облика в целом не может быть описан эффективной математической моделью, однако для принятия отдельных решений можно рекомендовать методы принятия решений в условиях высокой неопределенности, а также методы экспертных оценок и прогнозирования. ***Облик системы включает различные виды описаний: морфологические, функциональные, информационные, параметрические.***

***Морфологическое описание*** включает описание видов обеспечения системы, назначения, состава и размещения объектов и элементов системы. Оно может быть сделано в форме обычного текста с приложением рисунков, отражающих назначение, состав, структуру системы и ее основных элементов.

***Функциональное описание*** отражает порядок функционирования системы или общий алгоритм функционирования, перечень, процессы (алгоритмы) частных задач и последовательность их решения. Оно может выполняться в форме текста с приложением таблиц, блок-схем и сетевых графиков, определяющих порядок функционирования системы.

**Информационное описание** дополняет морфологическое и функциональное и включает описание входной и выходной информации, потоков информации, циркулирующей в системе, предполагаемых способов ее представления, кодирования и передачи.

**Параметрическое описание** включает перечень количественных показателей (параметров), характеризующих отдельные свойства системы, которые необходимо обеспечить в процессе ее проектирования и эксплуатации. Требования к показателям в виде различных ограничений формируются затем в процессе разработки ТТЗ. Данный перечень показателей образует систему показателей, разработка которой является достаточно сложной самостоятельной проблемой.

На формирование облика системы значительное влияние оказывают действующие нормативно-правовые документы. Так, например, облик создаваемых мультисервисных систем связи России во многом определяется Федеральным законом от 7 июля 2003 г. № 126-03 «О связи» и руководящим документом отрасли «Сети и службы передачи данных» РД.45.128-2000. В этом документе изложены технические принципы, которые должны применяться при построении, функционировании и использовании сетей и служб передачи данных на территории России.

Этот руководящий документ должен использоваться разработчиком и поставщиками средств передачи данных, в том числе и зарубежными, ориентирующимися на российский рынок. В этом документе приведены общие положения по построению сетей и служб передачи данных в России, определены услуги и службы передачи данных, и другие сведения, определяющие облик создаваемых мультисервисных сетей связи.

### **3. Общий подход к выбору показателей системы**

Для оценки систем (проектов) используются, как правило, **экономические и функциональные показатели**. Экономические показатели и оценки эффективности оказываются довольно грубым инструментом, когда речь заходит об оценке качества изделий или конструкций, о сложных соотношениях свойств или характеристик технических систем.

Так называемые функциональные критерии и оценки отражают стремление оценить качество выполнения изделием, комплексом изделий или системой их основного назначения – функции. Надежность прибора, технологичность изделия, производительность – все это примеры многообразных функциональных оценок, используемых при анализе функциональной эффективности.

Особенностью функциональных критериев и оценок является и то, что они в принципе несопоставимы между собой даже в том случае, когда получают одинаковое наименование и одинаковую размерность.

Чтобы преодолеть разобщенность и несопоставимость функциональных критериев, разрабатываются обобщенные критерии качества и функциональной

оценки сырья, полуфабрикатов или готовых изделий. Они часто имеют характер взвешенных статистических величин или агрегатных показателей. Однако ни один из агрегатных функциональных критериев не обладает общностью и универсальностью экономической оценки. Впрочем, и задачи функциональных оценок совершенно иные. Они призваны помочь инженеру, конструктору, технологу выбрать наилучший вариант реализации проекта, целесообразность создания которого обосновывается экономическими показателями и оценками.

*Содержанием функциональной эффективности здесь является достижение наилучшего выполнения функции системы с помощью наиболее простых, технологически целесообразных средств. Эффективность и здесь связывается с темпом или скоростью процесса технического и технологического совершенствования. Так, функциональная эффективность вычислительных машин за последние десятилетия была весьма высокой и неуклонно возрастала за счет роста быстродействия и увеличения памяти при одновременном совершенствовании технологии производства. Стоимостные и функциональные критерии взаимно дополняют друг друга, играя в то же время самостоятельную роль: стоимостные критерии указывают на экономические связи объекта, на его роль в производстве, функциональные – на его внутренние, организационные и технологические связи. Они обеспечивают выбор эффективных решений в задачах планирования, управления, организации и т. д.*

Таким образом, роль комплекса функциональных оценок эффективности заключается в том, чтобы расшифровать информацию, закодированную в стоимостных экономических оценках, раскрыть их смысл, помочь выбрать или спроектировать конкретный способ организации процесса, его детальную технологическую схему. В основе реализации любых функций технических или производственных систем лежат физические процессы (т. е. поддающиеся измерению в физических величинах). Поэтому логично предположить, что все многообразие функциональных оценок можно упорядочить при их анализе в физических понятиях для сведения их к физическим величинам.

Отсюда следует, что задачей физических мер и оценок эффективности является расшифровка экономических и функциональных критериев и мер эффективности с доведением до элементарных физических или информационных процессов, встроенных в единый процесс общественного производства. Они «вступают в игру» в тот момент, на том уровне рассмотрения, когда правомерно отвлечься от действия общественных, социально-экономических законов, когда поведение системы начинает определяться взаимосвязями физических законов и свойств конкретной системы. Физические оценки и показатели эффективности становятся средством выявления этих взаимосвязей.

#### **4. Разработка критериев и показателей**

Известно, что критерий – это правило выбора решения. Критерий призван связать любые действия, осуществляемые в системе, с целями ее

функционирования. Критерий позволяет отбирать наилучшим образом средства для достижения цели. Поскольку создание и использование различных средств достижения цели связаны с затратами на их создание и эксплуатацию, критерий должен соизмерять эти затраты с достигаемыми с их помощью результатами по реализации целевых задач. Критерий выступает «полномочным представителем» цели по всей системе. Он описывает задачи системы в более емкой и, как правило, более удобной форме, чем отдельное описание целей и возможных средств их достижения. Требуется лишь периодически анализировать соответствие использованных критериев целям системы, не допуская смещения целевых установок, вытекающих из используемых критериев, от главной цели системы. Это смещение часто становится главной проблемой в различных системах.

*В экономических системах критерий приобретает ряд особенностей, связанных с характером общественной организации производства.*

**Центральными задачами экономических критериев** являются оценка эффективности принимаемых решений, соизмерение общественной потребности и степени ее удовлетворения, оценка общественной необходимости, общественной полезности создаваемой или используемой системы.

**Другой важной стороной** экономических критериев выступает необходимость соизмерения результатов и затрат на их достижение. Как результаты, так и затраты – материальные, фондовые, трудовые – весьма различны по своему составу и характеру, так что критерий должен «уметь» соизмерять их единой мерой, общим способом.

**Третья важная сторона** экономических критериев – непрерывная сравнительная оценка возможности применения ресурсов, используемых в процессе создания и эксплуатации систем. Для каждой системы существует много вариантов исполнения, различающихся по материало-, энерго-, фондо- и трудоемкости, внутри каждого вида ресурсов существуют большие возможности взаимозамещения.

**Четвертой важной стороной** является единая стоимостная мера и единый способ измерения на основе закона стоимости. Каждый экономический критерий отражает частные, отдельные стороны экономической системы. Более того, содержание критерия зависит от способа его использования.

**Системой критериев будем называть** взаимосвязанный комплекс экономических, функциональных и физических величин, обладающих определенной размерностью в единой системе инвариантов и измеряющих основные качества системы и всех ее подсистем, управление которыми необходимо и достаточно для достижения цели системы.

В тех случаях, когда в системе критериев выделяется главный, причем допускающий точное количественное выражение, он называется критерием оптимальности. Однако это возможно лишь в очень ограниченном числе случаев. Не следует путать понятия *критерия оптимальности* – количественной формы отражения любого критерия – и *критерия эффективности*, отражающего существенные содержательные стороны функционирования

системы. Критерий оптимальности, взятый изолированно, может и вообще не соответствовать задаче эффективного развития системы.

Систему критериев всегда разрабатывают в определенном порядке исходя из критериев верхнего уровня системы и далее «сверху вниз», вплоть до процессов функционирования, прямо связанных с основным технологическим процессом. Такой порядок построения позволяет четко определить и выразить в форме критерия нижнего уровня вклад каждого звена в достижение задач, определяемых критерием верхнего уровня. С целью точного выявления факторов, влияющих на значения каждого критерия, предусматривается выделение компонентов, соответствующих организационно-техническим мероприятиям, и факторов, соответствующих мероприятиям по совершенствованию управления.

Рост эффективности непосредственно связан с ростом мощности систем. Принимая во внимание, что это возрастание мощности протекает всегда в определенный период времени, получаем, что эффективность прямо зависит от величины этого времени. Отсюда вытекает особая важность временных критериев, т. е. критериев, выраженных непосредственно во времени достижения целевых показателей.

***Можно выделить четыре компонента, входящих в состав любого количественного критерия:***

- 1) потенциальное значение критерия;
- 2) компоненты, определяемые экстенсивными факторами;
- 3) компоненты, отражающие факторы научно-технического прогресса и совершенства системы;
- 4) срок достижения заданной величины критерия.

Критерии выявляют содержание процессов функционирования системы, однако практически используются обычно не сами критерии, а построенные на их основе величины – показатели, допускающие простые процедуры расчета. Необозримое множество показателей, используемых в системах, зачастую ставит исследователя в тупик при попытке в них разобраться. Только на одном предприятии можно выделить десятки тысяч показателей, сложным образом сцепленных между собой. Любой показатель лишь приблизительно, косвенно отражает описываемый им процесс.

***По характеру отражения элементов описываемого процесса можно выделить три крупные группы показателей:***

- 1) отчетные и плановые показатели, непосредственно отражающие основные характеристики элементов процесса в натуральной или стоимостной форме;
- 2) нормативы, нормы и тарифы, являющиеся удельными характеристиками расходования средств, использования мощностей или создания продукции;
- 3) оценочные показатели, или оценки, дающие косвенное, относительное и обобщенное описание элементов процесса.

Все эти показатели, характеризующие один и тот же процесс, тесно связаны между собой. Процедура выбора показателей, достаточно и полно

отражающих свойства системы, сложна. На практике для оценки свойств систем и их элементов используются несколько сотен различных показателей: количественные, качественные, экономические, технические, общие, комплексные, частные, основные, вспомогательные, специфические, исходные, производные и т. п.

Для принятия решения и оценки степени влияния данных показателей друг на друга используют различные модели и принципы принятия решений, которые, однако, не позволяют формировать определенные однозначные ответы при оценке эффективности на ранних стадиях создания систем.

Рассмотрим **общий подход к формированию показателей**, который позволит в дальнейшем систематизировать основные этапы оценки эффективности системы и процедуры принятия решений в процессе ее создания и применения.

При стратифицированном описании систем **вся совокупность показателей, характеризующих систему, имеет иерархическую структуру:**

П1 – показатели, характеризующие систему на уровне моделей страты 1;

П2 – показатели, соответствующие страте 2;

П3, П4, ..., П<sub>n</sub> – частные технические показатели, соответствующие стратам 3, 4, ..., *n* до принятого уровня подробности исследования системы.

**Каждая группа показателей на соответствующем *i*-м уровне деления включает:**

– показатели эффективности, характеризующие суммарный эффект от применения системы или ее элементов, которые рассматриваются как отдельные системы на *i*-м уровне;

– параметры выбора, включающие показатели внешних свойств системы и ее элементов;

– организационно-экономические показатели ЖЦ, оказывающие непосредственное влияние на значения общего показателя эффективности.

Считается, что **между показателями эффективности и параметрами выбора всех уровней могут быть установлены функциональные, статистические или ассоциативные зависимости. Выделяются две группы таких зависимостей:**

– одноуровневые, определяющие взаимосвязь между показателями эффективности и параметрами выбора каждого уровня;

– межуровневые, определяющие взаимосвязь между параметрами выбора предыдущего уровня и показателями эффективности последующего уровня.

В соответствии с вышеизложенным можно предложить следующие **этапы определения показателей системы:**

– формулировка, анализ и декомпозиция цели, стоящей перед надсистемой;

– формирование облика и составление стратифицированного описания системы;

– **предварительное определение:** показателей, характеризующих эффективность достижения цели; параметров выбора, оказывающих непосредственное влияние на показатели эффективности системы и

характеризующие внешние свойства системы, условий выбора, включающих предполагаемые воздействия окружающей среды, возможность комплексирования системы с другими системами, наличие дублирующих систем и ограничения на допустимые значения показателей эффективности;

– *формирование моделей страты 1*, позволяющих исследовать влияние параметров и условий выбора на показатели эффективности, уточнение результатов выбора показателей и облика системы;

– *анализ описания системы в пределах страты 2, дальнейшая декомпозиция целей, стоящих перед системой*: определение целей подсистем страты 2, определение системотехнических показателей эффективности, характеризующих эффективность достижения целей подсистемами страты 2, параметров выбора, характеризующих внешние свойства, видов обеспечения системы, первичных и вторичных функциональных подсистем, определение условий выбора данных показателей;

– *формирование межуровневых зависимостей*; исследование с помощью этих зависимостей влияния показателей эффективности страты 2 на параметры выбора страты 1, определение на основе этого требований к показателям эффективности страты 2;

– *формирование моделей страты 2*, позволяющих исследовать влияние параметров и условий выбора на показатели эффективности страты 2;

– *уточнение результатов выбора показателей и облика системы*.

При переходе к страте 3 процедура выбора показателей повторяется. Процедура выбора заканчивается после достижения приемлемого равновесия между показателями и моделями всех уровней. Предельная детализация показателей зависит от принятой степени подробности исследования системы.

## **5. Разработка требований к системе**

Этап Э12 – разработка требований (тактико-технического задания – ТТЗ) – уточняют результаты работы предыдущего этапа Э11, но с более детальным их выполнением для обоснованной разработки требований к показателям системы. Кроме того, этап включает ряд работ и операций по исследованию отдельных свойств системы и этапов ее ЖЦ. Этап Э12 содержит следующие работы и операции:

– уточнение результатов работ этапа Э11;

– определение основания для разработки системы;

– разработка предложений по совершенствованию существующей системы;

– определение общей цели создания и назначения системы;

– уточнение облика создаваемой системы, детализация ее показателей;

– оценка эффективности и формирование на этой основе требований к системе;

– обоснование стадий, этапов и работ ЖЦ системы, сроков и затрат на выполнение работ, состава исполнителей, участвующих в создании системы;

– составление, согласование и утверждение в установленном порядке ТТЗ на создание системы.

Перечисленные работы образуют замкнутый цикл и выполняются до установления равновесия между получаемыми результатами в заданные сроки на разработку ТТЗ. Результаты работ до формирования окончательного варианта ТТЗ иногда представляют в виде технических предложений. Технические предложения согласовываются с заказчиком и служат основанием для составления ТТЗ на разработку системы. ТТЗ может содержать следующие разделы:

- наименование и индекс создаваемой системы;
- основание для создания;
- краткая характеристика существующей системы и требования к ее совершенствованию;
- цель создания и назначение системы;
- требования к системе;
- порядок разработки проектов и ввода в эксплуатацию средств системы;
- порядок контроля и приемки;
- требования к документированию;
- предварительный технико-экономический анализ разработки и оценка эффективности системы;
- источники финансирования разработки.

Раздел «Требования к системе», как правило, включает следующие подразделы:

- требования к совместимости (комплексированию) внешних систем и объектов с создаваемой системой;
- требования к общим показателям системы;
- состав и структура системы;
- требования к функционированию системы (общий алгоритм функционирования, перечень и алгоритмы решаемых задач, условия функционирования);
- требования к степени приспособленности системы к изменениям окружающей среды. Допустимые пределы модернизации и развития системы;
- требования к комплексу технических средств;
- требования к математическому и программному обеспечению;
- требования к информационному и лингвистическому обеспечению;
- требования к организационному обеспечению;
- требования к защите информации;
- требования по надежности, сейсмостойкости, побочным электромагнитным излучениям;
- состав и количественные показатели надежности для системы в целом и ее подсистем;
- требования к методам оценки и контроля показателей надежности на разных стадиях создания системы;
- требования к системе связи и передачи данных;

- требования к системе технического обслуживания и ремонта средств системы;
- требования к численности персонала, квалификации, порядку его подготовки и контролю знаний и навыков;
- требования по стандартизации и унификации;
- требования к патентной чистоте;
- специальные требования.

Разработка требований к системе производится фактически в течение всех этапов предпроектной стадии. Общие требования к системе отражаются в ТТЗ, а затем уточняются и детализируются практически на всех последующих стадиях ЖЦ. После принятия решения о создании системы уточняются требования к формируемому облику системы, включая ее морфологическое, функциональное, информационное и параметрическое описание.

При разработке количественных требований к показателям системы выполняется более детальная процедура выбора рациональных (оптимальных) показателей системы. При этом в соответствии с установленными показателями и критериями эффективности определяются требования к значениям показателей различных свойств и уровней описания системы, перечень которых должен быть отражен в ТТЗ. Как правило, требования задаются в виде ограничений на допустимые пределы значений показателей.

Многоочередность и многоуровневость ЖЦ сложных систем приводят к тому, что их необходимо создавать по нескольким ТТЗ. Существует иерархия ТТЗ, соответствующая составу системы и включающая общие тактико-технические требования (ТТТ) к системе в целом или целевой программе создания и развития системы:

- ТТТ на отдельные подсистемы и объекты системы;
- ТТТ на отдельные очереди системы, подсистемы, звенья, вновь разрабатываемые технические устройства и детали;
- частные ТТТ на сопряжение внешних систем с заданной системой;
- частные ТТТ на общее программное обеспечение отдельных ЭВМ и вычислительных систем, и комплексов, на специальное программное обеспечение звеньев, систем и т. д.

## **6. Оценка эффективности системы**

Оценке эффективности системы предшествует выбор показателей и комплекса моделей системы в соответствии с вышеизложенным подходом. Затем с использованием установленной иерархии показателей и моделей определяются значения показателей и производится их оценка по установленному критерию (признаку эффективности). На предпроектной стадии осуществляется сравнительная оценка существующей системы с формируемым обликом вновь разрабатываемой системы. Процедура такой оценки заключается в следующем. В ходе анализа существующей системы определяются значения обобщенных показателей эффективности, например:

- показателей оперативности, надежности;
- ежегодного дохода от применения системы;
- расходов на ее эксплуатацию и др.

Одновременно формируется облик вновь создаваемой системы и определяются значения ее аналогичных показателей. Затем в соответствии с заданной моделью предпочтений производится сравнительная оценка эффективности, существующей и вновь разрабатываемой систем, т. е. в ходе этой оценки необходимо принять решение, какая из систем дает больший эффект. При этом в зависимости от числа показателей, принятой модели предпочтений и степени неопределенности исходных данных могут использоваться различные методы принятия решений.

***Следует отличать процесс определения значений показателей эффективности существующей системы от процедуры получения рациональных значений показателей вновь создаваемой системы.***

***В первом случае*** значения показателей отражают свойства уже существующей системы и могут быть определены достаточно точно на основе известных системотехнических и частных технических показателей, полученных из достаточно продолжительного опыта применения системы.

***Во втором случае*** рациональные или оптимальные значения показателей фактически синтезируются совместно с формированием облика системы и определением значений ее частных показателей.

***Процедура определения значений показателей создаваемой системы*** сложна и основана на принципе сбалансированности (равновесия непротиворечивости) значений показателей всех уровней (страт) стратифицированного описания системы. ***Сущность такой процедуры заключается в следующем:***

- формируется предполагаемый облик системы, определяются показатели и модели различных уровней;

- моделируется процесс применения системы как элемента надсистемы, и в соответствии с полученными зависимостями определяются значения параметров выбора, обеспечивающие рациональные или оптимальные значения показателей эффективности при заданных условиях выбора;

- с использованием межуровневых зависимостей путем вариации системотехнических показателей эффективности при заданных условиях выбора определяется возможность выбора значений показателей эффективности, удовлетворяющих полученным значениям параметров выбора. В случае отсутствия такой возможности необходимо уточнить облик системы, скорректировать условия выбора и повторить расчет значений параметров выбора и проверку реализуемости показателя эффективности. Процедура повторяется до установления непротиворечивости между значениями показателей выбора и показателей эффективности, после чего устанавливаются приемлемые значения этих показателей;

- с использованием моделей страты 2, описывающих зависимости показателей эффективности от параметров и условий выбора на этом уровне, определяются системотехнические параметры выбора. Они обеспечивают

требуемые значения показателей эффективности. При необходимости эти показатели корректируются. Облик системы и значения показателей эффективности на стратегиях 1 и 2 и показателей выбора на стратегии 1 корректируются до установления возможности реализации параметров выбора на стратегии 2. Затем осуществляется переход к следующей стратегии.

Подобная итеративная процедура повторяется на каждой стратегии до тех пор, пока не будут определены требуемые значения всех показателей системы, соответствующие установленным критериям эффективности. Необходимо отметить, что на предпроектной стадии в условиях высокой неопределенности формируется исходный вариант значений показателей системы, которые могут дополняться и уточняться на последующих этапах и стадиях ЖЦ. Поэтому данная процедура будет многократно повторяться по мере создания системы, каждый раз приобретая все большую определенность.

### **Контрольные вопросы:**

1. На основании чего возникает замысел создания системы?
2. В чем состоит основная цель анализа существующей системы?
3. С какой целью проводятся структурный, функциональный и информационный анализы системы?
4. На основании чего формируется и какие описания включает в себя облик системы?
5. Что является содержанием понятия функциональной эффективности?
6. Что называют системой критериев для оценки системы?
7. Назовите основные этапы определения показателей системы?
8. Какие работы и операции содержит этап разработки требований к системе?
9. В чем состоит отличие процесса определения значений показателей эффективности существующей системы от процедуры получения рациональных значений показателей вновь создаваемой системы?

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антонов, А. В. Системный анализ: учебник / А. В. Антонов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: ИНФРА, 2018 – 366 с. – Текст: непосредственный. – ISBN 978-5-16-011865-9.
2. Балагинский, И. А. Прикладной системный анализ: учебное пособие / И. А. Балагинский. – Новосибирск: НГТУ, 2012. – 81 с. – Текст: непосредственный.
3. Качала, В. В. Теория систем и системный анализ: учебник для студентов учреждения высш. проф. образования / В. В. Качала. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 272 с. – Текст: непосредственный. – ISBN 978-5-7695-9148-8.
4. Кожухар, В. М. Основы научных исследований: Учебное пособие / В. М. Кожухар. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2010. – 216 с. – Текст: непосредственный.
5. Кузнецов В. В. Системный анализ: учебник и практикум для академического бакалавриата / под общ. ред. В. В. Кузнецова. – М.: Юрайт, 2017. – 270 с. – Текст: непосредственный. – ISBN 978-5-9916-8591-7.
6. Тарасенко, Ф. П. Прикладной системный анализ: учебное пособие / Ф. П. Тарасенко. – М.: КНОРУС, 2010. – 224 с. – Текст: непосредственный. – ISBN 978-5-406-00212-4.