

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра автоматики, физики и математики

Ракул Е.А.

ТЕОРИЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Учебное пособие

**для магистрантов очной и заочной форм обучения
направления подготовки**

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Брянская область 2019

УДК 51 (07)
ББК 22.1
Р 19

Ракул, Е. А. **Теория принятия решений**: учебное пособие для магистрантов очной и заочной форм обучения направления подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника / Е. А. Ракул. – Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2019. – 78 с.

Рецензенты:

Кисель Ю.Е., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой электроэнергетики и электротехнологий

Рекомендовано к изданию учебно-методической комиссией института энергетики и природопользования от 01.10.2019 г., протокол №1.

© Брянский ГАУ, 2019
© Ракул Е.А., 2019

СОДЕРЖАНИЕ

1 СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ КАК МЕТОДОЛОГИЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ	4
1.1 Системный анализ в структуре современных системных исследований	4
1.2 Классификация проблем по степени их структуризации	4
1.3 Принципы решения хорошо структурированных проблем	6
1.4 Принципы решения неструктурированных проблем	7
1.5 Принципы решения слабоструктурированных проблем	8
1.6 Основные этапы и методы системного анализа	9
1.7 Система предпочтений и системный подход к процессу принятия решений	11
2 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ТЕОРИИ СИСТЕМ	16
3 СИСТЕМНЫЕ СВОЙСТВА. КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ	22
4 УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМАМИ	33
5 ПОНЯТИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ МОДЕЛЕЙ	37
5.1 Понятие модели, моделирования	37
5.2 Познавательные и прагматические модели	37
5.3 Статические и динамические модели	39
5.4 Классификация моделей по способу воплощения	39
5.5 Место математического моделирования в системных исследованиях	40
5.6 Типы и виды математических моделей	43
6 ПОНЯТИЕ ПРОЦЕССА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ	49
6.1 Общие свойства процесса принятия решений	49
6.2 Участники процесса принятия решения	51
6.3 Схема процесса принятия решения	52
6.4 Формулирование проблемы	52
6.5 Определение целей	54
6.6 Генерирование альтернатив	55
6.7 Формирование критериев	57
6.8 Виды и особенности задач принятия решений	59
6.9 Формализация принятия решений	60
7 МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ	62
7.1 Свойства задач принятия решения со многими критериями	62
7.2 Формирование множества критериев	66
7.3 Методология решения многокритериальных задач	67
7.4 Методы принятия решения при нескольких критериях	71
8 ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ	73
8.1 Оценка сложных системы в условиях нестохастической неопределенности	73
8.2 Основные критерии принятия решений	74
ЛИТЕРАТУРА	77

1 СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ КАК МЕТОДОЛОГИЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ

Одним из направлений перестройки в высшем образовании является преодоление недостатков узкой специализации, усиление междисциплинарных связей, развитие диалектического видения мира, системного мышления.

1.1 Системный анализ в структуре современных системных исследований

В настоящее время в развитии наук наблюдаются две противоположные тенденции:

1. Дифференциация, когда при увеличении знаний и появлении новых проблем из более общих наук выделяются частные науки.

2. Интеграция, когда более общие науки возникают в результате обобщения и развития тех или иных разделов смежных наук и их методов.

В основе процессов дифференциации и интеграции лежат два фундаментальных принципа материалистической диалектики:

1. принцип качественного своеобразия различных форм движения материи, опр. необходимость изучать отдельные аспекты материального мира;

2. принцип материального единства мира, опр. необходимость получать целостное представление о каких-либо объектах материального мира.

В результате проявления интегративной тенденции появилась новая область научной деятельности: системные исследования, которые направлены на решение комплексных крупномасштабных проблем большой сложности.

В рамках системных исследований развиваются такие интеграционные науки, как: кибернетика, исследование операций, системотехника, системный анализ, искусственный интеллект и другие. То есть речь идет о создании ЭВМ пятого поколения (чтобы убрать всех посредников между ЭВМ и машиной).

Системный анализ разрабатывает системную методологию решения сложных прикладных проблем, опираясь на принципы системного подхода и общей теории систем, развития и методологически обобщая концептуальный (идейный) и математический аппарат кибернетики, исследования операций и системотехники.

Системный анализ представляет собой новое научное направление интеграционного типа, которое разрабатывает системную методологию принятия решений и занимает определенное место в структуре современных системных исследований.

1.2 Классификация проблем по степени их структуризации

Согласно классификации, предложенной Саймоном и Ньюэллом, все множество проблем в зависимости от глубины их познания подразделяется на три класса:

1. Хорошо структурированные, или количественно выраженные проблемы, которые поддаются математической формализации и решаются с использованием формальных методов.

2. Неструктурированные, или качественно выраженные проблемы, которые описываются лишь на содержательном уровне и решаются с использованием неформальных процедур.

3. Слабоструктурированные (смешанные проблемы), которые содержат количественные и качественные проблемы, причем качественные, малоизвестные и неопределенные стороны проблем имеют тенденцию доминирования.

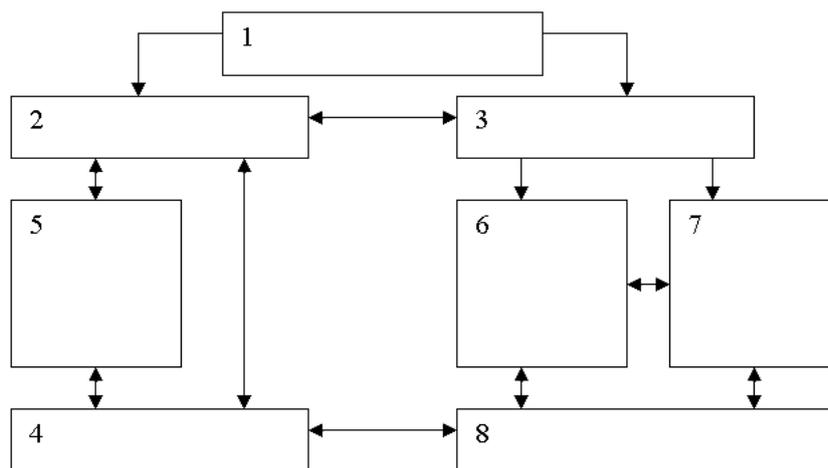


Рисунок 1 – Структурная схема системного анализа

1 – системные исследования; 2 – системный подход; 3 – конкретные системные концепции; 4 – общая теория систем (метатеория по отношению к конкретным системам); 5 – диалектический материализм (философские проблемы системных исследований); 6 – научные системные теории и модели (учение о биосфере земли; теория вероятностей; кибернетика и др.); 7 – технические системные теории и разработки — исследование операций; системотехника, системный анализ и др.; 8 – частные теории системы

Эти проблемы решаются на основе комплексного использования формальных методов и неформальных процедур. За основу классификации взята степень структуризации проблем, причем структура всей проблемы определяется пятью логическими элементами:

- цель или ряд целей;
- альтернативы достижения целей;
- ресурсы, расходуемые на реализацию альтернатив;
- модель или ряд моделей;
- критерий выбора предпочтительной альтернативы.

Степень структуризации проблемы определяется тем, насколько хорошо выделены и осознаны указанные элементы проблем.

Характерно, что одна и та же проблема может занимать различное место в таблице классификации. В процессе все более глубокого изучения, осмысления и анализа проблема может превратиться из неструктурированной в слабоструктурированную, а затем из слабоструктурированной в структурированную.

ную. При этом выбор метода решения проблемы определяется ее местом в таблице классификаций (Рис. 2).

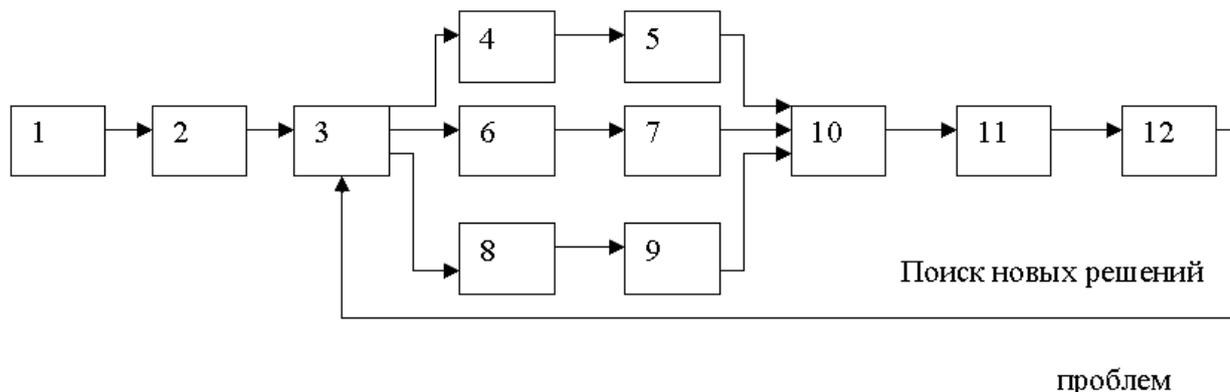


Рисунок 2 — Таблица классификаций

1 – выявление проблемы; 2 – постановка проблемы; 3 – решение проблемы; 4 – неструктурированная проблема (может решаться с помощью эвристических методов); 5 – методы экспертных оценок; 6 – слабо структурированная проблема; 7 – методы системного анализа; 8 – хорошо структурированная проблема; 9 – методы исследования операций; 10 – принятие решения; 11 – реализация решения; 12 – оценка решения

1.3 Принципы решения хорошо структурированных проблем

Для решения проблем этого класса широко используются математические методы исследования операций. В операционном исследовании можно выделить следующие основные этапы:

1. Определение конкурирующих стратегий достижения цели.
2. Построение математической модели операции.
3. Оценка эффективностей конкурирующих стратегий.
4. Выбор оптимальной стратегии достижения целей.

Математическая модель операции представляет собой функционал:

$$E = f(x, \alpha, \beta) \Rightarrow \text{extr}$$

где E – критерий эффективности операций; x – стратегия оперирующей стороны; α – множество условий проведения операций; β – множество условий внешней среды.

Модель позволяет оценить эффективность конкурирующих стратегий и выбрать из их числа оптимальную стратегию (Рис. 3).

Критерий эффективности операции должен удовлетворять ряду требований, а именно:

1. Представительность, т.е. критерий должен отражать основную, а не второстепенную цель операции.
2. Критичность, т.е. критерий должен изменяться при изменении параметров операций.
3. Единственность, так как только в этом случае можно найти строгое математическое решение задачи оптимизации.

4. Учет стохастичности, которая связана обычно со случайным характером некоторых параметров операций.

5. Учет неопределенностей, которые связаны с отсутствием какой-либо информации о некоторых параметрах операций.

6. Учет противодействия, которое вызывает часто сознательный противник, управляющий полными параметрами операций.

7. Простота, т.к. простой критерий позволяет упростить математические выкладки при поиске оптимального решения.

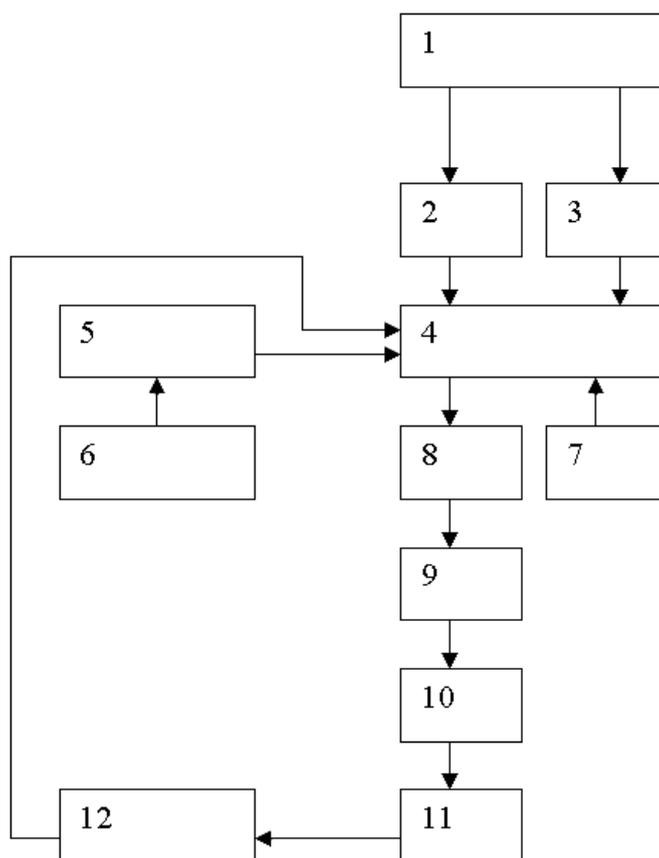


Рисунок 3 – Модель выбора оптимальной стратегии

1 – постоянство проблемы; 2 – ограничения; 3 – критерий эффективности операций; 4 – математическая модель операции; 5 – параметры модели; 6 – конкурирующие стратегии; 7 – анализ и стратегии; 8 – оптимальная стратегия; 9 – утвержденная стратегия (более простая, но которая удовлетворяет еще ряду критериев); 10 – реализация решения; 11 – корректировка модели

1.4 Принципы решения неструктурированных проблем

Для решения проблем этого класса целесообразно использовать *методы экспертных оценок*.

Методы экспертных оценок применяются в тех случаях, когда математическая формализация проблем либо невозможна в силу их новизны и сложности, либо требует больших затрат времени и средств. Общим для всех методов экспертных оценок является обращение к опыту, указанию и интуиции специалистов, выполняющих функции экспертов. Давая ответы на поставленный вопрос,

эксперты являются как бы датчиками информации, которая анализируется и обобщается. Можно утверждать, следовательно: если в диапазоне ответов имеется истинный ответ, то совокупность разрозненных мнений может быть эффективно синтезирована в некоторое обобщенное мнение, близкое к реальности. Любой метод экспертных оценок представляет собой совокупность процедур, направленных на получение информации эвристического происхождения и обработку этой информации с помощью математико-статистических методов.

Процесс подготовки и проведения экспертизы включает следующие этапы:

- определение целей экспертизы;
- формирование группы специалистов-аналитиков;
- формирование группы экспертов;
- разработка сценария и процедур экспертизы;
- сбор и анализ экспертной информации;
- обработка экспертной информации;
- анализ результатов экспертизы и принятия решений.

При формировании группы экспертов необходимо учитывать их индивидуальные характеристики, которые влияют на результаты экспертизы:

- компетентность (уровень профессиональной подготовки)
- креативность (творческие способности человека)
- конструктивность мышления (не «летать» в облаках)
- конформизм (подверженность влиянию авторитета)
- отношение к экспертизе
- коллективизм и самокритичность

Методы экспертных оценок применяются достаточно успешно в следующих ситуациях:

- выбор целей и тематики научных исследований;
- выбор вариантов сложных технических и социально-экономических проектов и программ;
- построение и анализ моделей сложных объектов;
- построение критериев в задачах векторной оптимизации;
- классификация однородных объектов по степени выраженности какого-либо свойства;
- оценка качества продукции и новой техники;
- принятие решений в задачах управления производством;
- перспективное и текущее планирование производства;
- научно-техническое и экономическое прогнозирование и т.д.

1.5 Принципы решения слабоструктурированных проблем

Для решения проблем этого класса целесообразно использовать методы системного анализа. Проблемы, решаемые с помощью системного анализа, имеют ряд характерных особенностей:

1. Принимаемое решение относится к будущему.
2. Имеется широкий диапазон альтернатив.
3. Решения зависят от текущей неполноты технологических достижений.

4. Принимаемые решения требуют больших вложений ресурсов и содержат элементы риска.

5. Не полностью определены требования, относящиеся к стоимости и времени решения проблемы.

6. Проблема внутренняя сложна вследствие того, что для ее решения необходимо комбинирование различных ресурсов.

Основные концепции системного анализа состоят в следующем:

- процесс решения проблемы должен начинаться с выявления и обоснования конечной цели, которой хотят достичь в той или иной области и уже на этом основании определяются промежуточные цели и задачи;

- к любой проблеме необходимо подходить, как к сложной системе, выявляя при этом все возможные проблемы и взаимосвязи, а также последствия тех или иных решений;

- в процессе решения проблемы осуществляется формирование множества альтернатив достижения цели; оценка этих альтернатив с помощью соответствующих критериев и выбор предпочтительной альтернативы;

- организационная структура механизма решения проблемы должна подчиняться цели или ряду целей, а не наоборот.

Системный анализ представляет собой многошаговый итеративный процесс, причем исходным моментом этого процесса является формулировка проблемы в некоторой первоначальной форме (Рис. 4). При формулировке проблемы необходимо учитывать два противоречивых требования:

1. Проблема должна формулироваться достаточно широко, чтобы ничего существенного не упустить;

2. Проблема должна формироваться таким образом, чтобы она была обзорной и могла быть структурирована. В ходе системного анализа степень структуризации проблемы повышается, т.е. проблема формулируется все более четко и исчерпывающе.

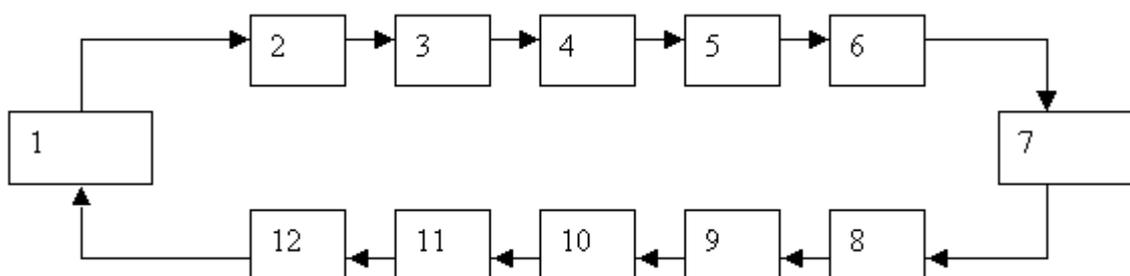


Рисунок 4 – Один шаг системного анализа

1 – постановка проблемы; 2 – обоснование цели; 3 – формирование альтернатив; 4 – исследование ресурса; 5 – построение модели; 6 – оценка альтернатив; 7 – принятие решения (выбор одного решения); 8 – анализ чувствительности; 9 – проверка исходных данных; 10 – уточнение конечной цели; 11 – поиск новых альтернатив; 12 – анализ ресурсов и критериев

1.6 Основные этапы и методы системного анализа

Системный анализ предусматривает: разработку системного метода решения проблемы, т.е. логически и процедурно организованную последователь-

ность операций, направленных на выбор предпочтительной альтернативы решения. Системный анализ реализуется практически в несколько этапов, однако в отношении их числа и содержания пока еще нет единства, т.к. существует большое разнообразие прикладных проблем.

Приведем таблицу, которая иллюстрирует основные закономерности системного анализа трех различных научных школ (Табл. 1).

Таблица 1 – Основные закономерности системного анализа

Основные этапы системного анализа		
По Ф. Хансману ФРГ, 1978 год	По Д. Джеферсу США, 1981 год	По В. В. Дружинину СССР, 1988 год
<ol style="list-style-type: none"> 1. Общая ориентация в проблеме (эскизная постановка проблемы) 2. Выбор соответствующих критериев 3. Формирование альтернативных решений 4. Выделение существенных факторов внешней среды 5. Построение модели и ее проверка 6. Оценка и прогноз параметров модели 7. Получение информации на основе модели 8. Подготовка к выбору решения 9. Реализация и контроль 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Выбор проблемы 2. Постановка задачи и ограничение степени ее сложности 3. Установление иерархии, целей и задач 4. Выбор путей решения задачи 5. Моделирование 6. Оценка возможных стратегий 7. Внедрение результатов 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Выделение проблемы 2. Описание 3. Установление критериев 4. Идеализация (предельное упрощение, попытка построения модели) 5. Декомпозиция (разбивка по частям, нахождения решений по частям) 6. Композиция («склеивание» частей вместе) 7. Принятие наилучшего решения

В научный инструментарий системного анализа входят следующие методы:

- метод сценариев;
- метод дерева целей (есть конечная цель, она разбивается на подцели, подцели на проблемы и т.д., т.е. декомпозиция до задач, которые мы можем решить);
- метод морфологического анализа (для изобретений);
- методы экспертных оценок
- вероятностно-статистические методы;
- кибернетические методы (объект в виде черного ящика);
- методы скалярной оптимизации;
- методы векторной оптимизации;

- методы имитационного моделирования (например, GPSS);
- сетевые методы;
- матричные методы;
- методы экономического анализа и др.

В процессе системного анализа на разных его уровнях применяются различные методы, в которых эвристика сочетается с формализмом. Системный анализ выполняет роль методологического каркаса, объединяющего все необходимые методы, исследовательские приемы, мероприятия и ресурсы для решения проблем.

1.7 Система предпочтений и системный подход к процессу принятия решений

Процесс принятия решения состоит в выборе рационального решения из некоторого множества альтернативных решений с учетом системы предпочтений. Как и всякий процесс, в котором участвует человек, он имеет две стороны: объективную и субъективную.

Объективная сторона — это то, что реально вне сознания человека, а субъективная — это то, что находит отражение в сознании человека, т.е. объективное в сознании человека. Объективное отражается в сознании человека не всегда достаточно адекватно, однако отсюда не следует, что не может быть правильных решений. Практически верным считается такое решение, которое в главных чертах правильно отражает обстановку и соответствует поставленной задаче.

Система предпочтений ЛПР (лица принимающего решения) определяется многими факторами:

- понимание проблемы и перспектив развития;
- текущая информация о состоянии некоторой операции и внешние условия ее протекания;
- директивы от вышестоящих инстанций и различного рода ограничений;
- юридические, экономические, социальные, психологические факторы, традиции и др.

Находясь в этих тисках, ЛПР должен нормировать множество потенциально возможных решений из них. Из них отобрать четыре-пять лучших и из них — единственное решение.

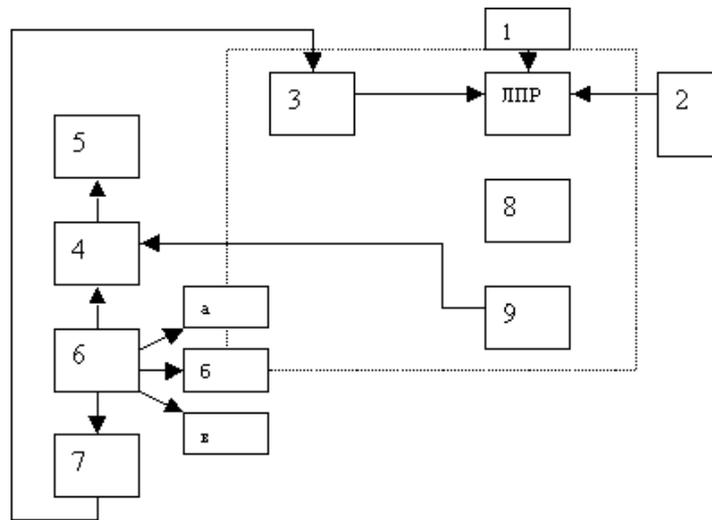


Рисунок 5 – Система предпочтений

1 – директивы от вышестоящих инстанций о целях и задачах операций (тех. процессы, прогнозирование); 2 – ограничения по ресурсам, степени самостоятельности и др.; 3 – переработка информации; 4 – операция; 5 – информация о состоянии операции; 6 – внешние условия (а - детерминирование; б – стохастические; в – организованное противодействие); 7 – информация о внешних условиях; 8 – рациональное решение; 9 – синтез управления (зависит от системы)

Системный подход к процессу принятия решений состоит в реализации трех взаимосвязанных процедур (Рис. 6):

1. Выделяется множество потенциально возможных решений.
2. Из их числа отбирается множество конкурирующих решений.
3. Выбирается рациональное решение с учетом системы предпочтений ЛПР.

Современный системный анализ является прикладной наукой, нацеленной на выяснение причин реальных сложностей, возникших перед «обладателем проблемы» и на выработку вариантов их устранения. В наиболее развитой форме системный анализ включает и непосредственное, практическое улучшающее вмешательство в проблемную ситуацию.

Системность не должна казаться неким нововведением, последним достижением науки. Системность есть всеобщее свойство материи, форма ее существования, а значит, и неотъемлемое свойство человеческой практики, включая мышление. Всякая деятельность может быть менее или более системной. Появление проблемы — признак недостаточной системности; решение проблемы — результат повышения системности. Теоретическая мысль на разных уровнях абстракции отражала системность мира вообще и системность человеческого познания и практики. На философском уровне — это диалектический материализм, на общенаучном — системология и общая теория систем, теория организации; на естественнонаучном — кибернетика. С развитием вычислительной техники возникли информатика и искусственный интеллект.

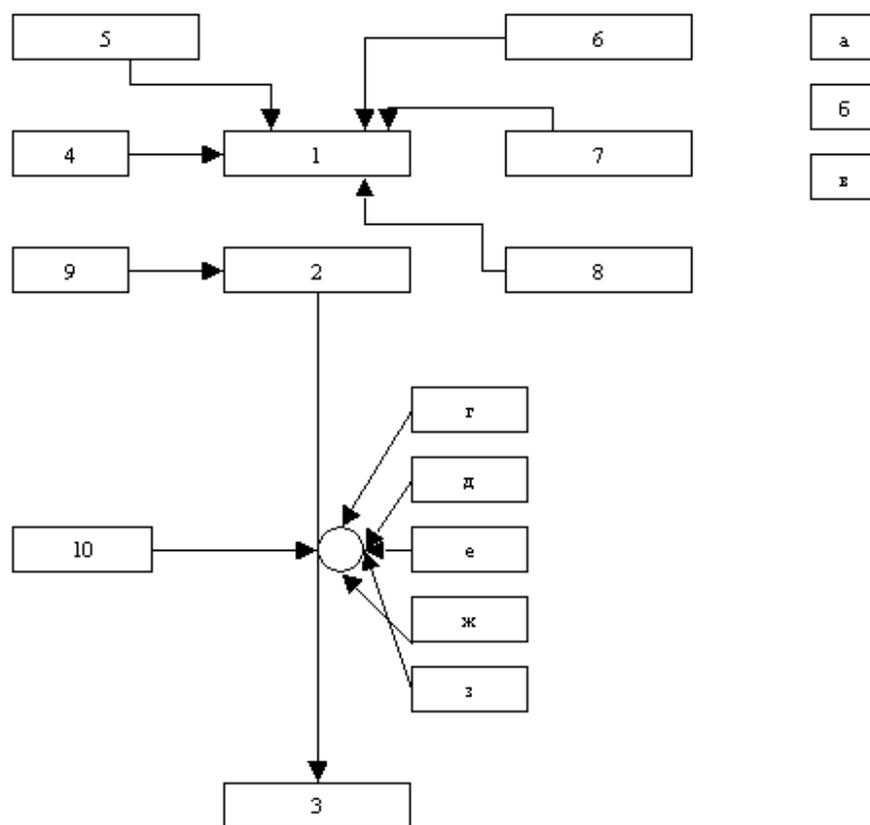


Рисунок 6 – Системный подход к процессу принятия решений

В начале 80-х годов стало очевидным, что все эти теоретические и прикладные дисциплины образуют как бы единый поток, «системное движение». Системность становится не только теоретической категорией, но и осознанным аспектом практической деятельности. Поскольку большие и сложные системы по необходимости стали предметом изучения, управления и проектирования, потребовалось обобщение методов исследования систем и методов воздействия на них. Должна была возникнуть некая прикладная наука, являющаяся «мостом» между абстрактными теориями системности и живой системной практикой. Она и возникла — сначала, как мы отмечали, в различных областях и под разными названиями, а в последние годы сформировалась в науку, которая получила название «системный анализ».

Особенности современного системного анализа вытекают из самой природы сложных систем. Имея в качестве цели ликвидацию проблемы или, как минимум, выяснение ее причин, системный анализ привлекает для этого широкий спектр средств, использует возможности различных наук и практических сфер деятельности. Являясь по существу прикладной диалектикой, системный анализ придает большое значение методологическим аспектам любого системного исследования. С другой стороны, прикладная направленность системного анализа приводит к использованию всех современных средств научных исследований — математики, вычислительной техники, моделирования, натурных наблюдений и экспериментов.

В ходе исследования реальной системы обычно приходится сталкиваться с самыми разнообразными проблемами; быть профессионалом в каждой из них невозможно одному человеку. Выход видится в том, чтобы тот, кто берется осуществлять системный анализ, имел образование и опыт, необходимые для опознания и классификации конкретных проблем, для определения того, к каким специалистам следует обратиться для продолжения анализа. Это предъявляет особые требования к специалистам-системщикам: они должны обладать широкой эрудицией, раскованностью мышления, умением привлекать людей к работе, организовывать коллективную деятельность.

Развитие системных представлений. Что означает само слово «система» или «большая система», что означает «действовать системно»? Ответы на эти вопросы мы будем получать постепенно, повышая уровень системности наших знаний, в чем и состоит цель данного курса лекций. Пока же нам достаточно тех ассоциаций, которые возникают при употреблении в обычной речи слова «система» в сочетании со словами «общественно-политическая», «Солнечная», «нервная», «отопительная» или «уравнений», «показателей», «взглядов и убеждений». Впоследствии мы будем подробно и всесторонне рассматривать признаки системности, а сейчас отметим только самые очевидные и обязательные из них:

- структурированность системы;
- взаимосвязанность составляющих ее частей;
- подчиненность организации всей системы определенной цели.

Системность практической деятельности. По отношению, например, к человеческой деятельности указанные признаки очевидны, поскольку каждый из нас легко обнаружит их в своей собственной практической деятельности. Всякое наше осознанное действие преследует вполне определенную цель; во всяком действии легко увидеть его составные части, более мелкие действия. При этом составные части выполняются не в произвольном порядке, а в определенной их последовательности. Это и есть определенная, подчиненная цели взаимосвязанность составных частей, которая и является признаком системности.

Системность и алгоритмичность. Другое название для такого построения деятельности – алгоритмичность. Понятие алгоритма возникло вначале в математике и означало задание точно определенной последовательности однозначно понимаемых операций над числами или другими математическими объектами. В последние годы начинает осознаваться алгоритмичность любой деятельности. Уже говорят не только об алгоритмах принятия управленческих решений, об алгоритмах обучения, алгоритмах игры в шахматы, но и об алгоритмах изобретательства, алгоритмах композиции музыки. Подчеркнем, что при этом делается отход от математического понимания алгоритма: сохраняя логическую последовательность действий, допускается, что в алгоритме могут присутствовать неформализованные действия. Таким образом, явная алгоритмизация любой практической деятельности является важным свойством ее развития.

Системность познавательной деятельности. Одна из особенностей познания — наличие аналитического и синтетического образов мышления. Суть анализа состоит в разделении целого на части, в представлении сложного в ви-

де совокупности более простых компонент. Но чтобы познать целое, сложное, необходим и обратный процесс — синтез. Это относится не только к индивидуальному мышлению, но и к общечеловеческому знанию. Скажем так, расчлененность мышления на анализ и синтез и взаимосвязанность этих частей являются важнейшим признаком системности познания.

Системность как всеобщее свойство материи. Здесь нам важно выделить ту мысль, что системность — это не только свойство человеческой практики, включающей и внешнюю активную деятельность, и мышление, но свойство всей материи. Системность нашего мышления вытекает из системности мира. Современные научные данные и современные системные представления позволяют говорить о мире как о бесконечной иерархической системе систем, находящихся в развитии и на разных стадиях развития, на разных уровнях системной иерархии.

2 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ТЕОРИИ СИСТЕМ

Термины теория систем и системный анализ, несмотря на период более 25 лет их использования, все еще не нашли общепринятого, стандартного толкования.

Причина этого факта заключается в динамичности процессов в области человеческой деятельности и в принципиальной возможности использовать системный подход практически в любой решаемой человеком задаче.

Общая теория систем (ОТС) — научная дисциплина, изучающая самые фундаментальные понятия и аспекты систем. Она изучает различные явления, отвлекаясь от их конкретной природы и основываясь лишь на формальных взаимосвязях между различными составляющими их факторами и на характере их изменения под влиянием внешних условий, при этом результаты всех наблюдений объясняются лишь взаимодействием их компонентов, например характером их организации и функционирования, а не с помощью непосредственного обращения к природе вовлечённых в явления механизмов (будь они физическими, биологическими, экологическими, социологическими, или концептуальными).

Для ОТС объектом исследования является не «физическая реальность», а «система», т.е. абстрактная формальная взаимосвязь между основными признаками и свойствами.

При системном подходе объект исследования представляется как система. Само понятие система может быть относимо к одному из методологических понятий, поскольку рассмотрение объекта исследуется как система или отказ от такого рассмотрения зависит от задачи исследования и самого исследователя.

Существует много определений системы.

1. Система есть комплекс элементов, находящийся во взаимодействии.
2. Система — это множество объектов вместе с отношениями этих объектов.
3. Система — множество элементов находящихся в отношениях или связях друг с другом, образующая целостность или органическое единство (толковый словарь).

Термины «отношение» и «взаимодействие» используются в самом широком смысле, включая весь набор родственных понятий, таких как ограничение, структура, организационная связь, соединение, зависимость и т.д.

Таким образом, система S представляет собой упорядоченную пару $S=(A, R)$, где A — множество элементов; R — множество отношений между A .

Система — это полный, целостный набор элементов (компонентов), взаимосвязанных и взаимодействующих между собой так, чтобы могла реализоваться функция системы.

Исследование объекта как системы предполагает использование ряда систем представлений (категорий) среди которых основными являются:

1. Структурное представление связано с выделением элементов системы и связей между ними.
2. Функциональное представление систем — выделение совокупности функций (целенаправленных действий) системы и её компонентов направленное на достижение определённой цели.

3. Макроскопическое представление — понимание системы как нерасчлененного целого, взаимодействующего с внешней средой.

4. Микроскопическое представление основано на рассмотрении системы как совокупности взаимосвязанных элементов. Оно предполагает раскрытие структуры системы.

5. Иерархическое представление основано на понятии подсистемы, получаемом при разложении (декомпозиции) системы, обладающей системными свойствами, которые следует отличать от её элемента — неделимого на более мелкие части (с точки зрения решаемой задачи). Система может быть представлена в виду совокупностей подсистем различных уровней, составляющую системную иерархию, которая замыкается снизу только элементами.

6. Процессуальное представление предполагает понимание системного объекта как динамического объекта, характеризующегося последовательностью его состояний во времени.

Рассмотрим определения других понятий, тесно связанных с системой и ее характеристиками.

Объект. Объектом познания является часть реального мира, которая выделяется и воспринимается как единое целое в течение длительного времени. Объект может быть материальным и абстрактным, естественным и искусственным. Реально объект обладает бесконечным набором свойств различной природы. Практически в процессе познания взаимодействие осуществляется с ограниченным множеством свойств, лежащих в пределах возможности их восприятия и необходимости для цели познания. Поэтому система как образ объекта задаётся на конечном множестве отобранных для наблюдения свойств.

Внешняя среда. Понятие «система» возникает там и тогда, где и когда мы материально или умозрительно проводим замкнутую границу между неограниченным или некоторым ограниченным множеством элементов. Те элементы с их соответствующей взаимной обусловленностью, которые попадают внутрь, — образуют систему.

Те элементы, которые остались за пределами границы, образуют множество, называемое в теории систем «системным окружением» или просто «окружением», или «внешней средой».

Из этих рассуждений вытекает, что немислимо рассматривать систему без ее внешней среды. Система формирует и проявляет свои свойства в процессе взаимодействия с окружением, являясь при этом ведущим компонентом этого воздействия.

В зависимости от воздействия на окружение и характер взаимодействия с другими системами функции систем можно расположить по возрастающему рангу следующим образом:

- пассивное существование;
- материал для других систем;
- обслуживание систем более высокого порядка;
- противостояние другим системам (выживание);
- поглощение других систем (экспансия);
- преобразование других систем и сред (активная роль).

Всякая система может рассматриваться, с одной стороны, как подсистема более высокого порядка (надсистемы), а с другой, как надсистема системы более низкого порядка (подсистема). Например, система «производственный цех» входит как подсистема в систему более высокого ранга — «фирма». В свою очередь, надсистема «фирма» может являться подсистемой «корпорации». Обычно в качестве подсистем фигурирует более или менее самостоятельные части систем, выделяемые по определённым признакам, обладающие относительной самостоятельностью, определённой степенью свободы.

Компонент — любая часть системы, вступающая в определённые отношения с другими частями (подсистемами, элементами).

Элементом системы является часть системы с однозначно определёнными свойствами, выполняющие определённые функции и не подлежащие дальнейшему разбиению в рамках решаемой задачи (с точки зрения исследователя).

Понятие элемент, подсистема, система взаимопреобразуемы, система может рассматриваться как элемент системы более высокого порядка (метасистема), а элемент при углубленном анализе, как система. То обстоятельство, что любая подсистема является одновременно и относительно самостоятельной системой приводит к двум аспектам изучения систем: на макро- и микро- уровнях.

При изучении на макроуровне основное внимание уделяется взаимодействию системы с внешней средой. Причём системы более высокого уровня можно рассматривать как часть внешней среды. При таком подходе главными факторами являются целевая функция системы (цель), условия её функционирования. При этом элементы системы изучаются с точки зрения организации их в единое целое, влияние на функции системы в целом.

На микроуровне основными становятся внутренние характеристики системы, характер взаимодействия элементов между собой, их свойства и условия функционирования. Для изучения системы сочетаются оба компонента.

Структура системы. Под структурой системы понимается устойчивое множество отношений, которое сохраняется длительное время неизменным, по крайней мере в течение интервала наблюдения. Структура системы опережает определённый уровень сложности по составу отношений на множестве элементов системы или что эквивалентно, уровень разнообразий проявлений объекта.

Связи — это элементы, осуществляющие непосредственное взаимодействие между элементами (или подсистемами) системы, а также с элементами и подсистемами окружения.

Связь — одно из фундаментальных понятий в системном подходе. Система как единое целое существует именно благодаря наличию связей между ее элементами, т.е., иными словами, связи выражают законы функционирования системы. Связи различают по характеру взаимосвязи как прямые и обратные, а по виду проявления (описания) как детерминированные и вероятностные.

Прямые связи предназначены для заданной функциональной передачи вещества, энергии, информации или их комбинаций — от одного элемента к другому в направлении основного процесса.

Обратные связи, в основном, выполняют осведомляющие функции, отражая изменение состояния системы в результате управляющего воздействия

на нее. Открытие принципа обратной связи явилось выдающимся событием в развитии техники и имело исключительно важные последствия. Процессы управления, адаптации, саморегулирования, самоорганизации, развития невозможны без использования обратных связей (Рис. 7).

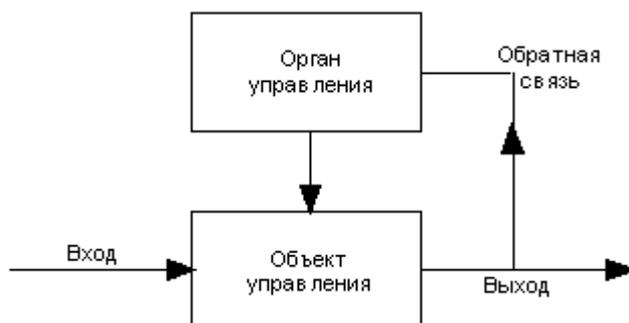


Рисунок 7 – Пример обратной связи

С помощью обратной связи сигнал (информация) с выхода системы (объекта управления) передается в орган управления. Здесь этот сигнал, содержащий информации о работе, выполненной объектом управления, сравнивается с сигналом, задающим содержание и объем работы (например, план). В случае возникновения рассогласования между фактическим и плановым состоянием работы принимаются меры по его устранению.

Основными функциями обратной связи являются:

1. противодействие тому, что делает сама система, когда она выходит за установленные пределы (например, реагирование на снижение качества);

2. компенсация возмущений и поддержание состояния устойчивого равновесия системы (например, неполадки в работе оборудования);

3. синтез внешних и внутренних возмущений, стремящихся вывести систему из состояния устойчивого равновесия, сведение этих возмущений к отклонениям одной или нескольких управляемых величин (например, выработка управляющих команд на одновременное появление нового конкурента и снижение качества выпускаемой продукции);

4. выработка управляющих воздействий на объект управления по плохо формализуемому закону. Например, установление более высокой цены на энергоносители вызывает в деятельности различных организаций сложные изменения, меняют конечные результаты их функционирования, требуют внесения изменений в производственно-хозяйственный процесс путем воздействий, которые невозможно описать с помощью аналитических выражений.

Нарушение обратных связей в социально-экономических системах по различным причинам ведет к тяжелым последствиям. Отдельные локальные системы утрачивают способность к эволюции и тонкому восприятию намечающихся новых тенденций, перспективному развитию и научно обоснованному прогнозированию своей деятельности на длительный период времени, эффективному приспособлению к постоянно меняющимся условиям внешней среды.

Особенностью социально-экономических систем является то обстоятель-

ство, что не всегда удастся четко выразить обратные связи, которые в них, как правило, длинные, проходят через целый ряд промежуточных звеньев, и четкий их просмотр затруднен. Сами управляемые величины нередко не поддаются ясному определению, и трудно установить множество ограничений, накладываемых на параметры управляемых величин. Не всегда известны также действительные причины выхода управляемых переменных за установленные пределы.

Детерминированная (жесткая) связь, как правило, однозначно определяет причину и следствие, дает четко обусловленную формулу взаимодействия элементов. Вероятностная (гибкая) связь определяет неявную, косвенную зависимость между элементами системы. Теория вероятности предлагает математический аппарат для исследования этих связей, называемый «корреляционными зависимостями».

Критерии — признаки, по которым производится оценка соответствия функционирования системы желаемому результату (цели) при заданных ограничениях.

Эффективность системы — соотношение между заданным (целевым) показателем результата функционирования системы и фактически реализованным.

Функционирование любой произвольно выбранной системы состоит в переработке входных (известных) параметров и известных параметров воздействия окружающей среды в значения выходных (неизвестных) параметров с учетом факторов обратной связи (Рис. 8).

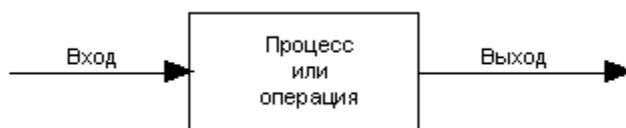


Рисунок 8 – Функционирование системы

Вход — все, что изменяется при протекании процесса (функционирования) системы.

Выход — результат конечного состояния процесса.

Процессор — перевод входа в выход.

Система осуществляет свою связь со средой следующим образом. Вход данной системы является в то же время выходом предшествующей, а выход данной системы — входом последующей. Таким образом, вход и выход располагаются на границе системы и выполняют одновременно функции входа и выхода предшествующих и последующих систем.

Управление системой связано с понятиями прямой и обратной связи, ограничениями.

Обратная связь — предназначена для выполнения следующих операций:

- сравнение данных на входе с результатами на выходе с выявлением их качественно-количественного различия;
- оценка содержания и смысла различия;
- выработка решения, вытекающего из различия;

- воздействие на ввод.

Ограничение — обеспечивает соответствие между выходом системы и требованием к нему, как к входу в последующую систему — потребитель. Если заданное требование не выполняется, ограничение не пропускает его через себя. Ограничение, таким образом, играет роль согласования функционирования данной системы с целями (потребностями) потребителя.

Определение функционирования системы связано с понятием «проблемной ситуации», которая возникает, если имеется различие между необходимым (желаемым) выходом и существующим (реальным) входом.

Проблема — это разница между существующей и желаемой системами. Если этой разницы нет, то нет и проблемы. Решить проблему — значит скорректировать старую систему или сконструировать новую, желаемую.

Состоянием системы называется совокупность существенных свойств, которыми система обладает в каждый момент времени.

3 СИСТЕМНЫЕ СВОЙСТВА. КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ

Состоянием системы называется совокупность существенных свойств, которыми система обладает в каждый момент времени.

Под свойством понимают сторону объекта, обуславливающую его отличие от других объектов или сходство с ними и проявляющуюся при взаимодействии с другими объектами.

Характеристика — то, что отражает некоторое свойство системы.

Какие свойства систем известны.

Из определения «системы» следует, что главным свойством системы является целостность, единство, достигаемое посредством определенных взаимосвязей и взаимодействий элементов системы и проявляющиеся в возникновении новых свойств, которыми элементы системы не обладают. Это свойство **эмерджентности** (от англ. Emerge — возникать, появляться).

1. Эмерджентность — степень несводимости свойств системы к свойствам элементов, из которых она состоит.

2. Эмерджентность — свойство систем, обуславливающее появление новых свойств и качеств, не присущих элементам, входящих в состав системы.

Эмерджентность — принцип противоположный редукционизму, который утверждает, что целое можно изучать, расчленив его на части и затем, определяя их свойства, определить свойства целого.

Свойству эмерджентности близко свойство целостности системы. Однако их нельзя отождествлять.

Целостность системы означает, что каждый элемент системы вносит вклад в реализацию целевой функции системы.

Целостность и эмерджентность — интегративные свойства системы. Наличие интегративных свойств является одной из важнейших черт системы. Целостность проявляется в том, что система обладает собственной закономерностью функциональности, собственной целью.

Организованность — сложное свойство систем, заключающиеся в наличие структуры и функционирования (поведения). Непременной принадлежностью систем является их компоненты, именно те структурные образования, из которых состоит целое и без чего оно не возможно.

Функциональность — это проявление определенных свойств (функций) при взаимодействии с внешней средой. Здесь же определяется цель (назначение системы) как желаемый конечный результат.

Структурность — это упорядоченность системы, определенный набор и расположение элементов со связями между ними. Между функцией и структурой системы существует взаимосвязь, как между философскими категориями содержанием и формой. Изменение содержания (функций) влечет за собой изменение формы (структуры), но и наоборот.

Важным свойством системы является наличие поведения — действия, изменений, функционирования и т.д.

Считается, что это поведение системы связано со средой (окружающей), т.е. с другими системами с которыми она входит в контакт или вступает в

определенные взаимоотношения.

Процесс целенаправленного изменения во времени состояния системы называется **поведением**. В отличие от управления, когда изменение состояния системы достигается за счет внешних воздействий, поведение реализуется исключительно самой системой, исходя из собственных целей.

Поведение каждой системы объясняется структурой систем низшего порядка, из которых состоит данная система, и наличием признаков равновесия (гомеостаза). В соответствии с признаком равновесия система имеет определенное состояние (состояния), которое является для нее предпочтительным. Поэтому поведение систем описывается в терминах восстановления этих состояний, когда они нарушаются в результате изменения окружающей среды.

Еще одним свойством является **свойство роста** (развития). Развитие можно рассматривать как составляющую часть поведения (при этом важнейшим).

Одним из первичных, а, следовательно, основополагающих атрибутов системного подхода является недопустимость рассмотрения объекта вне его **развития**, под которым понимается необратимое, направленное, закономерное изменение материи и сознания. В результате возникает новое качество или состояние объекта. Отождествление (может быть и не совсем строгое) терминов «развитие» и «движение» позволяет выразиться в таком смысле, что вне развития немислимо существование материи, в данном случае — системы. Наивно представлять себе развитие, происходящее стихийно. В неоглядном множестве процессов, кажущихся на первый взгляд чем-то вроде броуновского (случайного, хаотичного) движения, при пристальном внимании и изучении вначале как бы проявляются контуры тенденций, а затем и довольно устойчивые закономерности. Эти закономерности по природе своей действуют объективно, т.е. не зависят от того, желаем ли мы их проявления или нет. Незнание законов и закономерностей развития — это блуждание в потемках.

Поведение системы определяется характером реакции на внешние воздействия.

Фундаментальным свойством систем является **устойчивость**, т.е. способность системы противостоять внешним возмущающим воздействиям. От нее зависит продолжительность жизни системы.

Простые системы имеют пассивные формы устойчивости: прочность, сбалансированность, регулируемость, гомеостаз. А для сложных определяющими являются активные формы: надежность, живучесть и адаптируемость.

Если перечисленные формы устойчивости простых систем (кроме прочности) касаются их поведения, то определяющая форма устойчивости сложных систем носит в основном структурный характер.

Надежность — свойство сохранения структуры систем, несмотря на гибель отдельных ее элементов с помощью их замены или дублирования, а **живучесть** — как активное подавление вредных качеств. Таким образом, надежность является более пассивной формой, чем живучесть.

Адаптируемость — свойство изменять поведение или структуру с целью сохранения, улучшения или приобретения новых качеств в условиях изменения внешней среды. Обязательным условием возможности адаптации является

наличие обратных связей.

Всякая реальная система существует в среде. Связь между ними бывает настолько тесной, что определять границу между ними становится сложно. Поэтому выделение системы из среды связано с той или иной степенью идеализации.

Можно выделить два аспекта взаимодействия:

- во многих случаях принимает характер обмена между системой и средой (веществом, энергией, информацией);
- среда обычно является источником неопределенности для систем.

Воздействие среды может быть пассивным либо активным (антагонистическим, целенаправленно противодействующее системе). Поэтому в общем случае среду следует рассматривать не только безразличную, но и антагонистическую по отношению к исследуемой системе.

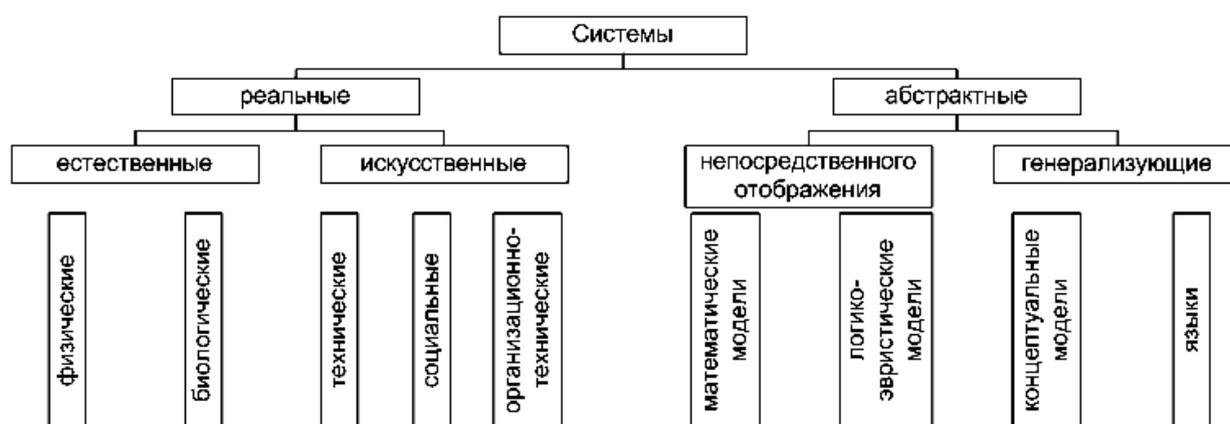


Рисунок 9 – Классификация систем

Классификацией называется разбиение на классы по наиболее существенным признакам. Под классом понимается совокупность объектов, обладающие некоторыми признаками общности. Признак (или совокупность признаков) является основанием (критерием) классификации (Табл. 2).

Система может быть охарактеризована одним или несколькими признаками и соответственно ей может быть найдено место в различных классификациях, каждая из которых может быть полезной при выборе методологии исследования. Обычно цель классификации ограничить выбор подходов к отображению систем, выработать язык описания, подходящий для соответствующего класса.

По содержанию различают реальные (материальные), объективно существующие, и абстрактные (концептуальные, идеальные), являющиеся продуктом мышления.

Реальные системы делятся на естественные (природные системы) и искусственные (антропогенные).

Таблица 2 – Критерии и классы систем

Основание (критерий) классификации	Классы систем
По взаимодействию с внешней средой	Открытые Закрытые Комбинированные
По структуре	Простые Сложные Большие
По характеру функций	Специализированные Многофункциональные (универсальные)
По характеру развития	Стабильные Развивающиеся
По степени организованности	Хорошо организованные Плохо организованные (диффузные)
По сложности поведения	Автоматические Решающие Самоорганизующиеся Предвидящие Превращающиеся
По характеру связи между элементами	Детерминированные Стохастические
По характеру структуры управления	Централизованные Децентрализованные
По назначению	Производящие Управляющие Обслуживающие

Естественные системы: системы неживой (физические, химические) и живой (биологические) природы.

Искусственные системы: создаются человечеством для своих нужд или образуются в результате целенаправленных усилий.

Искусственные делятся на технические (техничко-экономические) и социальные (общественные).

Техническая система спроектирована и изготовлена человеком в определенных целях.

К социальным системам относятся различные системы человеческого общества.

Выделение систем, состоящих из одних только технических устройств почти всегда условно, поскольку они не способны вырабатывать свое состояние. Эти системы выступают как части более крупных, включающие людей – организационно-технических систем.

Организационная система, для эффективного функционирования которой существенным фактором является способ организации взаимодействия людей с технической подсистемой, называется человеко-машинной системой.

Примеры человеко-машинных систем: автомобиль – водитель; самолет – летчик; ЭВМ – пользователь и т.д.

Таким образом, *под техническими системами понимают единую конструктивную совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих объектов, предназначенная для целенаправленных действий с задачей достижения в процессе функционирования заданного результата.*

Отличительными признаками технических систем по сравнению с произвольной совокупностью объектов или по сравнению с отдельными элементами является конструктивность (практическая осуществимость отношений между элементами), ориентированность и взаимосвязанность составных элементов и целенаправленность.

Для того чтобы система была устойчивой к воздействию внешних влияний, она должна иметь устойчивую структуру. Выбор структуры практически определяет технический облик как всей системы, так ее подсистем, и элементов. Вопрос о целесообразности применения той или иной структуры должен решаться исходя из конкретного назначения системы. От структуры зависит также способность системы к перераспределению функций в случае полного или частичного отхода отдельных элементов, а, следовательно, надежность и живучесть системы при заданных характеристиках ее элементов.

Абстрактные системы являются результатом отражения действительности (реальных систем) в мозге человека.

Их настроение — необходимая степень обеспечения эффективного взаимодействия человека с окружающим миром. Абстрактные (идеальные) системы объективны по источнику происхождения, поскольку их первоисточником является объективно существующая действительность.

Абстрактные системы разделяют на системы непосредственного отображения (отражающие определенные аспекты реальных систем) и системы генерализирующего (обобщающего) отображения. К первым относятся математиче-

ские и эвристические модели, а ко вторым — концептуальные системы (теории методологического построения) и языки.

На основе понятия внешней среды системы разделяются на: открытые, закрытые (замкнутые, изолированные) и комбинированные. Деление систем на открытые и закрытые связано с их характерными признаками: возможность сохранения свойств при наличии внешних воздействий. Если система нечувствительна к внешним воздействиям ее можно считать закрытой. В противном случае — открытой.

Открытой называется система, которая взаимодействует с окружающей средой. Все реальные системы являются открытыми. Открытая система является частью более общей системы или нескольких систем. Если вычленишь из этого образования собственно рассматриваемую систему, то оставшаяся часть — ее среда.

Открытая система связана со средой определенными коммуникациями, то есть сетью внешних связей системы. Выделение внешних связей и описание механизмов взаимодействия «система-среда» является центральной задачей теории открытых систем. Рассмотрение открытых систем позволяет расширить понятие структуры системы. Для открытых систем оно включает не только внутренние связи между элементами, но и внешние связи со средой. При описании структуры внешние коммуникационные каналы стараются разделить на входные (по которым среда воздействует на систему) и выходные (наоборот). Совокупность элементов этих каналов, принадлежащих собственной системе называются входными и выходными полюсами системы. У открытых систем, по крайней мере, один элемент имеет связь с внешней средой, по меньшей мере, один входной полюс и один выходной, которыми она связана с внешней средой.

Для каждой системы связи со всеми подчиненными ей подсистемами и между последним, являются внутренними, а все остальные — внешними. Связи между системами и внешней средой также, как и между элементами системы, носят, как правило, направленный характер.

Важно подчеркнуть, что в любой реальной системе в силу законов диалектики о всеобщей связи явлений число всех взаимосвязей огромно, так что учесть и исследования абсолютно все связи невозможно, поэтому их число искусственно ограничивают. Вместе с тем, учитывать все возможные связи нецелесообразно, так как среди них есть много несущественных, практически не влияющих на функционирование системы и количество полученных решений (с точки зрения решаемых задач). Если изменение характеристик связи, ее исключение (полный разрыв) приводят к значительному ухудшению работы системы, снижению эффективности, то такая связь — существенна. Одна из важнейших задач исследователя — выделить существенные для рассмотрения системы в условиях решаемой задачи связи и отделить их от несущественных. В связи с тем, что входные и выходные полюса системы не всегда удается четко выделить, приходится прибегать к определенной идеализации действий. Наибольшая идеализация имеет место при рассмотрении закрытой системы.

Закрытой называется система, которая не взаимодействует со средой или

взаимодействует со средой строго определенным образом. В первом случае предполагается, что система не имеет входных полюсов, а во втором, что входные полюса есть, но воздействие среды носит неизменный характер и полностью (заранее) известно. Очевидно, что при последнем предположении указанные воздействия могут быть отнесены собственно к системе, и ее можно рассматривать, как закрытую. Для закрытой системы, любой ее элемент имеет связи только с элементами самой системы.

Разумеется, закрытые системы представляют собой некоторую абстракцию реальной ситуации, так как, строго говоря, изолированных систем не существует. Однако, очевидно, что упрощение описания системы, заключающееся в отказе от внешних связей, может привести к полезным результатам, упростить исследование системы. Все реальные системы тесно или слабо связаны с внешней средой — открытые. Если временный разрыв или изменение характерных внешних связей не вызывает отклонения в функционировании системы сверх установленных заранее пределов, то система связана с внешней средой слабо. В противном случае — тесно.

Комбинированные системы содержат открытые и закрытые подсистемы. Наличие комбинированных систем свидетельствует о сложной комбинации открытой и закрытой подсистем.

В зависимости от структуры и пространственно-временных свойств системы делятся на простые, сложные и большие.

Простые — это системы, не имеющие разветвленных структур, состоящие из небольшого количества взаимосвязей и небольшого количества элементов. Такие элементы служат для выполнения простейших функций, в них нельзя выделить иерархические уровни. Отличительной особенностью простых систем является детерминированность (четкая определенность) номенклатуры, числа элементов и связей как внутри системы, так и со средой.

Сложные системы характеризуются большим числом элементов и внутренних связей, их неоднородностью и разнокачественностью, структурным разнообразием, выполняют сложную функцию или ряд функций. Компоненты сложных систем могут рассматриваться как подсистемы, каждая из которых может быть детализирована еще более простыми подсистемами и т.д. до тех пор, пока не будет получен элемент.

Определение 1: Система называется сложной (с гносеологических позиций), если ее познание требует совместного привлечения многих моделей теорий, а в некоторых случаях многих научных дисциплин, а также учета неопределенности вероятностного и невероятностного характера. Наиболее характерным проявлением этого определения является многомодельность.

Модель — некоторая система, исследование которой служит средством для получения информации о другой системе. Это описание систем (математическое, вербальное и т.д.) отображающее определенную группу ее свойств.

Определение 2: Систему называют сложной, если в реальной действительности рельефно (существенно) проявляются признаки ее сложности. А именно:

1. структурная сложность — определяется по числу элементов системы, числу и разнообразию типов связей между ними, количеству иерархических уровней и общему числу подсистем системы. Основными типами считаются следующие виды связей: структурные (в том числе, иерархические), функциональные, каузальные (причинно-следственные), информационные, пространственно-временные;

2. сложность функционирования (поведения) — определяется характеристиками множества состояний, правилами перехода из состояния в состояние, воздействием системы на среду и среды на систему, степенью неопределенности перечисленных характеристик и правил;

3. сложность выбора поведения — в многоальтернативных ситуациях, когда выбор поведения определяется целью системы, гибкостью реакций на заранее неизвестные воздействия среды;

4. сложность развития — определяемая характеристиками эволюционных или скачкообразных процессов.

Естественно, что все признаки рассматриваются во взаимосвязи. Иерархическое построение — характерный признак сложных систем, при этом уровни иерархии могут быть как однородные, так и неоднородные. Для сложных систем присущи такие факторы, как невозможность предсказать их поведение, то есть слабо предсказуемость, их скрытность, разнообразные состояния.

Сложные системы можно подразделить на следующие факторные подсистемы:

1. решающую, которая принимает глобальные решения во взаимодействии с внешней средой и распределяет локальные задания между всеми другим подсистемами;

2. информационную, которая обеспечивает сбор, переработку и передачу информации, необходимой для принятия глобальных решений и выполнения локальных задач;

3. управляющую для реализации глобальных решений;

4. гомеостазную, поддерживающую динамическое равновесие внутри систем и регулируемую потоки энергии и вещества в подсистемах;

5. адаптивную, накапливающую опыт в процессе обучения для улучшения структуры и функций системы.

Большой системой называют систему, ненаблюдаемую одновременно с позиции одного наблюдателя во времени или в пространстве, для которой существенен пространственный фактор, число подсистем которой очень велико, а состав разнороден.

Система может быть и большой и сложной. Сложные системы объединяет более обширную группу систем, то есть большие — подкласс сложных систем.

Основополагающими при анализе и синтезе больших и сложных систем являются процедуры декомпозиции и агрегирования.

Декомпозиция — разделение систем на части, с последующим самостоятельным рассмотрением отдельных частей.

Очевидно, что декомпозиция представляет собой понятие, связанное с моделью, так как сама система не может быть расчленена без нарушений

свойств. На уровне моделирования, разрозненные связи заменяются соответственно эквивалентами, либо модели систем строятся так, что разложение ее на отдельные части при этом оказывается естественным.

Применительно к большим и сложным системам декомпозиция является мощным инструментом исследования.

Агрегирование является понятием, противоположным декомпозиции. В процессе исследования возникает необходимость объединения элементов системы с целью рассмотреть ее с более общих позиций.

Декомпозиция и агрегирование представляют собой две противоположные стороны подхода к рассмотрению больших и сложных систем, применяемые в диалектическом единстве.

Системы, для которых состояние системы однозначно определяется начальными значениями и может быть предсказано для любого последующего момента времени, называются детерминированными.

Стохастические системы — системы, изменения в которых носят случайный характер. При случайных воздействиях данных о состоянии системы недостаточно для предсказания в последующий момент времени.

По степени организованности: хорошо организованные, плохо организованные (диффузные).

Представить анализируемый объект или процесс в виде хорошо организованной системы означает определить элементы системы, их взаимосвязь, правила объединения в более крупные компоненты. Проблемная ситуация может быть описана в виде математического выражения. Решение задачи при представлении ее в виде хорошо организованной системы осуществляется аналитическими методами формализованного представления системы.

Примеры хорошо организованных систем: солнечная система, описывающая наиболее существенные закономерности движения планет вокруг Солнца; отображение атома в виде планетарной системы, состоящей из ядра и электронов; описание работы сложного электронного устройства с помощью системы уравнений, учитывающей особенности условий его работы (наличие шумов, нестабильности источников питания и т.п.).

Описание объекта в виде хорошо организованной системы применяется в тех случаях, когда можно предложить детерминированное описание и экспериментально доказать правомерность его применения, адекватность модели реальному процессу. Попытки применить класс хорошо организованных систем для представления сложных многокомпонентных объектов или многокритериальных задач плохо удаются: они требуют недопустимо больших затрат времени, практически нереализуемы и неадекватны применяемым моделям.

Плохо организованные системы. При представлении объекта в виде плохо организованной или диффузной системы не ставится задача определить все учитываемые компоненты, их свойства и связи между ними и целями системы. Система характеризуется некоторым набором макропараметров и закономерностями, которые находятся на основе исследования не всего объекта или класса явлений, а на основе определенной с помощью некоторых правил выборки компонентов, характеризующих исследуемый объект или процесс. На основе

такого выборочного исследования получают характеристики или закономерности (статистические, экономические) и распространяют их на всю систему в целом. При этом делаются соответствующие оговорки. Например, при получении статистических закономерностей их распространяют на поведение всей системы с некоторой доверительной вероятностью.

Подход к отображению объектов в виде диффузных систем широко применяется при: описании систем массового обслуживания, определении численности штатов на предприятиях и учреждениях, исследовании документальных потоков информации в системах управления и т. д.

С точки зрения характера функций различаются специальные, многофункциональные, и универсальные системы.

Для специальных систем характерна единственность назначения и узкая профессиональная специализация обслуживающего персонала (сравнительно несложная).

Многофункциональные системы позволяют реализовать на одной и той же структуре несколько функций. Пример: производственная система, обеспечивающая выпуск различной продукции в пределах определенной номенклатуры.

Для универсальных систем: реализуется множество действий на одной и той же структуре, однако состав функций по виду и количеству менее однороден (менее определен). Например, комбайн.

По характеру развития 2 класса систем: стабильные и развивающиеся.

У стабильной системы структура и функции практически не изменяются в течение всего периода ее существования и, как правило, качество функционирования стабильных систем по мере изнашивания их элементов только ухудшается. Восстановительные мероприятия обычно могут лишь снизить темп ухудшения.

Отличной особенностью развивающихся систем является то, что с течением времени их структура и функции приобретают существенные изменения. Функции системы более постоянны, хотя часто и они видоизменяются. Практически неизменными остается лишь их назначение. Развивающиеся системы имеют более высокую сложность.

В порядке усложнения поведения: автоматические, решающие, самоорганизующиеся, предвидящие, превращающиеся.

Автоматические: однозначно реагируют на ограниченный набор внешних воздействий, внутренняя их организация приспособлена к переходу в равновесное состояние при выводе из него (гомеостаз).

Решающие: имеют постоянные критерии различения их постоянной реакции на широкие классы внешних воздействий. Постоянство внутренней структуры поддерживается заменой вышедших из строя элементов.

Самоорганизующиеся: имеют гибкие критерии различения и гибкие реакции на внешние воздействия, приспособляющиеся к различным типам воздействия. Устойчивость внутренней структуры высших форм таких систем обеспечивается постоянным самовоспроизводством.

Самоорганизующиеся системы обладают признаками диффузных систем: стохастичностью поведения, нестационарностью отдельных параметров и процессов. К этому добавляются такие признаки, как непредсказуемость поведе-

ния; способность адаптироваться к изменяющимся условиям среды, изменять структуру при взаимодействии системы со средой, сохраняя при этом свойства целостности; способность формировать возможные варианты поведения и выбирать из них наилучший и др. Иногда этот класс разбивают на подклассы, выделяя адаптивные или самоприспосабливающиеся системы, самовосстанавливающиеся, самовоспроизводящиеся и другие подклассы, соответствующие различным свойствам развивающихся систем.

Примеры: биологические организации, коллективное поведение людей, организация управления на уровне предприятия, отрасли, государства в целом, т.е. в тех системах, где обязательно имеется человеческий фактор.

Если устойчивость по своей сложности начинает превосходить сложные воздействия внешнего мира — это предвидящие системы: она может предвидеть дальнейший ход взаимодействия.

Превращающиеся — это воображаемые сложные системы на высшем уровне сложности, не связанные постоянством существующих носителей. Они могут менять вещественные носители, сохраняя свою индивидуальность. Науке примеры таких систем пока не известны.

Систему можно разделить на виды по признакам структуры их построения и значимости той роли, которую играют в них отдельные составные части в сравнение с ролями других частей.

В некоторых системах одной из частей может принадлежать доминирующая роль (ее значимость \gg (символ отношения «значительного превосходства») значимость других частей). Такой компонент — будет выступать как центральный, определяющий функционирование всей системы. Такие системы называют централизованными.

В других системах все составляющие их компоненты примерно одинаково значимы. Структурно они расположены не вокруг некоторого централизованного компонента, а взаимосвязаны последовательно или параллельно и имеют примерно одинаковые значения для функционирования системы. Это децентрализованные системы.

Системы можно классифицировать по назначению. Среди технических и организационных систем выделяют: производящие, управляющие, обслуживающие.

В производящих системах реализуются процессы получения некоторых продуктов или услуг. Они в свою очередь делятся на вещественно-энергетические, в которых осуществляется преобразование природной среды или сырья в конечный продукт вещественной или энергетической природы, либо транспортирование такого рода продуктов; и информационные — для сбора, передачи и преобразования информации и предоставление информационных услуг.

Назначение управляющих систем — организация и управление вещественно-энергетическими и информационными процессами.

Обслуживающие системы занимаются поддержкой заданных пределов работоспособности производящих и управляющих систем.

4 УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМАМИ

Благодаря постоянным потокам информации (от системы к окружающей среде и наоборот) система осуществляет целесообразное взаимодействие с окружающей средой, т.е. управляет или бывает управляема. Информация стала средством не только производства, но и управления.

Своевременная и оперативная информация может позволить стабилизировать систему, приспособливаться и(или) адаптироваться, восстанавливаться при нарушениях структуры и(или) подсистем. От степени информированности системы, от богатства опыта взаимодействия системы и окружающей среды зависит развитие и *устойчивость* системы. Информация обладает также определенной избыточностью: чем больше сообщений о системе, тем полнее и точнее она управляется.

Суть задачи *управления системой* - отделение ценной информации от "шумов" (бесполезного, иногда даже вредного для системы возмущения информации) и выделение информации, которая позволяет этой системе существовать и развиваться. Управление - это целенаправленная актуализация знаний. Управление и особая форма - самоуправление, - высшая форма актуализации знаний.

Управление в системе - внутренняя функция системы, осуществляемая независимо от того, каким образом, какими элементами системы она должна выполняться.

Управление системой - выполнение внешних функций управления, обеспечивающих необходимые условия функционирования системы (Рис. 10).



Рисунок 10 – Общая схема управления системой

Управление системой (в системе) используется для различных целей:

- увеличения скорости передачи сообщений;
- увеличения объема передаваемых сообщений;
- уменьшения времени обработки сообщений;
- увеличения степени сжатия сообщений;
- увеличения (модификации) связей системы;
- увеличения информации (информированности).

Как правило, эти цели интегрируются. В целом информация используется для двух основных глобальных целей: сохранения стабильного функциониро-

вания системы и перевода системы в заданное целевое состояние.

Управление любой системой (в любой системе) должно подкрепляться необходимыми ресурсами - материальными, энергетическими, информационными, людскими и организационными (административного, экономического, правового, гуманитарного, социально-психологического типа).

При этом характер и степень активизации этих ресурсов может повлиять (иногда лишь косвенно) и на систему, в которой информация используется. Более того, сама информация может быть зависима от системы.

Основные правила организации информации для управления системой:

- выяснение формы и структуры исходной (входной) информации;
- выяснение средств, форм передачи и источников информации;
- выяснение формы и структуры выходной информации;
- выяснение надежности информации и контроль достоверности;
- выяснение форм использования информации для принятия решений.

Например, при управлении полетом ракеты, наземная станция управления генерирует и в определенной форме, определенными структурами посылает входную информацию в бортовую ЭВМ ракеты; при этом сигналы отсеиваются от возможных "шумов", осуществляется контроль входной информации на достоверность и только затем бортовая ЭВМ принимает решение об уточнении траектории, ее корректировке.

Если число возможных состояний системы S равно N , то общее количество разнообразия системы равно

$$V(N) = \log_2 N .$$

Пусть управляемая система обладает разнообразием $V(N_1)$, а управляющая - $V(N_2)$. Цель управляющей системы - уменьшить значение $V(N_1)$ за счет изменения $V(N_2)$. В свою очередь, изменение $V(N_1)$, как правило, влечет изменение и $V(N_2)$, а именно, управляющая система может эффективно выполнять присущие ей функции управления лишь при условии, если верно неравенство $V(N_2) < V(N_1)$. Это неравенство выражает *принцип Эшби* (необходимого разнообразия управляемой системы): управляющая подсистема системы должна иметь более высокий уровень организации (или большее разнообразие, больший выбор), чем управляемая подсистема, т.е. многообразие может быть управляемо (разрушено) лишь многообразием.

По характеру управления, охвата подсистем и подцелей (цели системы) управление может быть:

- стратегическое, направленное на разработку, корректировку стратегии поведения системы;
- тактическое, направленное на разработку, корректировку тактики поведения системы.

По времени управляющего воздействия системы могут быть: долгосрочно и краткосрочно управляемые. Иногда отождествляют стратегическое и долгосрочное, тактическое и краткосрочное управление, но это не всегда верно.

Выявление управляющих параметров и их использование для *управления системой* может также способствовать уменьшению сложности системы. В свою очередь, уменьшение сложности системы может сделать систему управляемой.

Система называется устойчивой структурно (динамически; вычислительно; алгоритмически; информационно; эволюционно или самоорганизационно), если она сохраняет тенденцию стремления к тому состоянию, которое наиболее соответствует целям системы, целям сохранения качества без изменения структуры или не приводящим к сильным изменениям структуры (динамики поведения; вычислительных средств; алгоритмов функционирования системы; информационных потоков; эволюции или самоорганизации - см. ниже) системы на некотором заданном множестве ресурсов (например, на временном интервале). Расплывчатое понятие "сильное изменение" каждый раз должно быть конкретизировано, детерминировано.

Чем многообразнее входные сигналы (параметры) системы, число различных состояний системы, тем многообразнее обычно выходные сигналы, тем сложнее система, тем актуальнее проблема поиска инвариантов управления.

Понятие сложности детализируется в различных предметных областях по-разному. Для конкретизации этого понятия необходимо учитывать предисторию, внутреннюю структуру (сложность) системы и управления, приводящие систему к *устойчивому* состоянию. Впрочем, все внутренние связи на практике достаточно трудно не только описать, но и обнаружить. В этих случаях помогает выяснение и описание связности системы, связной и *асимптотической устойчивости* ее.

Асимптотическая устойчивость системы состоит в возврате системы к равновесному состоянию при $t \rightarrow \infty$ из любого неравновесного состояния.

Пусть система S зависит от вектора факторов, переменных $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$. Матрицей системы назовем матрицу $E = \|e_{ij}\|$ из 1 и 0: $e_{ij} = 1$ лишь тогда, когда переменная x_i оказывает влияние на x_j .

Связная устойчивость состоит в *асимптотической устойчивости* системы при любых матрицах E .

При системном анализе различных систем, особенно социально-экономических, удобным инструментом их изображения и изучения является инструментарий когнитивной структуризации и системно-когнитивная концепция. **Когнитология** - междисциплинарное (философия, нейропсихология, психология, лингвистика, информатика, математика, физика и др.) научное направление, изучающее методы и модели формирования знания, познания, универсальных структурных схем мышления.

Цель когнитивной структуризации - формирование и уточнение гипотезы о функционировании исследуемой системы, т.е. структурных схем причинно-следственных связей, их качественной и(или) количественной оценки. Причинно-следственная связь между системами (подсистемами) А и В положительна (отрицательна), если увеличение или усиление А ведет к увеличению или усилению (уменьшению или ослаблению) В.

Когнитивная схема (карта) ситуации представляет собой ориентированный взвешенный граф, который строится по правилам:

- вершины взаимнооднозначно соответствуют выделенным факторам ситуации, в терминах которых описываются процессы в ситуации;
- выявляются и оцениваются (положительное влияние, отрицательное влияние) причинно-следственные связи выделенных факторов друг на друга.

Например, когнитивная структурная схема для анализа проблемы энергопотребления может иметь следующий вид (Рис. 11).

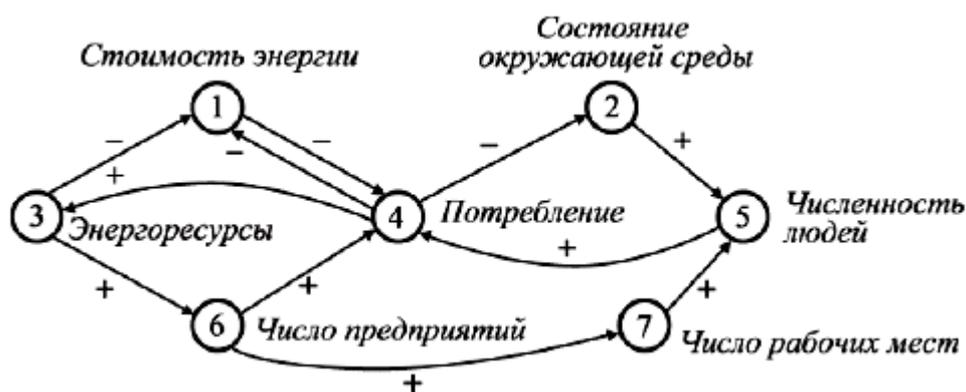


Рисунок 11 – Пример когнитивной схемы

Кроме когнитивных схем (схем ситуаций) могут использоваться когнитивные решетки (шкалы, матрицы), которые позволяют определять стратегии поведения (например, производителя на рынке). Решетка образуется с помощью системы факторных координат, где каждая координата соответствует одному фактору, показателю (например, финансовому) или некоторому интервалу изменения этого фактора. Каждая область решетки соответствует тому или иному поведению. Показатели могут быть относительными (например, от 0 до 1), абсолютными (например, от минимального до максимального), биполярными ("высокий или большой" - "низкий или маленький").

5 ПОНЯТИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ МОДЕЛЕЙ

5.1 Понятие модели, моделирования

Первоначальное определение модели – *некоторое вспомогательное средство, который в определенной ситуации заменяет другой объект*. Вначале понятие «модель» относилось только к материальным объектам, как, например, манекен (модель человеческой фигуры), чучело (модель животного), модели автомобилей, самолетов и т.п. Возможны и другие, более точные определения, например: «модель» - *это некий объект – заместитель, который в определенной степени заменяет объект – оригинал, воспроизводя интересующие нас свойства и характеристики оригинала, причем по сравнению с оригиналом модель имеет существенные преимущества для определенного вида работы с ней, а именно: наглядность, доступность испытаний и т.п.*

Модель – это не абсолютная копия оригинала, она предполагает уже некоторую степень абстрагирования. Чертежи, рисунки, карты – это тоже модели, но они соответствуют более высокой степени абстрагирования от оригинала, поэтому их модельные свойства были осознаны намного позже.

В настоящее время понятие модели расширилось, оно включает и реальные и, так называемые «идеальные» модели, например, математические модели. Свойствами модели обладают такие формы научных представлений о мире как законы, гипотезы, теории.

Модели не только качественно различны, они иерархичны, т.е. могут быть модели более высокого уровня и менее высокого, как, например, в случае моделей научного знания.

Выше было сказано, что моделирование есть неотъемлемое свойство человеческой деятельности. Можно уточнить, что это – неотъемлемый этап всякой целенаправленной деятельности.

Любая деятельность человека имеет целевой характер, а цель – не что иное, как образ ожидаемого будущего, т.е. Модель состояния, на реализацию которого направлена деятельность.

Далее: деятельность системна, т.е. она осуществляется не хаотично, а по определенному плану, или алгоритму. Следовательно, алгоритм тоже можно рассматривать как модель будущей деятельности.

Из этих рассуждений следует, что модель является не просто образом – заменителем оригинала, а целевым отображением, т.е. модель отображает не сам по себе объект-оригинал, а то, что в нем нас интересует, т.е. то, что соответствует поставленной цели.

Поскольку модель – целевое отображение, один и тот же объект может иметь множество моделей в зависимости от целей.

5.2 Познавательные и прагматические модели

Вся деятельность человека связана с получением, переработкой и использованием информации. Модели объектов, модели деятельности целесообразно,

таким образом, разделить по направленности основных информационных потоков, циркулирующих между субъектом и окружающим миром.

Познавательная модель – это форма организации и представления знаний, средство соединения новых знаний с уже имеющимися.

При установлении расхождения между моделью и реальностью это расхождение устраняется путем изменения модели (модель «подгоняется» под реальность, см. рис. 12а).

Прагматическая модель это средство управления, средство организации практических действий, способ представления образцово правильных действий или их результата.

По сути, прагматическая модель есть рабочее представление целей. Поэтому при обнаружении расхождений между моделью и реальностью прагматическая модель используется для *изменения реальности*, т.е. здесь реальность «подгоняется» под модель, см. рис. 12б (пример: социально-политические доктрины → преобразование мира, школьная педагогика → изменение характеров, воздействие на личность, руководитель – коллектив).

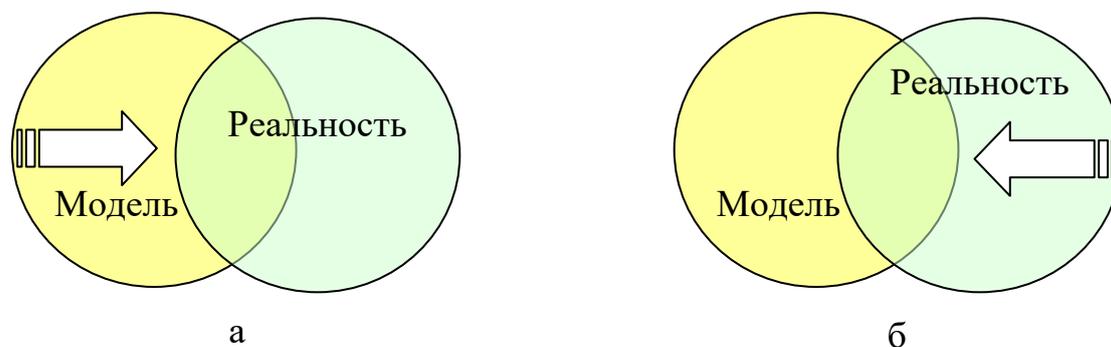


Рисунок 12 – Модель и реальность

Прагматические модели являются как бы стандартом, образцом, носят нормативный характер. Под эти образцы «подгоняются» как сама деятельность, так и ее результат. Примеры: ССБТ, СНиПы, кодексы законов, уставы организаций, планы и программы действий, рабочие чертежи, шаблоны, технические допуски, экзаменационные требования и др.

Таким образом, основное различие между познавательными и прагматическими моделями следующее:

Познавательные модели отражают существующее, а прагматические не существующее, но желаемое и (возможно) осуществимое. Не все модели легко классифицировать по этому признаку (например, произведения искусства, игрушки, географические карты). К тому же прагматические модели также претерпевают изменения, как и познавательные.

Существуют и другие принципы классификации модели.

5.3 Статические и динамические модели

Вне зависимости от принципов, видов классификации модели в основе всегда лежит цель.

Так для одних целей необходима модель конкретного состояния объекта, своего рода его «моментальная фотография». Такие модели называются *статическими*. Пример: структурные модели систем.

Если наши цели связаны не с одним состоянием, а различием между состояниями, необходимо *отображение процесса изменения состояния*. Такие модели называются динамическими. Например, динамическими являются функциональные модели систем. Можно привести и более простой пример: фотография, характеристика - статические модели личности и биография - динамическая модель.

5.4 Классификация моделей по способу воплощения

По способу воплощения (т.е. в зависимости от того, на чем построена модель) модели делятся на:

- 1) идеальные и абстрактные;
- 2) материальные (реальные, вещественные).

Абстрактные модели. К ним относятся: модели, создаваемые средствами языка. Человеческий язык (естественный, плановый) является универсальным средством построения любых абстрактных моделей, что обеспечивается такими свойствами языка как:

- возможность введения новых слов;
- возможность иерархического построения языковых моделей (слово – предложение – текст – понятия – отношения – определения – конструкции...);
- неоднозначность, расплывчатость, размытость.

Последнее свойство иногда используется сознательно (дипломатия, юмор, поэзия), иногда служит препятствием («мысль изреченная есть ложь...»). В зависимости от целей приблизительность естественного языка преодолевается («профессиональный» язык).

2) дальнейшая дифференциация наук привела к созданию специализированных языков вплоть до моделей, *имеющих максимально достижимую определенность и точность для сегодняшнего состояния данной отрасли знаний*.

3) *математические модели*. Модели, обладающие абсолютной точностью. К.Маркс и И.Кант говорили о том, что любая отрасль знания может тем с большим основанием называется наукой, чем в большей степени в ней используется математика. Однако, чтобы зайти до использования математической модели в какой-либо области необходимо получить достаточное для этого количество знаний. Отсутствие развитого математического аппарата в какой-либо науке само по себе не означает ее «научности», а есть следствие сложности, недостаточной познанности ее предмета, т.е. временное явление.

Материальные модели. Материальная модель есть реальное, вещественное отображение объекта. Чтобы математическая модель выполняла свою

функцию, т.е. замещала в каком-то отношении оригинал, она должна иметь определенное подобие по отношению к оригиналу.

Существуют различные виды подобия.

Прямое подобие – подобие, устанавливаемое в результате физического взаимодействия или последовательности взаимодействий (фотографии, модели самолетов и т.п., макеты зданий, куклы, протезы, шаблоны и т.п.). Однако никакая прямая модель не может быть абсолютной копией оригинала. Существуют проблемы переноса результатов моделирования результатов модельных экспериментов на оригинал (натурный образец). Яркий пример – гидродинамика. Отсюда возникла разветвленная, содержательная теория подобия.

Косвенное подобие. Косвенное подобие не устанавливается человеком, а объективно существует в природе, обнаруживается в виде совпадения или достаточной близости абстрактных моделей и в дальнейшем используется при моделировании.

Например, электромеханическая аналогия (одинаковые уравнения для электрических и механических процессов), шаг как аналог времени, подопытные животные – аналог человеческого организма и т.п.).

Условно подобные модели: подобие этих моделей оригиналу устанавливается в результате соглашения. Пример: деньги (модель стоимости), удостоверение личности (модель владельца), карты (модели местности), сигналы (модели сообщений и т.д.).

Условные подобные модели являются способом материального воплощения абстрактных моделей, вещественной формой, в которой абстрактные модели передаются от одного человека к другому, хранятся долгое время, т.е. *отчуждаются от сознания*, сохраняя, тем не менее, способность возвращения в абстрактную форму. Это достигается с помощью соглашения о том, какое состояние реального объекта ставится в соответствие данному элементу абстрактной модели.

5.5 Место математического моделирования в системных исследованиях

Системный анализ не есть какой-то конкретный метод, это стратегия научного поиска, которая использует математические концепции, математический аппарат в рамках систематизированного научного подхода к решению сложных проблем. При этом, так или иначе, выделяется ряд последовательных, взаимосвязанных этапов. Рассмотрение вместо самой системы (т.е. явления, процесса, объекта) её модели всегда связано с упрощением. Главная проблема здесь – выделение тех особенностей, которые существенны для целей рассмотрения. К настоящему времени разработано множество удачных моделей, например, такие как: конечноэлементная модель для решения различных прикладных задач (статика, динамика, прочность конструкций, динамика оболочек и т.п.); генетический код; и др.

Ранее нами было выделено два основных вида моделей: материальные (макеты, физические модели, масштабированные модели и т.п.) и идеальные (вербальные, знаковые).

При построении моделей процессов в техносфере приходится прибегать как к так называемым *интуитивным* («ненаучным») моделям, так и к *семантическим* (смысловым).

Под *интуитивным моделированием* подразумевают моделирование, использующее представление объекта, не обоснованное с точки зрения формальной логики. Это представление может не поддаваться, или трудно поддаваться формализации или же вообще не нуждаться в ней. Такое моделирование человек осуществляет в своем сознании в форме мысленных экспериментов, сценариев и игровых ситуаций с целью подготовки к предстоящим практическим действиям. Основой для подобных моделей служит опыт – знания и умения людей, а также любое эмпирическое знание, полученное из эксперимента или процесса наблюдения без объяснения причин и механизма наблюдаемого явления.

Семантическое моделирование, в отличие от интуитивного, логически обосновано с помощью некоторого числа исходных предположений. Сами эти предположения нередко облакаются в форму гипотез. Семантическое моделирование предполагает знание внутренних механизмов явления. К методам семантического моделирования относятся вербальное (словесное) и графическое моделирование.

Семиотическое, или знаковое моделирование является, в отличие от семантического, наиболее формализованным, поскольку использует не только слова естественного языка и изображения, но и различные символы – буквы, цифры, иероглифы, нотные знаки. В последующем все они объединяются с помощью специфических правил. К этому виду моделирования относится математическое моделирование.

К знаковым моделям относятся химические и ядерные формулы, графики, схемы, графы, чертежи, топографические карты и т.п. Среди знаковых моделей выделяется их высший класс – математические модели, т.е. модели, при описании которых используется язык математики.

Математическая модель (ММ) – это описание протекания процесса, описание состояния или изменения состояния системы на языке алгоритмических действий с математическими формулами и логических переходов.

Кроме того, математическая модель допускает работы с таблицами, графиками, номограммами, выбор из совокупности процедур и элементов (последнее подразумевает использование операций предпочтения, частичной упорядоченности, включения, определение принадлежности и т.п.).

Различные математические правила манипулирования со связями системы позволяют делать предсказания относительно тех изменений, которые могут произойти в исследуемых системах, когда изменяются их составляющие.

Сложность формирования математической модели связана с необходимостью владения математическими методами и предметных знаний, т.е. знаний в той области, для которой создается модель. В реальности специалисту в данной практической области часто не хватает математических знаний, сведений о моделировании вообще, а для сложных задач – знания системного анализа. С другой стороны, прикладному математику трудно хорошо ориентироваться в предметной области.

Следует заметить, что деление моделей на вербальные, натурно знаковые в определенной степени условно. Так, существуют смешанные типы моделей, скажем, использующие и вербальные, и знаковые построения. Можно даже утверждать, что нет знаковой модели без сопровождающей описательной – ведь любые знаки и символы необходимо пояснять словами. Часто и отнесение модели к какому-либо типу является нетривиальным.

Общие и конкретные модели. Все типы моделей необходимо перед их применением к конкретной системе наполнить информацией, соответствующей используемым силам, макетам, общим понятиям. Наполнение информацией в большей степени свойственно знаковым моделям, в наименьшей – натурным. Так, для математической модели – это выделенные (вместо буквенных) значения физических величин коэффициентов, параметров; конкретные виды функций, определенные последовательности действий, графы структуры. Наполненную информацией модель принято называть конкретной, содержательной.

Модель без наполнения информацией до уровня соответствия единичной реальной системе называется общей (теоретически абстрактной, системной).

Так, в процессе декомпозиции мы используем понятие формальной модели. Это относится ко всем типам моделей, в том числе, к математическим.

Чтобы уяснить место математической модели рассмотрим процесс формирования собственно научного знания. Принято делить науки на две группы.

а) точные – (скорее термин «точные» основан на вере, что открываемые закономерности являются абсолютно точными);

б) описательные.

Точные науки обладают средствами предвидеть с практически достаточной точностью развитие процессов, изучаемых данной наукой на достаточно длительный (опять-таки по практическим соображениям) промежуток времени, или же предвидеть достаточно точно свойства и отношения изучаемых объектов по некоторой частичной информации о них.

Описательные науки – это по сути перечень фактов об изучаемых ими объектах и процессах, иногда не связанных между собой, иногда связанных некоторыми *качественными* отношениями, а также порой разрозненными количественными (как правило, эмпирическими связями). К точным наукам относятся математика и науки физического цикла. Остальные науки – в большей или меньшей степени являются описательными.

Задачи математического моделирования сами имеют свою сложную структуру. Модель, описывающая широкий класс явлений (например, математическая модель механических движений – законы Ньютона) подразделяются на частные классы математических моделей: механика точки, системы материальных точек, сплошной среды, твердого тела → еще более частные модели, например, упругого тела и т.п. на самом нижнем уровне – ММ конкретных процессов. Обычно процесс построения моделей часто осуществляется не дедуктивно, а «снизу вверх».

5.6 Типы и виды математических моделей

Динамические модели. Динамические модели стали развиваться во многом благодаря развитию вычислительной техники, так как связаны с необходимостью решать большое число (сотни) уравнений за короткий промежуток времени. Эти уравнения являются более или менее сложными математическими описаниями того, как функционирует исследуемая система, и даются они в форме выражений для “уровней” различных типов, “темпа” изменения которых регулируется управляющими функциями. Уравнения для уровней описывают накопление в системе таких, например, величин, как вес, количество энергии, количество организмов, а уравнения для темпов управляют изменением этих уровней во времени. Управляющие функции отражают правила, регулирующие функционирование системы. В динамических моделях часто используются уравнения неразрывности - соотношения между потоками переменной в какую-то часть системы и из нее со скоростью изменения этой переменной.

Балансовые модели представляют моделируемый объект как совокупность неких потоков вещества и энергии, баланс которых рассчитывается на каждом шаге моделирования. Являются разновидностью динамических моделей. В настоящее время эти модели получили очень широкое распространение благодаря наглядности и сравнительно простой реализации. Однако применение их возможно лишь при решении, общеметодологических вопросов: баланс каких веществ является наиболее важным для рассмотрения; насколько целесообразно подробно проследить потоки данного вещества; как, выразить смену режимов трансформация веществ и т.п.

Поиск равновесия. Этот подход основан на постулате о том, что любая большая система может иметь состояние равновесия. Например, в экономических системах это *равновесие между спросом и предложением* (по Н.Д. Кондратьеву – это равновесие «1-го порядка»), *равновесие в структуре цен* (равновесие 2-го порядка), *равновесие основных капитальных благ* - промышленных изделий, сооружений, квалифицированной рабочей силы, технологий, источников энергии и т.д. (равновесие 3-го порядка).

В экологии может рассматриваться равновесие между определенной численностью хищников и их жертв, между загрязнением окружающей среды и ее способностью к самовосстановлению.

Поиск равновесия очень важен для исследования экономических и экологических систем. При этом следует различать динамическое и статическое равновесие.

Динамическое («подвижное») равновесие предполагает непрерывный обмен веществом и энергией между системой веществ и энергии, поглощаемых и выделяемых системой одинаковы.

При динамическом равновесии сохраняется соответствие между частями системы, все размеры которой одновременно меняются.

Статическое равновесие означает сохранение того же соответствия при неизменных размерах (величинах) частей системы и системы в целом.

Модели с обратной связью. Если при составлении модели попытаться

учесть внутреннюю структуру и отойти от модели «черного ящика» и поставить одни параметры («входы») в зависимость от других («выходы») получим модель с обратной связью (Рис. 13).

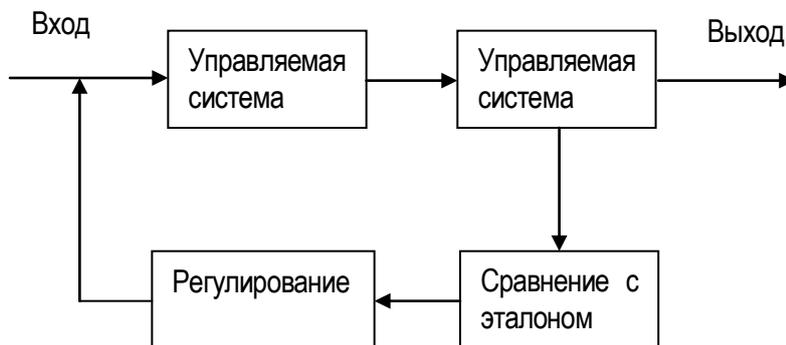


Рисунок 13 – Модель с обратной связью

Если результат меньше эталона, то за счет регулирования подается сигнал, увеличивающий интенсивность входа. Если больше эталона – подается сигнал, уменьшающий интенсивность входа. Обратная связь положительна, если возрастающие результаты увеличивают интенсивность входа и отрицательна, если возрастающие результаты ослабляют интенсивность входа.

В сложных системах можно выделить несколько последовательно и параллельно связанных между собой контуров обратной связи, т.е. сложные системы являются многоконтурными.

Оптимизационные модели. Оптимизационные модели охватывают модели, математический аппарат которых позволит решать задачи оптимального управления моделируемым объектом. Они применяются при решении экономических, технических задач, проблем взаимодействия природы и общества. Их построение основано на использовании методов математического программирования (линейного, нелинейного и динамического программирования) при исследовании систем, описанных дифференциальными уравнениями. Другим примером оптимизационных моделей являются модели, построенные с помощью теории игр. В общем случае они тоже не исключают вероятностного подхода.

Модели макрокинетики трансформации веществ и потоков энергии. К этим моделям относятся модели прогнозирования зон неуправляемого распространения потоков энергии и вредных веществ, прогнозирования концентрации вредных веществ в техносфере. Подобные модели применяются также при моделировании водных экосистем, распространения загрязнителей воздушной среды. Это модели, математическим аппаратом построения которых являются уравнения диффузии. Применение этих моделей ограничено, во-первых, необходимостью при их построении делать ряд допущений в общем случае неверных в реальных ситуациях (например, допущение об отсутствии влияния примесей на скорость течения воды, хотя в реальных условиях в реках, озерах движение воды сплошь и рядом вызвано именно различиями в мутности), Во-вторых, существуют и чисто математические трудности решения си-

стем уравнений в частных производных, каковыми являются уравнения диффузии. Например, непростая проблема выбора шага моделирования (интегрирования) при существенно различных характерных временах изменения параметров системы.

Статистические модели. Статистические модели том, что исследуемый процесс случаен и исследуется статистическими методами, в частности, так называемыми методами Монте-Карло. Наиболее успешно последние применяются при неполной информации о соответствующих объектах. Существует мнение, что статистические модели эффективны именно при этих условиях. Здесь возникает вопрос, сколь подробную информацию об объекте вообще нужно учитывать в модели и в какой ситуации можно говорить о недостатке информации. При построении и использовании статистических моделей возникают следующие проблемы: во-первых, необходим обширный фактический естественный материал, позволяющий провести его корректную статистическую обработку; во-вторых, установленные зависимости; верные для одной системы не всегда будут верны для другой, Например, в экологии смена одной экосистемы другой (например, смена сукцессий) не всегда может быть передана прежней моделью.

Модели типа «хищник — жертва» или «паразит-хозяин». Эти модели применяются», как это видно из названия, при изучении частных случаев взаимодействия популяций нескольких видов. С помощью данных моделей, также использующих уравнения неразрывности, получен ряд интересных выводов. Однако взаимодействием двух-трех и даже более видов, которые реализуются в таких моделях, не исчерпывается динамика объектов окружающей среды, поэтому такие модели имеют прикладное значение и не являются универсальными.

При моделировании сложных систем их разбивают на подсистемы, и потому их математическая модель предстает как некий комплекс подмоделей; для каждой из них может быть использован различный математический аппарат.

При этом возникают проблемы стыковки таких подмоделей. Хотя это довольно сложные вопросы, они успешно решаются.

Имитационное моделирование. Начнем рассмотрение имитационного моделирования с простого примера. Пусть моделью является некоторое дифференциальное уравнение. Решим его двумя способами.

В первом получим аналитическое решение, запрограммируем найденный набор формул и просчитаем на ЭВМ ряд интересующих нас вариантов.

Во втором воспользуемся одним из численных методов решения и для тех же вариантов проследим изменения системы от начальной точки до заданной конечной.

Какой способ лучше, и с каких позиций? Если запись аналитического решения сложна, включает операции вычисления интеграла, то трудоемкость обоих способов будет вполне сравнима. Есть ли принципиальная разница между двумя этими способами? Кажется, что 1-й способ обладает известными преимуществами даже при громоздком аналитическом решении (точность, простота программирования). Но обратим внимание на то, что в первом способе *решение в конечной точке дается как функция начала и постоянных коэффици-*

ентов дифференциального уравнения. Во втором для его нахождения приходится повторять путь, который система проходит от начальной до конечной точки. В ЭВМ осуществляется воспроизведение, имитация хода процесса, позволяющая в любой момент знать и при необходимости фиксировать его текущие характеристики, такие, как интегральная кривая, производные.

Мы подходим к понятию **имитационного моделирования**. Но чтобы лучше разобраться в смысле этого термина, рассмотрим применительно к той области, где он возник, - в системах со случайными воздействиями и процессами. Для таких систем в ...-Х годах стали моделировать на ЭВМ пошаговое протекание процессов во времени с вводом в нужный момент случайных действий. При этом однократное воспроизведение хода такого процесса в системе мало что давало. Но многократное повторение с разными воздействиями уже неплохо ориентировало исследователя в общей картине, позволяло делать выводы и давать рекомендации по улучшению системы.

Метод стали распространять на классы систем, где надо учесть возможно большее разнообразие в исходных данных, меняющиеся значения внутренних параметров системы, многовариантный режим работы, выбор управления при отсутствии четкой цели и др. Общим оставались специальная организация имитации поведения системы и многократное возобновление процесса по измененным сценариям.

Теперь дадим определение имитационному моделированию.

Моделирование процессов с многократным отслеживанием хода их протекания каждый раз для различных условий называется имитационным моделированием.

Цель этого вида моделирования – получить представление о возможных границах или типах поведения системы, влиянии на нее управлений, случайных воздействий, изменений в структуре и других факторов.

Важной особенностью имитационного моделирования является удобное включение человека, его знаний, опыта, интуиции в процедуру исследования модели. Это делается между отдельными имитациями поведения системы или сериями имитации. Человек изменяет *сценарий имитации*, что является важным звеном этого вида моделирования. Именно исследователь по результатам проведенных имитаций формирует следующие виды, домысливая полученные сведения, эффективно познает систему, двигается в ее исследовании к поставленной цели. Правда, следует заметить, что управлять процедурой многократной интуиции может и ЭВМ. Однако наиболее полезным ее примером оказывается все-таки в сочетании с оперативным экспертным просмотром и оценкой отдельных имитаций.

Значительная роль человека в имитационном моделировании даже позволяет говорить об определенном противопоставлении методов чисто математического моделирования и имитации. Поясним это на примерах. Пусть мы имеем задачу оптимизации, которую решаем на ЭВМ при помощи некоторого запрограммированного алгоритма. В ряде сложных ситуаций алгоритм может остановиться или «заикнуться» далеко от оптимального решения. Если же учесть весь путь решения шаг за шагом будет контролироваться исследователем, то

это позволит, подправляя и возобновляя работу алгоритма, достичь удовлетворительного решения. Вторым примером возьмем из области систем со случайными воздействиями. Последние могут иметь такие «плохие» вероятностные свойства, что математическая оценка их влияния на систему практически невозможна. Вот тогда исследователь начинает машинные эксперименты с разными видами этих действий и постепенно получает хоть какую-то картину их влияния на систему.

Однако противопоставлять имитационное моделирование математическому в целом было бы методически неверно. Правильнее ставить вопрос об их удачном совмещении. Так, строгое решение математических задач, как правило, является составной частью имитационной модели. С другой стороны, исследование крайне редко удовлетворяется однократным решением поставленной математической задачи. Обычно он стремится решить наиболее близких задач для выяснения «чувствительности» решения, уравнения с альтернативными вариантами задания исходных данных, а это не что иное, как элементы имитации.

Есть и другая веская причина широкого распространения имитационных моделей.

Достоинством перечисленных ранее математических моделей (оптимизационные, балансовые, статистические и т.п.) является наличие развитого математического аппарата, а проблемы и трудности заключаются в выполнении допущений, налагаемых использованием данного аппарата, при формализации имеющейся информации. Другой проблемой следует считать недостаток информации. В связи с этим необходимо отметить, что имеющийся математический аппарат в основном создавался для решения специфических задач классической физики 19-го и начала 20 в. Бурное развитие естествознания в 20 в. предъявило ряд новых требований, что привело к созданию современных отраслей математики, сгруппированных вокруг кибернетики.

Следовательно, основные проблемы применения упомянутых методов моделирования в исследованиях по безопасности и в экологии связаны с неподготовленностью математического аппарата для исследования новых систем. Поэтому при разработке нового аппарата и в математике иногда идут от объекта к теории, а не наоборот. Как раз такому подходу и соответствует метод *имитационного математического моделирования*. Здесь можно дать еще одно определение имитационному моделированию, характеризующее его с другой стороны:

Имитационное моделирование есть попытка формализации с помощью современных ЭВМ любых эмпирических знаний о рассматриваемом объекте.

То есть, имитационная модель представляет собой полное формализованное описание в ЭВМ изучаемого явления на грани нашего понимания. Слова «на грани нашего понимания» означают, что в процессе имитационного моделирования причинно-следственные связи необязательно проследивать «до последнего гвоздя». Для построения модели достаточно знать лишь внешнюю сторону каких-либо связей типа: «если А, то В». Для построения модели не столь важно, почему произошло событие В: то ли в результате каких-то сдвигов

в балансе вещества, то ли по другим причинам. Существенно, что оно произошло после события А. Это дает возможность более результативно использовать традиционные знания наук о Земле, что было невозможно при попытках учесть все причинно-следственные связи.

В процессе имитационного моделирования при отсутствии информации о функциональных связях элементов системы необходимо шире использовать *логические переключатели состояний модели*, которые в определенной мере отражают эти связи. Кроме того, целесообразно членение модели на отдельные блоки, которые сами могут являться самостоятельными моделями, причем принципы построения и математический аппарат в каждом блоке могут быть свои. Например, один блок является вероятностной моделью, другой — балансовой.

В этих условиях математический аппарат играет подчиненную роль. Гораздо большего внимания требует *содержательная часть моделирования, предварительная типизация, структурирование изучаемых объектов*.

Обоснованием для проведения имитационного моделирования служит массовость и стохастичность результатов функционирования исследуемых систем. В отношении моделирования процессов в техносфере, можно сказать следующее:

выполнение большинства технологических операций удобно рассматривать в виде процесса функционирования человеко-машинной системы; при этом успешное или неуспешное завершение какой-либо из них следует считать случайным исходом;

при рассмотрении конкретной производственной операции, многократно выполняемой на различных объектах промышленности, энергетики и транспорта, можно утверждать массовый характер этих работ.

Таким образом, при анализе безопасности техносферы имитационное моделирование обосновано и целесообразно.

Можно также сказать, что *имитационное моделирование является одной из форм диалога человека с ЭВМ* и резко повышает эффективность изучения системы. Оно является особенно незаменимым, когда невозможна строгая постановка математической задачи (полезно попробовать разные постановки), отсутствует математический метод решения задачи (можно использовать имитацию для целенаправленного перебора), имеется значительная сложность полной модели (следует имитировать поведение декомпозиционных частей). Наконец, имитацией пользуются и в тех случаях, когда невозможно реализовать математическую модель из-за недостатка квалификации исследователя.

6 ПОНЯТИЕ ПРОЦЕССА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ (ППР)

6.1 Общие свойства процесса принятия решений

Процесс принятия решения (ППР) – это особый вид человеческой деятельности, состоящий в выборе одного конкретного способа действий из нескольких возможных.

В течение всей жизни человек постоянно принимает решения. Возможность это делать – отличительная особенность людей от других живых существ, благодаря чему человек может достигать огромных "степеней свободы", что, к сожалению, часто используется им не во благо.

Существует большое количество современных научных дисциплин, посвященных проблеме принятия решений: математическое программирование, теория игр, теория статистических решений, теория оптимального автоматического управления, исследование операций, системный анализ, экономическая кибернетика и др. Все эти дисциплины занимаются рассмотрением одной и той же проблемы — научного анализа ряда возможных способов действия с целью нахождения такого из них, который в данных условиях был бы наилучшим. В этом смысле названные дисциплины являются составными частями единой научной дисциплины, для обозначения которой сейчас все чаще применяется термин «теория принятия решений» (ТПР). Центральным в ППР является понятие выбора. Способность сделать правильный выбор – очень ценное качество, присущее людям в разной степени. Объяснить, что такое правильный выбор непросто. Легче сказать, что такое неправильный выбор. Это действия человека, приводящие к несчастным случаям, авариям, катастрофам и другим, неприятным для людей и окружающей среды, последствиям. Каждый может привести примеры подобных решений из своей личной жизни, поступков знакомых людей, сообщений прессы и т.д.

Правильный выбор и соответственно правильное решение в дальнейшем будем рассматривать как действие, направленное на достижение наибольшего блага или наименьшего вреда для данного человека или производственного коллектива в конкретной ситуации.

Системный анализ и теория принятия решений – это отдельная наука, которая взаимосвязана со многими другими. На рисунке 14 указаны базовые для системного анализа научные теории.

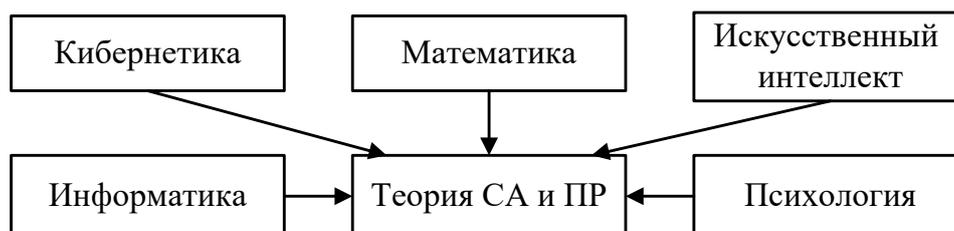


Рисунок 14 – Связь теории системного анализа и принятия решений с другими науками

Информатика – наука, изучающая общие свойства информации, а также проблемы, связанные с ее сбором, хранением, поиском, переработкой, преобразованием, распространением и использованием в различных сферах деятельности.

Кибернетика – наука об общих законах управления сложными системами.

Искусственный интеллект – область знаний, ставящая своей задачей создание технического интеллекта, не уступающего человеческому.

Психология – наука, изучающая процессы и закономерности психической деятельности человека.

Для всех ППР общим является:

1. *Неполная информация*, которая обуславливает неясные последствия ПР.
2. *Множество факторов*, которые необходимо принимать во внимание при ПР.
3. Любое решение содержит *элемент субъективности*, т.е. личностную составляющую лица, принимающего решение (ЛПР).

Как уже отмечалось, любая деятельность человека связана с принятием решений. Часто, несмотря на свою обыденность, принимаемое в данный момент решение может оказать определяющее влияние на длительный период или даже на всю последующую жизнь человека.

Каждому взрослому человеку практически ежедневно не один раз приходится переходить проезжую часть, по которой перемещаются большие потоки автотранспорта. В такие моменты любой пешеход подвергается опасности. К сожалению, ошибки в ПР с его стороны или со стороны водителя (иногда ошибки являются двухсторонними) нередко заканчиваются трагическим исходом.

Еще большие проблемы возникают, когда принимать решения человеку приходится в условиях стресса, который может быть обусловлен дефицитом времени, недостатком информации, высокой ответственностью за ПР и другими причинами. Такие ситуации возникают, например, на пульте управления сложным технологическим процессом, когда оператор замечает существенные отклонения от заданных параметров, что может предшествовать аварии. Еще более серьезным испытаниям подвергается космонавт при работе на орбитальной станции во время выхода в открытый космос. Высокую ответственность за принимаемые решения несет диспетчер службы спасения, сталкиваясь с необычной ситуацией, врач-хирург, выполняя нетрадиционную операцию и т.д.

Любой специалист должен осознавать, что в своей практической деятельности ситуации, связанные с ответственным выбором, возникать будут неизбежно. Поэтому готовить себя к подобным событиям необходимо заранее. На эти цели и направлено изучение теории принятия решений.

Одним из основных понятий теории принятия решений является понятие операции. Под термином «*операции*» понимается организованная деятельность в любой области жизни, объединенная единым замыслом, направленная к достижению определенной цели и имеющая характер повторяемости, т.е. многократности.

Второе важное понятие теории принятия решений – оперирующая сторона как совокупность людей и техники, которые стремятся к достижению некоторой цели. В операции могут участвовать одна или несколько оперирующих

сторон, преследующих различные, несовпадающие цели. Несовпадение целей оперирующих сторон создает конфликтную ситуацию.

6.2 Участники процесса принятия решения

В задачах принятия решений сама проблема выбора тесно связана с человеком – ее владельцем. Владелец проблемы является человек, который должен ее решать и нести ответственность за принятые решения. Но не всегда владелец проблемы является также и ЛПР (лицо принимающее решения), хотя известны многочисленные примеры совмещения этих двух ролей – ЛПР и владельца проблемы.

На принятие решений в той или иной степени влияют активные группы – сообщества людей, имеющих общие интересы по отношению к проблеме, требующей решения. Так, при принятии решения о постройке атомной электростанции (АЭС) активными группами являются:

- сотрудники Министерства энергетики, заинтересованные в приросте электроэнергии;
- работники организации, осуществляющей постройку АЭС;
- представители рядовых граждан;
- представители защитников окружающей среды.

В данном случае владельцем проблемы (и иногда ЛПР) являются местные власти, которые должны дать разрешение на постройку АЭС на своей территории.

При принятии решения важную роль играют эксперты – люди, которые профессионально (лучше, чем ЛПР) знают отдельные аспекты рассматриваемой проблемы. К ним обычно обращаются за оценками, за прогнозами исходов тех или иных решений. Давая такие оценки, эксперты высказывают свое субъективное мнение.

Так, при принятии решения о постройке АЭС эксперты-физики могут дать ценные сведения о влиянии АЭС на людей и окружающую среду. Они могут произвести расчеты вероятности аварий на АЭС и их возможных последствиях. Но следует помнить, что само решение принимает ЛПР, а эксперты дают лишь часть необходимой информации.

При принятии сложных (стратегических) решений в их подготовке принимают участие консультанты по принятию решений. Их роль сводится к эффективной организации самого процесса принятия решения.

Итак, люди, участвующие в решении проблемы, могут играть одну из следующих ролей:

- 1) владелец проблемы;
- 2) ЛПР;
- 3) представитель активной группы;
- 4) эксперт;
- 5) консультант.

Ответственность за выбор решения может быть односторонней (индивидуальной) или многосторонней (групповой).

6.3 Схема процесса принятия решения

Процессы принятия решения (ППР), реализуемые в самых различных сферах деятельности, имеют очень много общего. Поэтому, несмотря на отсутствие единой технологии ППР, определенная тенденция в этом направлении у специалистов по исследованию операций, системному анализу, управлению производством имеется. Обычно СА организуется в виде последовательности следующих этапов:

- постановка задачи и ограничение степени ее сложности;
- выбор целей и их ранжирование;
- выбор способов решения задачи;
- моделирование;
- оценка получаемых результатов и их практическое использование.

Процесс принятия решения является сложной итеративной циклической процедурой. Структурная схема ППР показана на рисунке 15. Особенности ППР отображены с помощью обратных связей.

Далее рассмотрим более подробно каждый из этапов принятия решения.

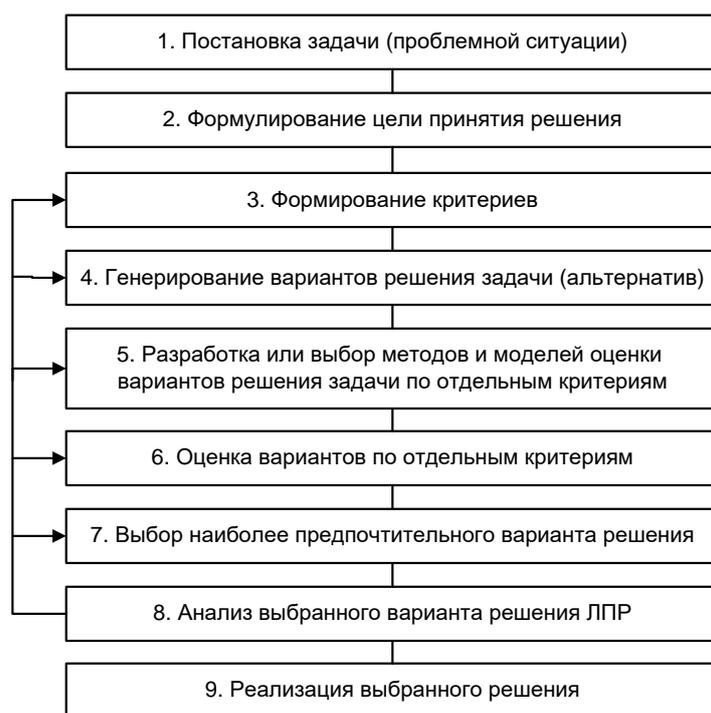


Рисунок 15 – Структурная схема процесса принятия решений

6.4 Формулирование проблемы

Для традиционных наук начальный этап работы заключается в постановке формальной задачи, которую надо решать. В исследовании сложной системы это промежуточный результат, которому предшествует длительная работа по структурированию исходной проблемы. Начальный пункт определения целей в системном анализе связан с формулированием проблемы. Здесь следует отме-

тить следующую особенность задач системного анализа. Необходимость системного анализа возникает тогда, когда заказчик уже сформулировал свою проблему, т.е. проблема не только существует, но и требует решения. Однако необходимо отдавать себе отчет в том, что сформулированная заказчиком проблема представляет собой приблизительный рабочий вариант, т.е. система не является изолированной, она связана с другими системами, входит как часть в состав некоторой надсистемы. Планируемые изменения затронут и подсистемы, входящие в состав данной системы, и надсистему, содержащую данную систему. Таким образом, к любой реальной проблеме следует относиться не как к отдельно взятой, а как к объекту из числа взаимосвязанных проблем.

Также при формулировании проблемной ситуации возникает элемент субъективности. В реальной жизни необходимо учитывать позиции всех заинтересованных сторон, что приводит к дополнениям, уточнениям первоначального варианта описанной проблемы. Следовательно, системное исследование проблемы должно начинаться с ее расширения до системы проблем, связанных с исследуемой, без учета которых она не может быть решена.

Для формулирования системы проблем необходимо сформировать перечень заинтересованных лиц, так или иначе связанных с работами по системному анализу (участников ППР).

При формулировании системы проблем необходимо следовать некоторым рекомендациям. Во-первых, за основу должно браться мнение владельца проблемы (заказчика). Как правило, в качестве такового выступает руководитель организации, для которой проводится системный анализ. Именно он генерирует исходную формулировку проблемы. Далее системный аналитик, ознакомившись со сформулированной проблемой, должен уяснить задачи, которые были поставлены перед руководителем, ограничения и обстоятельства, влияющие на поведение руководителя, противоречивые цели, между которыми он старается найти компромисс. Насколько это возможно, следует выяснить личные качества руководителя, его склонности и предубеждения. Далее необходимо изучить организацию, для которой проводится системный анализ. Необходимо тщательно ознакомиться с существующей иерархией управления, функциями различных групп, а также предыдущими исследованиями соответствующих вопросов, если таковые проводились. Аналитик должен воздерживаться от высказывания своего предвзятого мнения о проблеме и от попыток втиснуть ее в рамки своих прежних представлений ради того, чтобы использовать желательный для себя подход к ее решению. Наконец, аналитик не должен оставлять непроверенными утверждения и замечания руководителя. Как уже отмечалось, проблему, сформулированную руководителем, необходимо, во-первых, расширять до комплекса проблем, согласованных с над- и подсистемами, и, во-вторых, согласовывать ее со всеми заинтересованными лицами.

Следует также отметить, что каждая из заинтересованных сторон имеет свое видение проблемы, отношение к ней. Поэтому при формулировании комплекса проблем необходимо учитывать, какие изменения и почему хочет внести та или другая сторона. Кроме того, проблему необходимо рассматривать всесторонне, в том числе и во временном, историческом плане. Требуется предви-

деть, как сформулированные проблемы могут измениться с течением времени или в связи с тем, что исследование интересует руководителей другого уровня. Формулируя комплекс проблем, необходимо дать развернутую картину того, кто заинтересован в том или ином решении.

6.5 Определение целей

После того, как сформулирована проблема, переходят к определению цели. Определить цель системного анализа – это означает ответить на вопрос, что надо сделать для снятия проблемы. Сформулировать цель – значит указать направление, в котором следует двигаться, чтобы разрешить существующую проблему, показать пути, которые уводят от существующей проблемной ситуации. Цель – это антипод проблемы (рис. 16). При формулировании проблемы определяется нечто, требующее своего изменения. Например, на некотором предприятии имеет место высокий уровень травматизма. Другой пример – на автодорожной трассе существует участок, где количество ДТП значительно превосходит средний уровень.

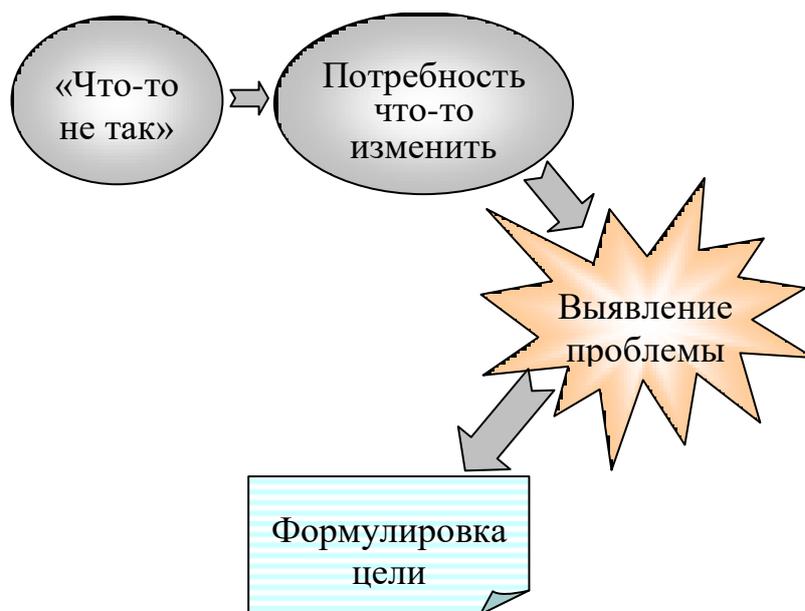


Рисунок 16 – Формулирование цели

Говоря о цели, пытаются определить направление изменения ситуации, которая нас не устраивает, это желаемый результат развития системы. Таким образом, сформулированная цель системного анализа будет определять весь дальнейший комплекс работ. Следовательно, цели должны быть реалистичны. Задание реалистичных целей направит всю деятельность по выполнению системного анализа на получение определенного полезного результата. Способов решения любой проблемы может быть много. В сложных ситуациях сразу поставить правильную цель бывает достаточно трудно, поэтому в процессе системного анализа цель может и должна уточняться. Сроки изменения представлений о целях, старения целей различны и зависят от уровня иерархии рассмот-

рения объекта. Цели более высоких уровней долговечнее. Динамичность целей должна учитываться в системном анализе.

При формулировании цели нужно учитывать, что на цель оказывают влияние как внешние по отношению к системе факторы, так и внутренние. При этом внутренние факторы являются такими же объективно влияющими на процесс формирования цели факторами, как и внешние.

Далее следует отметить, что даже на самом верхнем уровне иерархии системы имеет место множественность целей. Анализируя проблему, необходимо учитывать цели всех заинтересованных сторон. Среди множества целей желательно попытаться найти или сформировать глобальную цель. Если этого сделать не удастся, следует проранжировать цели в порядке их предпочтения для снятия проблемы в анализируемой системе.

Исследование целей заинтересованных в проблеме лиц должно предусматривать возможность их уточнения, расширения или даже замены. Это обстоятельство является основной причиной итеративности системного анализа.

На выбор целей субъекта решающее влияние оказывает та система ценностей, которой он придерживается, поэтому при формировании целей необходимым этапом работ является выявление системы ценностей, которой придерживается лицо, принимающее решение. Так, например, различают технократическую и гуманистическую системы ценностей.

Согласно первой системе природа провозглашается как источник неисчерпаемых ресурсов, человек – царь природы. Всем известен тезис: «Мы не можем ждать милостей от природы. Взять их у нее наша задача». Гуманистическая система ценностей говорит о том, что природные ресурсы ограничены, что человек должен жить в гармонии с природой и т.д. Практика развития человеческого общества показывает, что следование технократической системе ценностей приводит к пагубным последствиям. С другой стороны, полный отказ от технократических ценностей тоже не имеет оправдания. В повседневной деятельности целесообразен разумный компромисс для возможности выработки взвешенного и эффективного решения. Здесь важно мыслить системно, не ограничиваясь только узкими рамками собственной предметной области. Примером подобной ситуации является шуточное высказывание, которое встречается у врачей-хирургов: Операция прошла успешно, но пациент умер.

Необходимо не противопоставлять эти системы, а разумно дополнять их и формулировать цели развития системы с учетом обеих систем ценностей.

6.6 Генерирование альтернатив

Следующим этапом системного анализа является создание множества возможных способов достижения сформулированной цели. Иными словами, на данном этапе необходимо сгенерировать множество альтернатив, из которых затем будет осуществляться выбор наилучшего пути развития системы. Данный этап системного анализа является очень важным и трудным. Важность его заключается в том, что конечная цель системного анализа состоит в выборе наилучшей альтернативы на заданном множестве и в обосновании этого выбо-

ра. Если в сформированное множество альтернатив не попала наилучшая, то никакие самые совершенные методы анализа не помогут ее вычислить. Трудность этапа обусловлена необходимостью генерации достаточно полного множества альтернатив, включающего в себя, на первый взгляд, даже самые нереализуемые.

Для существования самой задачи ПР необходимо иметь хотя бы два варианта, поскольку только в этом случае может быть реализован выбор.

Множество альтернатив может быть дискретным (конечным) или непрерывным (континуальным). Альтернативы бывают независимыми и зависимыми. Независимыми являются те альтернативы, любые действия с которыми (удаление из рассмотрения, выделение в качестве лучшей и т.п.) не оказывают влияния на качество других альтернатив. При зависимых альтернативах решения по одним оказывают влияние на качество других.

Задачи ПР могут существенно отличаться также по числу альтернатив и их наличию на момент ПР. Встречаются задачи, когда все альтернативы уже заданы и необходим лишь выбор из этого множества. Особенностью этих задач является замкнутое и нерасширяющееся множество альтернатив. Но существуют задачи другого типа, в которых альтернативы не сформированы на момент ПР, а генерируются в процессе принятия решений.

Итак, альтернативы, присутствующие в задачах ПР, могут быть следующими:

- 1) независимыми или зависимыми;
- 2) заранее заданными или конструируемыми в ППР.

Среди набора альтернатив в некоторых задачах ПР обязательно должна присутствовать так называемая нулевая альтернатива, под которой понимается вариант "не делать ничего". В отдельных ситуациях, не носящих стратегического характера, именно такой выбор оказывается наилучшим.

Генерирование альтернатив, т.е. идей о возможных способах достижения цели, является настоящим творческим процессом. Существует ряд рекомендаций о возможных подходах к выполнению рассматриваемой процедуры. Необходимо сгенерировать как можно большее число альтернатив. Имеются следующие способы генерации:

- поиск альтернатив в патентной и журнальной литературе;
- привлечение нескольких экспертов, имеющих разную подготовку и опыт;
- увеличение числа альтернатив за счет их комбинации, образования промежуточных вариантов между предложенными ранее;
- модификация имеющейся альтернативы, т.е. формирование альтернатив, лишь частично отличающихся от известной;
- включение альтернатив, противоположных предложенным, в том числе и «нулевой» альтернативы (не делать ничего, т.е. рассмотреть последствия развития событий без вмешательства системотехников);
- интервьюирование заинтересованных лиц и более широкие анкетные опросы;
- включение в рассмотрение даже тех альтернатив, которые на первый взгляд кажутся надуманными;
- генерирование альтернатив, рассчитанных на различные интервалы

времени (долгосрочные, краткосрочные, экстренные).

При выполнении работы по генерированию альтернатив важно создать благоприятные условия для сотрудников, выполняющих данный вид деятельности. Большое значение имеют психологические факторы, влияющие на интенсивность творческой деятельности, поэтому необходимо стремиться к созданию благоприятного климата на рабочем месте сотрудников.

Существует еще одна опасность, возникающая при выполнении работ по формированию множества альтернатив, о которой необходимо сказать. Если специально стремиться к тому, чтобы на начальной стадии было получено как можно больше альтернатив, т.е. стараться сделать множество альтернатив как можно более полным, то для некоторых проблем их количество может достичь многих десятков. Для подробного изучения каждой из них потребуются неприемлемо большие затраты времени и средств. Поэтому в данном случае необходимо провести предварительный анализ альтернатив и постараться сузить множество на ранних этапах анализа. На этом этапе анализа применяют качественные методы сравнения альтернатив, не прибегая к более точным количественным методам. Тем самым осуществляется грубое отсеивание.

При графической интерпретации задач ПР альтернативы обычно откладываются по оси X.

6.7 Формирование критериев

В ППР часто встречается термин критерий, который конкретизирует цель. Именно критерий позволяет реализовать механизм выбора конкретного варианта из заданного множества, поскольку является способом сравнения вариантов.

После того как критерий сформирован, т.е. найдена характеристика, которая будет положена в основу сравнения вариантов решения (альтернатив), появляется возможность ставить задачи выбора и оптимизации.

Задача формирования критериев решается непосредственно после того, как сформулированы цели системного анализа. Задача системного анализа состоит в том, чтобы формализовать проблемную ситуацию, возникающую в ходе системного анализа. Этой цели как раз и служит этап формирования критериев. Сформированные критерии в некотором смысле должны заменять цели. От критериев требуется как можно большее сходство с целями, однако полностью совпадать они не будут. Одной из причин этого является то, что критерии и цели формулируются в разных шкалах: цели в номинальных, критерии в более сильных, допускающих упорядочение. Критерий является отображением ценностей, воплощенных в целях. Определение значения критерия для данной альтернативы является косвенным измерением степени ее пригодности как средства достижения цели.

Обсуждая вопрос формирования критериев, следует сказать, что это достаточно трудная и серьезная задача. Редко бывает так, что решение лежит на поверхности. Зачастую для формирования хорошего критерия, адекватно отражающего цель системного анализа, приходится прибегать к неформализуемым процедурам. Неформализуемые, творческие, эвристические этапы играют важ-

ную роль в процессе формирования критериев. При решении задач системного анализа, возникает ситуация, когда невозможно предложить один критерий, адекватно отражающий цель исследования: даже одну цель редко удается выразить одним критерием, хотя к этому необходимо стремиться. Критерий, как и всякая модель, лишь приближенно отображает цель; адекватность одного критерия может оказаться недостаточной. Поэтому решение может состоять не обязательно в поиске более адекватного критерия, оно может выражаться в использовании нескольких критериев, описывающих одну цель по-разному и дополняющих друг друга. Еще более усложняется задача в случае, когда сформулировано несколько целей системного анализа, отражающих разные системы ценностей. В этом случае исследователь тем более вынужден формировать несколько критериев и в последующем решать многокритериальную задачу. Таким образом, можно отметить, что многокритериальность является способом повышения адекватности описания цели. Однако введение многокритериальности в задачах системного анализа не должно быть самоцелью. Качество постановки задачи заключается не только и не столько в количестве критериев, сколько в том, чтобы они достаточно адекватно описывали цель системного анализа. Критерии должны описывать по возможности все важные аспекты цели, но при этом желательно минимизировать число необходимых критериев.

Формирование критериев отражает цель, которую ставит заказчик. Но при постановке и решении задач системного анализа необходимо учитывать не только цели, на решение которых он направлен, но и возможности, которыми обладают стороны для решения поставленных задач и которые позволяют снять выявленные проблемы. В первую очередь, необходимо учитывать ресурсы, имеющиеся у сторон, и интересы окружающей среды. Хотя окружающая среда и играет пассивную роль, необходимо учитывать, что любая система существует внутри нее, взаимодействует с ней. Поэтому при постановке задачи системного анализа необходимо следовать принципу «не навредить», не предпринимать ничего, что противоречило бы законам природы. Чтобы удовлетворить условиям непревышения количества имеющихся ресурсов, в постановку задачи системного анализа вводят ограничения.

Между целевыми критериями и ограничениями имеются сходство и различия. Общее заключается в том, что и критерий, и ограничения являются математической формулировкой некоторых условий. В некоторых задачах оптимизации они могут выступать равноправно. Однако на этапе формирования целевой критерий открывает возможности для генерирования новых альтернатив в поисках лучшей из них, а ограничение заведомо уменьшает их число, запрещая некоторые из них. Одними целевыми критериями можно жертвовать ради других, ограничения же исключить нельзя, они должны четко соблюдаться. При формулировании задач системного анализа встречаются случаи, когда ограничения задаются завышенными. Это может привести к нереальности достижения целей системного анализа. В этом случае необходимо ставить вопрос об ослаблении ограничений.

При графической интерпретации задач принятия решений критерии откладываются по оси Y .

6.8 Виды и особенности задач принятия решений

Требования к процедуре выбора определяют вид задач принятия решений. Остановимся на трех основных типах подобных задач.

1. Упорядочение альтернатив. Существуют задачи, в которых требуется определить порядок на множестве альтернатив. Так, инженер по охране труда (ОТ), планируя на определенный календарный период мероприятия по обеспечению производственной безопасности, формирует их перечень в порядке важности; выпускники вуза распределяются по общим успехам за время обучения и т.д.

2. Разделение альтернатив на упорядоченные группы. Объединение объектов в группы – очень характерное занятие для людей. Врач, обследующий больных, может выделять группы пациентов в соответствии с подозрениями на разные заболевания; куратор делит студентов на группы отличников, хорошистов, троечников и т.д.

3. Выбор лучшей альтернативы. Эта задача традиционно считается одной из основных в принятии решений. Она часто встречается на практике. С такой проблемой сталкивается абитуриент при выборе специальности при поступлении в вуз; выпускник выбирает конкретное место работы; руководитель проектной организации определяет проект будущего объекта и т.п.

Для ЛПР задача ПР может быть совершенно новой или повторяющейся. Это влияет на его степень информированности. Если ЛПР ощущает недостаток информации, то ему для получения эффективного результата целесообразно использовать поддержку эксперта.

Очень сильно на сложность выбора влияет размерность задачи, под которой понимается количество критериев и число альтернатив. Сложность существенно возрастает при переходе от одного к двум и более критериям. Количество альтернатив влияет на сложность: несколько альтернатив обычно трудностей при выборе не вызывают; эти трудности появляются, когда их число составляет несколько десятков; нередко встречаются ситуации, в которых число альтернатив достигает многих сотен или даже тысяч. Сложность выбора при этом становится значительной.

Для задач высокой размерности, как правило, требуется так называемая формализация, т.е. представление процедуры выбора в виде алгоритма, что открывает возможность применения вычислительной техники.

Опытный ЛПР в процессе принятия решений иногда использует специальные приемы, которые получили название эвристик.

Эвристика – в широком смысле слова раздел психологии, изучающий природу мыслительных операций человека при решении им различных задач; в узком смысле – приемы и методы поиска решений, основанные на интуиции и учете результатов решений сходных задач в прошлом, накопленном опыте, анализе ошибок.

Действуя в рамках эвристического набора правил, ЛПР манипулирует следующими характеристиками:

- вероятность выигрыша;
- размер выигрыша;

- вероятность проигрыша;
- размер проигрыша и некоторыми другими.

Использование эвристик не всегда гарантирует хороший результат. Однако их достоинство заключается в том, что они способны радикально упростить исходную задачу и тем самым существенно снизить ее сложность. В ряде случаев такой подход оказывается единственным способом решения задачи.

На рисунке 17 представлена классификация задач принятия решений, которая завершена указанием на математический аппарат, применяемый при решении задач того или иного класса.

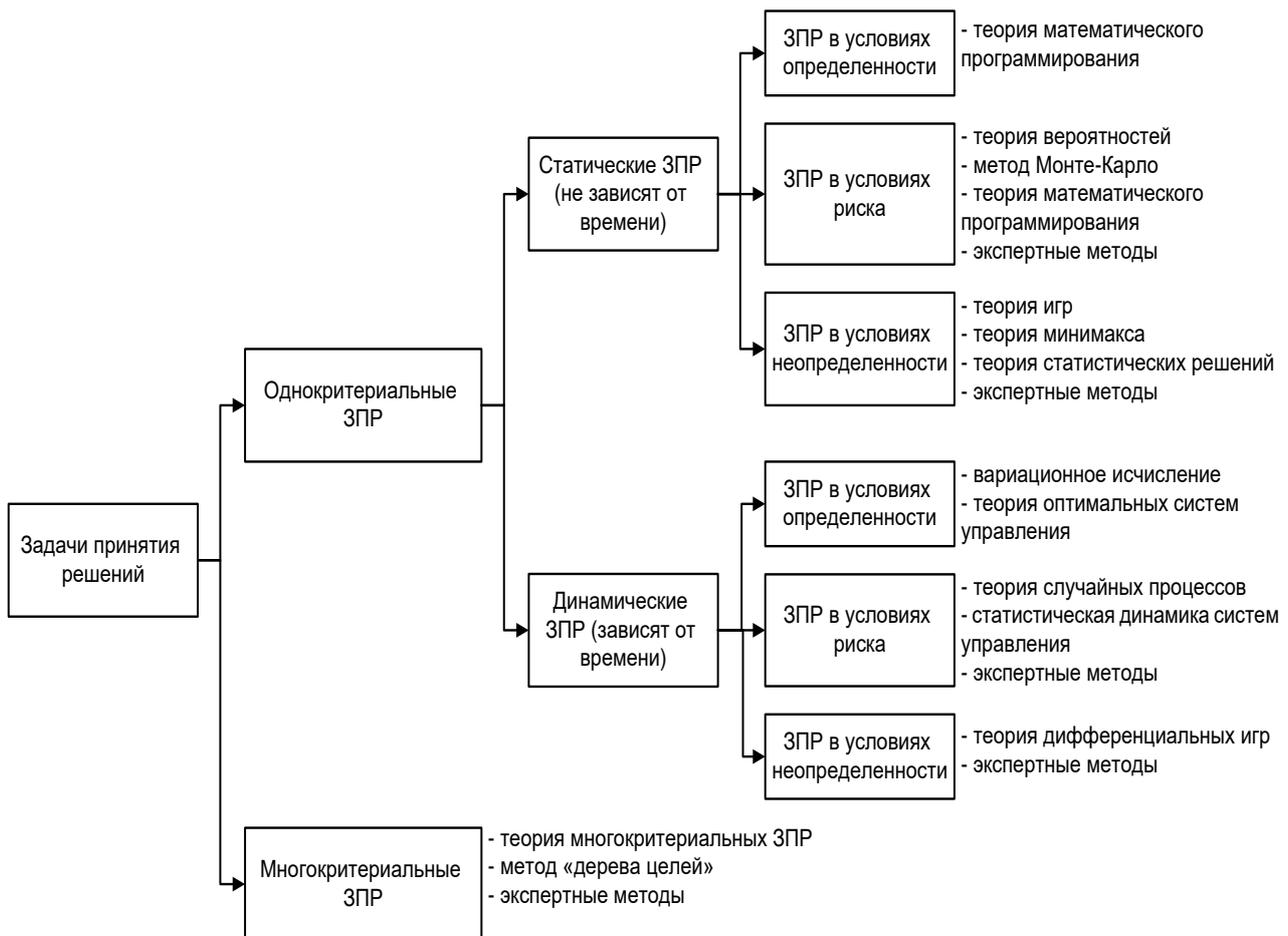


Рисунок 17 – Классификация задач принятия решений и методов их решения

6.9 Формализация принятия решений

Формально задача принятия решения может быть представлена следующим образом:

$$\langle S_0, t, R, \bar{W}, \bar{G}, \bar{X}, p, \bar{Z}, X^* \rangle,$$

где S_0 – проблемная ситуация;
 t – время для ПР;

R – ресурсы, потребные для ПР;

\bar{W} – множество целей, преследуемых при ПР;

\bar{G} – множество ограничений;

\bar{X} – множество альтернатив;

p – функция предпочтения ЛПР;

\bar{Z} – множество критериев выбора наилучшего решения;

X^* – оптимальное решение.

Собственно процедура выбора представляется в виде:

$$\{\bar{X}, \Phi\} \rightarrow X^*,$$

где Φ – правило (механизм) выбора.

Существует ряд подходов к формализации ППР:

- критериальный выбор (однокритериальные, многокритериальные задачи ПР, задачи ПР в условиях неопределенности);
- выбор на основе анализа бинарных отношений (некритериальные задачи ПР);
- групповой выбор (экспертные методы).

7 МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ

7.1 Свойства задач принятия решения со многими критериями

Существует обширное множество различных методов, направленных на решение многокритериальных задач. Подобные методы исторически возникли и получили свое развитие в рамках самых различных предметных областей и направлений, математической кибернетики, прикладной математики, теории управления, социологии, психологии и целого ряда других научных дисциплин. Выбор метода решения, очевидно, зависит от целей, преследуемых в конкретной ситуации принятия решения, а также от объема и характера информации, которая доступна ЛПР."

В технической практике задачи принятия решения с учетом нескольких критериев возникают достаточно часто. Сложность подобных задач существенно выше, чем при наличии одного критерия. Если при этом еще учитывать и неоднозначность внешних воздействий, то для получения корректного результата кроме математических знаний необходим также и опыт в соответствующей предметной области.

Теоретически можно представить случай, когда во множестве \bar{X} окажется одна альтернатива, для которой все r критериев (целевых функций) принимают наибольшие значения (в предположении, что все критерии максимизируются). Естественно, что данная альтернатива и будет наилучшей. К сожалению, на практике такие ситуации практически не встречаются, а типичным является случай, представленный на рисунке 18, для двух целевых функций.

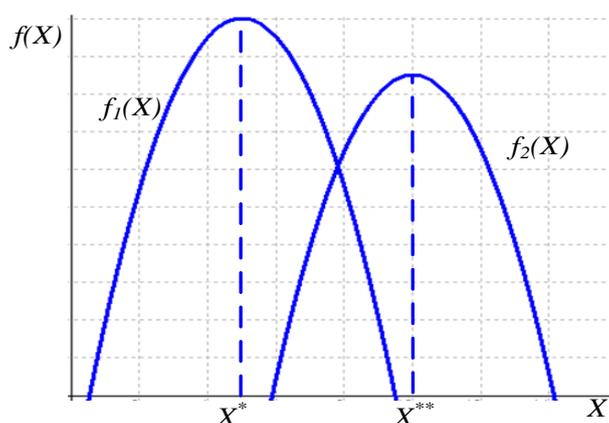


Рисунок 18 – Ситуация принятия решения для двух критериев

При X^* максимума достигает одна целевая функция, а при X^{**} – другая; нам же предстоит сделать только один выбор. Очевидно, что процесс принятия решения здесь становится менее прозрачным.

Сформулируем некоторые очевидные положения для подобных ситуаций:

1. Не существует результата наилучшего в абсолютном смысле.
2. Решение может считаться лучшим лишь для конкретного ЛПР, с учетом его предпочтений.

3. Для нахождения приемлемого результата должна строиться многокритериальная модель, которая создается для уточнения предпочтений ЛПР. Она должна быть логически непротиворечивой и должна включать в себя основные свойства решаемой задачи.

Прежде чем переходить к рассмотрению многокритериальных задач, остановимся на предпосылках их постановки, т.е. укажем причины, порождающие проблему многокритериальности. Для этого обратимся к блок-схеме, приведенной на рисунке 19. Данная схема отражает рациональную логическую последовательность этапов при подготовке и принятии решений.

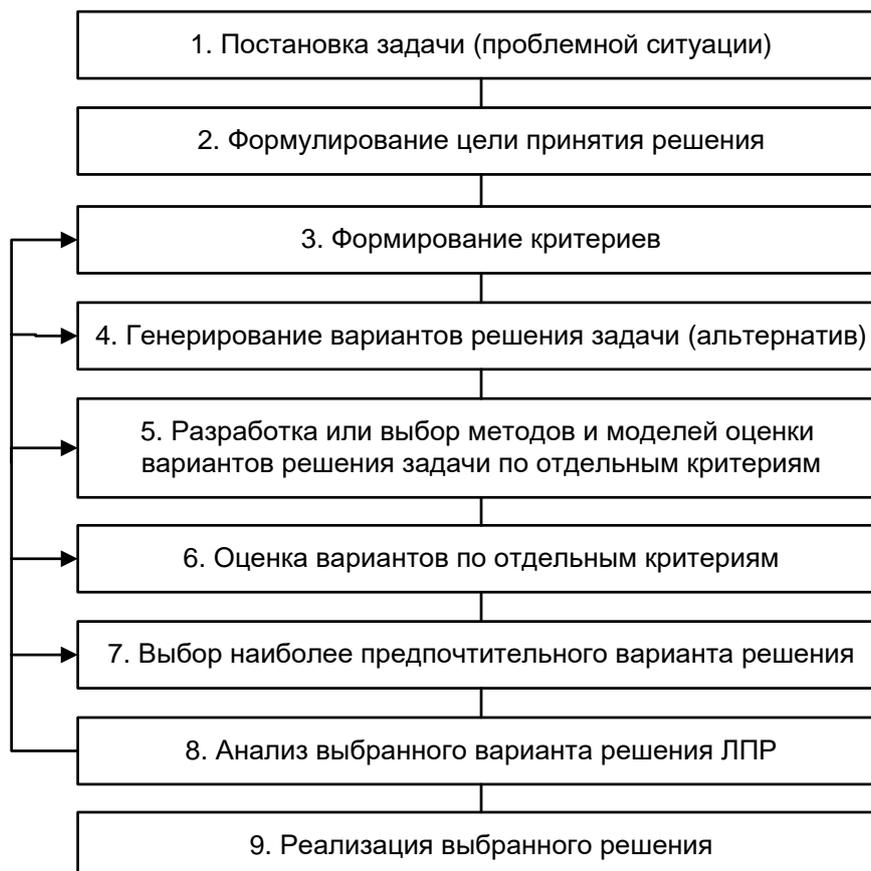


Рисунок 19 – Этапы подготовки и принятия решений

С проблемой многокритериальности лицо, принимающее решение, сталкивается на этапе 7 (Выбор наиболее предпочтительного варианта решения). Вместе с тем, ЛПР на более ранних этапах (2 и 3 при формулировании цели и критериев оценки) сам предопределяет постановку многокритериальной задачи. Следовательно, предпосылкой постановки многокритериальной задачи является необходимость проведения этапа 3 (формирования системы критериев). Этот этап может и отсутствовать, если цель принятия решения четко определяется одним критерием.

В практических задачах цель – весьма сложное понятие, которое даже содержательно не всегда удастся четко определить, тем более, количественно измерить степень ее достижения. Поэтому осуществляется декомпозиция сложно-

го понятия "цель принятия решения" на более простые единичные критерии, каждый из которых может быть количественно измерен. В большинстве случаев в качестве единичных критериев используются общепринятые характеристики исследуемого объекта, измеряемые по шкалам интервалов или отношений.

Полное и четкое описание цели множеством критериев является основой успешного решения поставленной задачи принятия решений.

Таким образом, причинами проведения этапа 3 и, соответственно, предпосылками постановки многокритериальных задач являются сложность цели принятия решений и трудность измерения степени достижения цели различными вариантами решения задачи.

Следовательно, постановку многокритериальной задачи предопределяет сам исследователь (ЛПР) из-за того, что не смог сформировать в математическом виде целевую функцию, а на этапе 7 он сталкивается с необходимостью решения многокритериальной задачи.

Следует отметить, что поскольку описание цели системой критериев является неформальной процедурой, то и последующее агрегирование критериев на этапе 7 также не является формальной процедурой. Поэтому решение многокритериальной задачи не является строгой математической задачей, а представляет собой набор процедур, помогающих ЛПР разобраться и уточнить цель принятия решений, устранить ошибки в своих оценках, сделать свое поведение в процессе выбора рациональным.

Примеры постановок многокритериальных задач из разных областей деятельности:

Выбор площадок для строительства промышленных объектов. В данной задаче необходимо учитывать группы критериев: экономические, экологические, социальные, критерии безопасности и т.д.

Оценка качества продукции (технического уровня разработок) по множеству потребительских свойств. Следствием данной задачи является определение цены на продукцию на основе потребительских свойств.

Проектирование на основе принципа многовариантности. Каждый из вариантов в абсолютном большинстве оценивается множеством критериев. В этой связи следует подчеркнуть, что системы автоматизированного проектирования должны включать подсистему выбора и оценки решений по многим критериям.

Проведем классификацию многокритериальных задач (Рис. 20).

По характеру решаемой многокритериальной задачи (МКЗ) можно выделить два класса задач.

Задачи, в которых множество объектов конечно, будем называть дискретными многокритериальными задачами (ДМКЗ). В задачах этого класса множество многокритериальных объектов в пространстве критериев $f_1 \times f_2 \times \dots \times f_m$ представляет собой множество дискретных точек. Дискретные МКЗ чаще всего ставятся в экономике и квалиметрии.



Рисунок 20 – Классификация многокритериальных задач

Второй класс образует непрерывные многокритериальные задачи (НМКЗ), которые формулируются следующим образом:

Имеется объект исследования, характеризующийся параметрами x_1, x_2, \dots, x_n . Требуется определить оптимальные в некотором смысле значения этих параметров с учетом нескольких критериев (целевых функций) k_1, \dots, k_m . При этом задана область определения параметров x_1, x_2, \dots, x_n и целевые функции $k_1 = f(x_1, \dots, x_n), \dots, k_m = f_m(x_1, \dots, x_n)$.

Область определения параметров (переменных) задается обычно в виде системы ограничений, например, в многокритериальных задачах линейного программирования – система линейных неравенств. Поэтому непрерывную многокритериальную задачу можно рассматривать как задачу, в которой бесконечное множество объектов.

Так как непрерывные МКЗ, как правило, возникают при оптимизации параметров сложных объектов, то в литературе их еще называют *задачами векторной оптимизации*. Одной из задач векторной оптимизации является многокритериальная задача линейного программирования.

Будем называть каждый из скалярных критериев оптимальности $f_k(X)$, $k \in [1; r]$ *частным критерием оптимальности*. Совокупность частных критериев оптимальности $\Phi(X) = (f_1(X), f_2(X), \dots, f_r(X))$ будем называть *векторным критерием оптимальности*. Предполагаем, что ставится задача оптимизации каждого из частных критериев оптимальности $f_1(X), f_2(X), \dots, f_r(X)$ в одной и той же области допустимых значений D .

Вторым признаком классификации многокритериальных задач является *вид требуемого результата* решения задачи. По этому признаку выделим следующие классы многокритериальных задач:

- задачи, в которых необходимо выделить из множества объектов один наиболее предпочтительный объект (получить одно наиболее предпочтительное решение). В некоторых случаях может быть выделено не одно, а подмножество эквивалентных и наиболее предпочтительных объектов. Постановка за-

дачи выделения наиболее предпочтительного объекта может быть как для дискретных, так и для непрерывных многокритериальных задач;

- задачи, в которых необходимо упорядочить многокритериальные объекты. Постановка многокритериальной задачи в таком виде чаще всего имеет место для дискретных МКЗ, например, упорядочить по предпочтению варианты технических систем, по качеству – образцы продукции;

- задачи, в которых требуется дать оценку полезности (качества) объектов по шкале интервалов. Другими словами, необходимо построить функцию полезности. Очевидно, что такая постановка задачи может быть как для дискретных, так и для непрерывных МКЗ;

- задачи, в которых требуется выделить подмножество эффективных (конкурирующих) объектов. Такие подмножества называют *оптимальными по Парето*, но об этом более подробно поговорим чуть позже.

7.2 Формирование множества критериев

Количество критериев должно охватывать все особенности задачи. Число критериев считается полным и достаточным, если прибавление нового критерия не изменит результата решения, а отбрасывание критерия этот результат меняет. Все критерии не должны сильно коррелировать друг с другом. Степень корреляции между μ и ν критериями можно определить по следующей формуле:

$$K_{\mu\nu} = \frac{I_{\mu\nu} - I_{\mu}I_{\nu}}{\sqrt{(I_{\mu\mu} - I_{\mu}^2)(I_{\nu\nu} - I_{\nu}^2)}},$$

$$I_{\mu} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f_{\mu}(X_i), \quad I_{\nu} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f_{\nu}(X_i), \quad I_{\mu\nu} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f_{\mu}(X_i)f_{\nu}(X_i),$$

где X_i – случайная альтернатива из множества \bar{X} , $i=1, \dots, N$;

$f_{\mu}(X_i)$, $f_{\nu}(X_i)$ – критерии;

N – число случайных испытаний.

Если $K_{\mu\nu}$ приближается к 1, то это свидетельствует о сильной корреляции критериев. Тогда необходимо рассмотреть вопрос об исключении одного из критериев.

Каждому критерию может быть поставлена в соответствие своя координатная ось и шкала. Последняя может быть непрерывной или дискретной, количественной или качественной.

Каждую ось будем обозначать буквой f_k , $k = 1, 2, \dots, r$.

$f_1 \times f_2 \times \dots \times f_r$ – декартово произведение, которое формирует пространство критериев, где имеет место множество векторных оценок. Между пространством параметров и пространством критериев существует соответствие (Рис. 21).

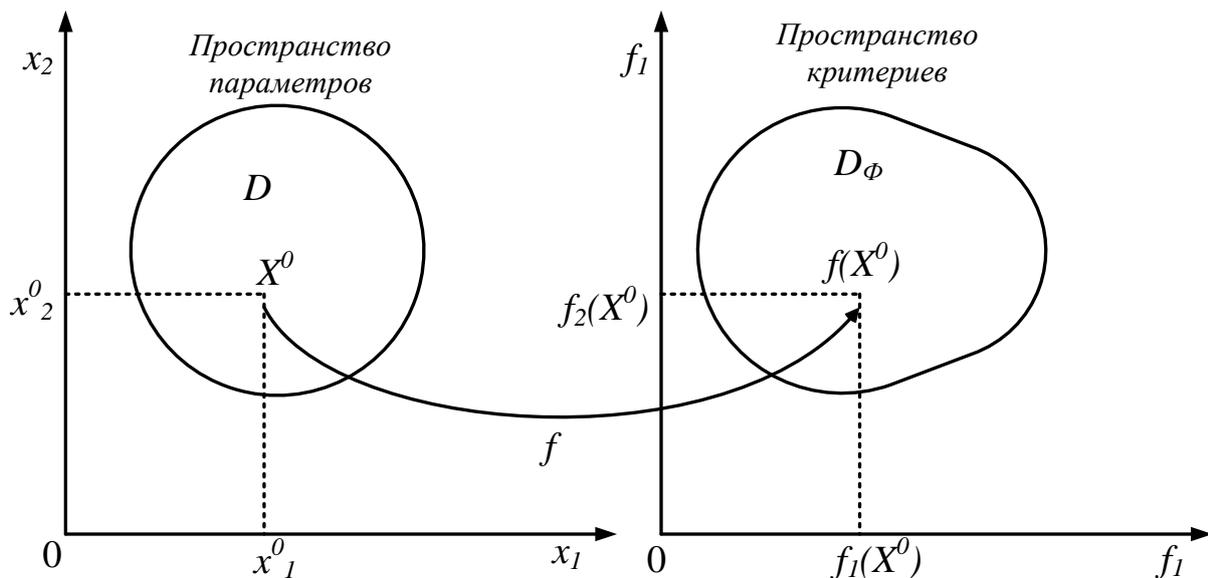


Рисунок 21 – Пространства параметров и критериев:
 D – допустимая область, D_Φ – аналог допустимой области в пространстве критериев

7.3 Методология решения многокритериальных задач

При решении многокритериальных задач обычно задаются параметрические ограничения вида $x_{i \min} \leq x_i \leq x_{i \max}$, при $i = 1, 2, \dots, n$, которые формируют в пространстве параметров n -мерный параллелепипед. Далее предполагается, что заданы функциональные ограничения вида $p_j(x) \leq 0$ при $j = 1, 2, \dots, m$, которые вырезают в параллелепипеде некоторую часть D , состоящую из точек X , удовлетворяющих одновременно параметрическим и функциональным ограничениям. Эту часть пространства называют допустимой областью (ДО). Множество D может оказаться весьма сложным, например, состоящим из нескольких отдельных частей (рис. 22, б, закрашенные участки).

Наконец, предполагается, что заданы соответствующие критерии $f_k(X_i)$, $k = 1, 2, \dots, r$.

Предположим, что ЛПР (лицо принимающее решение) сумело указать разумные критериальные ограничения вида $f_k(X) \leq \bar{f}_k$, при $k = 1, 2, \dots, r$. При этом \bar{f}_k – значение для одной из линий равного уровня n -го критерия.

Обозначим через G множество точек X , которые удовлетворяют параметрическим, функциональным и критериальным ограничениям. Очевидно, что $G \subseteq D$ (рис. 21, в, закрашенные области).

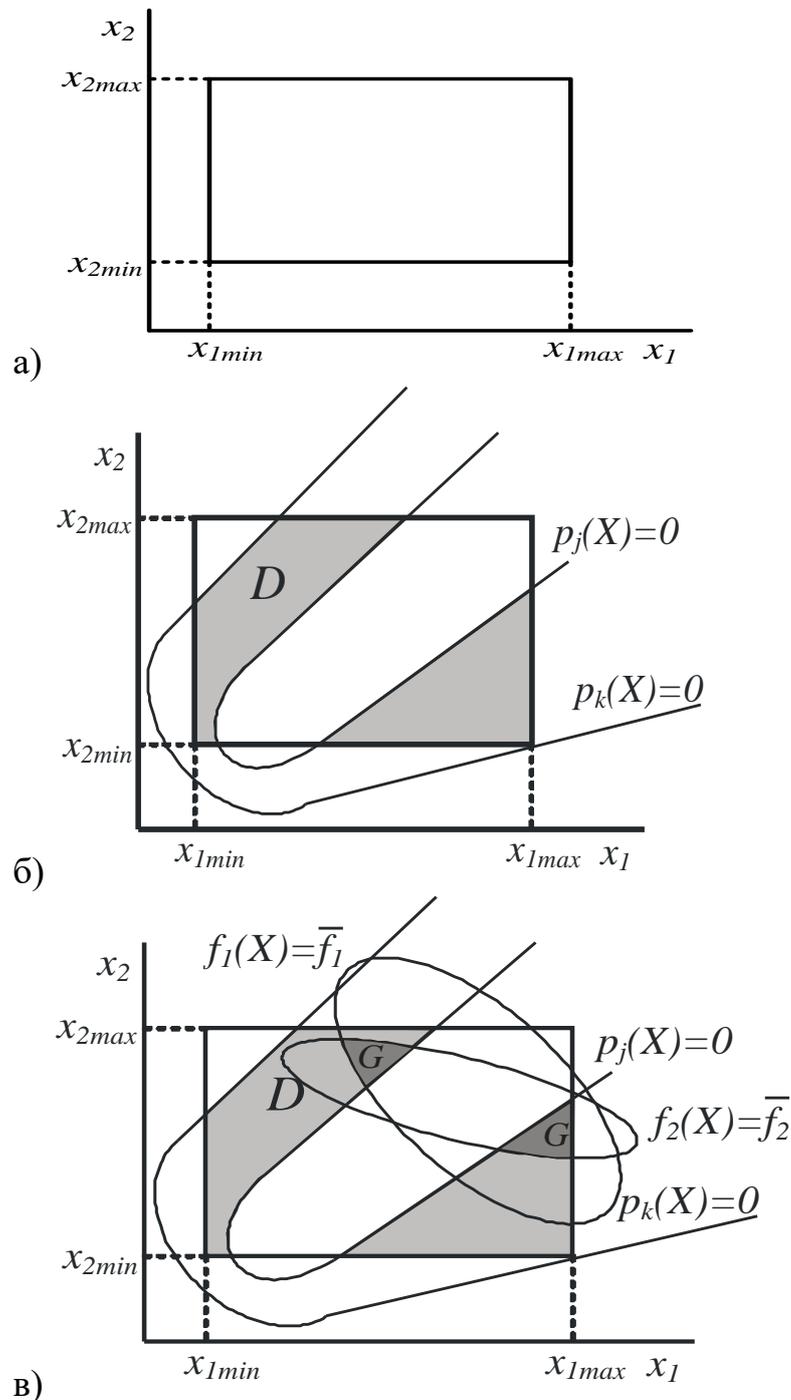


Рисунок 22 – Параметрические (а), функциональные (б) и критериальные (в) ограничения области поиска экстремума

Наилучшее решение целесообразнее искать среди точек множества G , а не среди точек множества D , поскольку, если точка $X \in D$, то значения всех критериев в этой точке приемлемы. Завышенные требования ЛПР могут привести к тому, что $G = 0$, т.е. область поиска решений будет пустой.

При решении многокритериальных задач выбора основная трудность состоит в неоднозначности выбора наилучшего решения. Для ее преодоления используют две группы методов.

В методах первой группы стремятся сократить число критериев, для чего

вводят дополнительные предположения, относящиеся к процедуре сопоставления критериев и построению моделей оптимизации. В методах первой группы стремятся сократить число альтернатив в исходном множестве, исключив заведомо плохие альтернативы.

К методам первой группы относятся метод свертки, метод главного критерия, метод пороговых критериев и метод расстояния.

Методы второй группы основаны на свертке в множестве альтернатив. С их помощью пытаются уменьшить число возможных вариантов решений, исключив заведомо «плохие». Один из подходов, обладающий большой общностью, называется методом, основанным на принципе Парето. Для уменьшения числа альтернатив исходного множества выделяют множество Парето, являющееся подмножеством исходного.

После того, как построено множество Парето, для определения наилучшего решения применяются методы первой группы либо графические методы, например, метод диаграмм. Схема поиска наилучшего решения представлена на рисунке 23.

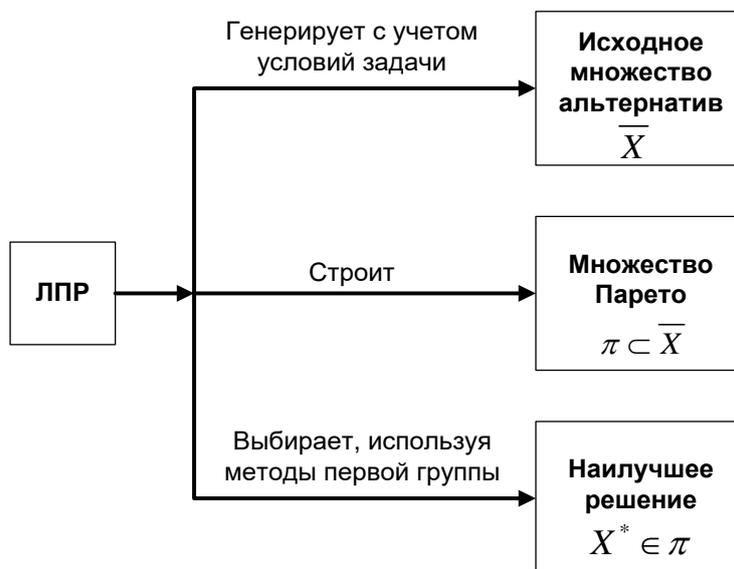


Рисунок 23 – Схема поиска наилучшего решения

Рассмотрим более подробно **закон Парето**.

Введем на множестве D отношение предпочтения (обозначим его символом \succ). Будем говорить, что вектор $X_1 \in D$ предпочтительнее вектора $X_2 \in D$, и писать $X_1 \succ X_2$, если среди равенств и неравенств $f_k(X_1) \leq f_k(X_2)$, $k \in [1; s]$ имеется хотя бы одно строгое неравенство (рис. 22).

Аналогично, на множестве D_Φ введем отношение доминирования: будем говорить, что векторный критерий оптимальности $\Phi(X_1) \in D_\Phi$ доминирует векторный критерий оптимальности $\Phi(X_2) \in D_\Phi$, и писать $\Phi(X_1) \triangleright \Phi(X_2)$, если $X_1 \succ X_2$.

Другими словами, объект $\Phi(X_1)$ доминирует объект $\Phi(X_2)$, если по всем

критериям $\Phi(X_1)$ предпочтительнее или эквивалентен $\Phi(X_2)$, и хотя бы по одному критерию строго предпочтительнее. Объект $\Phi(X_1)$ называют *доминирующим*, а $\Phi(X_2)$ – *доминируемым*.

Если исключить из исходного множества доминируемые объекты, то останутся конкурирующие (*эффективные*).

Введенные отношения предпочтения и отношения доминирования являются транзитивными, т.е.

если $X_1 \succ X_2$ и $X_2 \succ X_3$, то $X_1 \succ X_3$;

если $\Phi(X_1) \triangleright \Phi(X_2)$ и $\Phi(X_2) \triangleright \Phi(X_3)$, то $\Phi(X_1) \triangleright \Phi(X_3)$.

Выделим из множества D_Φ подмножество $D_\Phi^* \in D_\Phi$ точек, для которых нет точек, их доминирующих. Множество $D_\Phi^* \in D_\Phi$, соответствующее D_Φ^* , называется *множеством Парето* (переговорным множеством, областью компромисса). Поскольку множество D_Φ является выпуклым, то множество D_Φ^* – это часть границы множества D_Φ — дуга AB , в которой точка A соответствует $f_{1 \min}$, а точка B – $f_{2 \min}$ (Рис. 22).

Среди точек $\Phi(X_1) \in D_\Phi^*$, $\Phi(X_2) \in D_\Phi^*$ нет более предпочтительных, поскольку $\Phi_1(X_1) < \Phi_1(X_2)$, но $\Phi_2(X_1) > \Phi_2(X_2)$. Таким образом, если $X \in D_\Phi^*$, то $\Phi(X) \in D_\Phi^*$.

Другими словами *множество Парето* (Рис. 24) можно определить как множество, в котором значение любого из скалярных (частных) критериев оптимальности можно улучшить только за счет ухудшения других частных критериев – любое из решений, принадлежащее множеству Парето, не может быть улучшено одновременно по всем частным критериям.

Альтернатива принадлежит множеству Парето, если она не хуже других по всем критериям и хотя бы по одному критерию лучше.

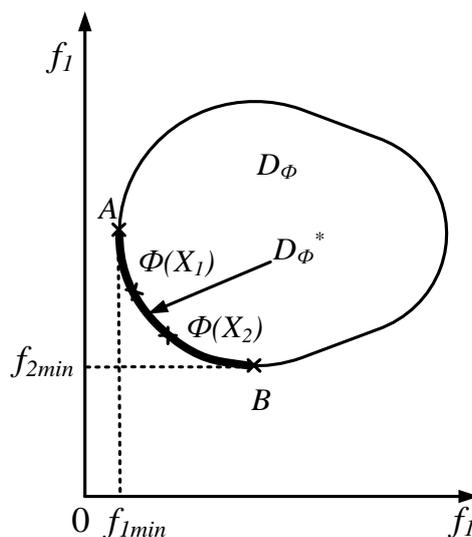


Рисунок 24 – Множество Парето

7.4 Методы принятия решения при нескольких критериях

При необходимости принятия решения при нескольких критериях на практике обычно используют следующие подходы.

1. Свертка векторного критерия

Этот метод также называют *скаляризацией* векторного критерия или введением суперкритерия.

Выбираются коэффициенты $\beta_k \geq 0$ так, чтобы функция $S = \sum_{k=1}^r \beta_k f_k$ обобщила в себе" все требования частных критериев. При этом обычно $\sum_{k=1}^r \beta_k = 1$, и каждый коэффициент β_k характеризует степень важности критерия $f_k(X)$.

Рассмотренный подход также называют *аддитивной сверткой*. Он имеет существенный недостаток – трудно находить коэффициенты β_k из-за разных размерностей критериев.

Избежать этого недостатка можно, если прибегнуть к свертке вида:

$$S_1 = \sum_{k=1}^r \mu_k \frac{\Phi_k^* - \Phi_k}{\Phi_k^* - \Phi_k^0} \quad \text{или} \quad S_2 = \sum_{k=1}^r \rho_k \left(\frac{\Phi_k^* - \Phi_k}{\Phi_k^* - \Phi_k^0} \right)^2,$$

где Φ_k^* – идеальное (реально недостижимое) значение k -го критерия, которое указывается ЛПР;

Φ_k^0 – наименее предпочтительное для ЛПР значение k -го критерия;

μ_k, ρ_k – весовые коэффициенты с тем же смыслом, что и β_k .

В двух последних свертках каждый k -й критерий выступает своим нормализованным значением $\frac{\Phi_k^* - \Phi_k}{\Phi_k^* - \Phi_k^0}$, которое изменяется в пределах от 0 до 1. Данный

подход снимает проблемы, обусловленные неодинаковыми размерностями входящих в свертку критериев.

2. Оптимизация главного из нескольких критериев

При таком подходе один из критериев, наиболее важный с точки зрения ЛПР, оставляют в качестве единственного критерия, а все остальные заменяют ограничениями.

Пусть для определенности главным критерием считается $f_1(X)$. Тогда следует выбрать ограничения $\overline{f_2}, \dots, \overline{f_r}$ и рассмотреть задачу об отыскании минимума $f_1(X)$ при дополнительных ограничениях $f_k(X) \leq \overline{f_k}, k = 2, 3, \dots, r$.

При таком подходе возникает проблема выбора критериальных ограничений $\overline{f_k}$, что может потребовать выполнения специальных предварительных расчетов.

3. Последовательная оптимизация всех критериев

Сначала определяется минимальное значение $f_1(X)$ при $X \in D$. Обозначим его через f_1^* . Выбираем "уступку" по этому критерию h_1 и назначаем критериальное ограничение $\bar{f}_1 = f_1^* + h_1$. Затем находится минимальное значение $f_2(X)$ при $X \in D$ и дополнительном ограничении $f_1(X) \leq \bar{f}_1$. Получив значение f_2^* и выбрав "уступку" h_2 , назначаем второе критериальное ограничение $\bar{f}_2 = f_2^* + h_2$. После этого определяется минимальное значение $f_3(X)$ при $X \in D$ и т.д.

На последнем шаге требуется найти минимальное значение $f_r(X)$ при $X \in D$, $f_1(X) \leq \bar{f}_1, \dots, \bar{f}_{r-1} \leq \bar{f}_{r-1}$. Если f_r^* реализуется в точке X^* , то эта точка считается наилучшей.

Очевидно, что точка X^* зависит и от порядка нумерации критериев, и от выбора h_1, \dots, h_{r-1} .

Все три метода нуждаются в дополнительной информации: в первом – это коэффициенты β_1, \dots, β_r ; во втором – номер главного критерия и значения ограничений \bar{f}_k ; в третьем – порядок выбора критериев и величины уступок h_1, \dots, h_{r-1} .

8 ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

8.1 Оценка сложных системы в условиях нестохастической неопределенности

Особенностями оценки сложных систем в условиях неопределенности являются:

1. Наличие в управляющей системе в качестве элемента ЛПР, осуществляющему управление на основе субъективных моделей, которые приводят к большому разнообразию поведения системы.

2. Алгоритм управления строит сама система управления, преследуя помимо целей старшей системы свои цели, не всегда совпадающие с внешними.

3. На этом этапе оценки ситуации в ряде случаев исходят не из фактической ситуации, а из той модели, которую использует ЛПР.

4. В процессе принятия решений большую роль играют логические рассуждения ЛПР, не поддающиеся формализации классическими методами математики.

5. При выборе управляющего воздействия ЛПР может оперировать нечеткими понятиями, отношениями и высказываниями.

Таким образом, методы принятия решений, используемые для детерминированных и вероятностных решений, для данного класса задач неприменимы. Поэтому для оценки систем в условиях нестохастической неопределенности используются методы, в основе которых лежит матрица эффективности, представленная в таблице 3.

Таблица 3 – Матрица эффективности

a_i	n_j				$K(a_i)$
	n_1	n_2	...	n_k	
a_1	k_{11}	k_{12}		k_{1k}	
a_2	k_{21}	k_{22}		k_{2k}	
\vdots	\vdots	\vdots		\vdots	
a_m	k_{m1}	k_{m2}		k_{mk}	

Здесь a_i - вектор управляемых параметров, определяющих свойства системы; n_j - вектор неуправляемых параметров, определяющих состояния обстановки; k_{ij} - значение эффективности системы a_i для состояния обстановки n_j ; $K(a_i)$ - эффективность системы.

В зависимости от характера неопределенности операции делятся на игровые и статистические. В игровых операциях неопределенность вносит своими сознательными действиями противника (теория игр). Условия статистически неопределенных операций зависят от объективной действительности (природы).

Прежде всего, отметим принципиальное различие между стохастическими факторами, приводящими к принятию решения в условиях риска, и неопределенными факторами, приводящими к принятию решения в условиях неопределенности. И те, и другие приводят к разбросу возможных исходов результатов управления. Но стохастические факторы полностью описываются известной стохастической информацией, эта информация и позволяет выбрать лучшее в среднем решение. Применительно к неопределенным факторам подобная информация отсутствует.

В общем случае неопределенность может быть вызвана либо противодействием разумного противника, либо недостаточной осведомленностью об условиях, в которых осуществляется выбор решения.

Принятие решений в условиях разумного противодействия является объектом исследования теории игр. Мы здесь не будем касаться этих вопросов.

Рассмотрим принципы выбора решений при наличии недостаточной осведомленности относительно условий, в которых осуществляется выбор. Такие ситуации принято называть «играми с природой». В терминах «игр с природой» задача принятия решений может быть сформулирована следующим образом. Пусть лицо, принимающее решение, может выбрать один из m возможных вариантов своих решений: x_1, x_2, \dots, x_m и пусть относительно условий, в которых будут реализованы возможные варианты, можно сделать n предположений: y_1, y_2, \dots, y_n . Оценки каждого варианта решения в каждом из условий (x_i, y_j) известны и заданы в виде матрицы выигрышей лица, принимающего решения: $A = \|a_{ij}\|$.

Предположим вначале, что априорная информация о вероятностях возникновения той или иной ситуации отсутствует. Теория статистических решений предлагает несколько критериев оптимальности выбора решений. Выбор того или иного критерия осуществляется человеком, принимающим решения, субъективно, исходя из его опыта, интуиции и т. д. Рассмотрим эти критерии более подробно.

8.2 Основные критерии принятия решений

Критерий среднего выигрыша. Данный критерий предполагает задание вероятностей состояния обстановки. Эффективность системы оценивается как среднее ожидаемое значение (МОЖ) оценок эффективности по всем состояниям обстановки

$$K(a_i) = \sum_{j=1}^n P_j k_{ij}, \quad i = \overline{1, m}.$$

Оптимальной системе будет соответствовать эффективность

$$K^{onm} = \max_{1 \leq i \leq m} \sum_{j=1}^n P_j k_{ij}.$$

Критерий минимакса.

$$K(a_i) = \max_j \Delta k_{ij}, \quad K^{onm} = \min_i \left(\max_j \Delta k_{ij} \right).$$

Критерий максимакса. Этим критерием предписывается оценивать системы по максимальному значению эффективности и выбирать в качестве оптимального решения обследующую эффективность с наибольшим из максимумов:

$$K(a_i) = \max_j k_{ij}, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n},$$

$$K^{onm} = \max_i \left(\max_j \Delta k_{ij} \right), \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}.$$

Критерий Лапласа. Поскольку вероятности возникновения той или иной ситуации y_j неизвестны, будем их все считать равновероятными. Тогда для каждой строки матрицы выигрышей подсчитывается среднее арифметическое значение оценок. Оптимальному решению будет соответствовать такое решение, которому соответствует максимальное значение этого среднего арифметического, т. е.

$$\bar{F} = F(\bar{X}, Y) = \max_{1 \leq i \leq m} (1/n) \sum_{j=1}^n a_{ij}.$$

Критерий Вальда. В каждой строчке матрицы выбираем минимальную оценку. Оптимальному решению соответствует такое решение, которому соответствует максимум этого минимума, т.е.

$$\bar{F} = F(\bar{X}, Y) = \max_{1 \leq i \leq m} \min_{1 \leq j \leq n} a_{ij}.$$

Этот критерий ориентирован на наихудшие условия, только среди которых и отыскивается наилучший и теперь уже гарантированный результат

Критерий Сэвиджа. В каждом столбце матрицы находится максимальная оценка $\max_{1 \leq i \leq m} a_{ij}$ и составляется новая матрица, элементы которой определяются соотношением $r_{ij} = \max_{1 \leq i \leq m} a_{ij} - a_{ij}$.

Величину r_{ij} называют риском, под которым понимают разность между максимальным выигрышем, который имел бы место, если бы было достоверно известно, что наступит ситуация y_j , и выигрышем при выборе решения в условиях x_i . Эта новая матрица называется *матрицей рисков*. Далее из матрицы рисков выбирают такое решение, при котором величина риска принимает наименьшее значение в самой неблагоприятной ситуации, т. е.

$$\bar{F} = F(\bar{X}, Y) = \min_{1 \leq i \leq m} \max_{1 \leq j \leq n} r_{ij} = \min_{1 \leq i \leq m} \max_{1 \leq j \leq n} \left(\max_{1 \leq i \leq m} a_{ij} - a_{ij} \right).$$

Сущность этого критерия заключается в минимизации риска. Как и критерий Вальда, критерий Сэвиджа очень осторожен. Они различаются разным пониманием худшей ситуации: в первом случае — это минимальный выигрыш, во втором — максимальная потеря выигрыша по сравнению с тем, чего можно было бы достичь в данных условиях.

Критерий Гурвица. Вводится некоторый коэффициент α , называемый «коэффициентом оптимизма», $0 \leq \alpha \leq 1$. В каждой строке матрицы выигрышей находится самая большая оценка $\max_{1 \leq j \leq n} a_{ij}$ и самая маленькая $\min_{1 \leq j \leq n} a_{ij}$. Они умножаются соответственно на α и $(1 - \alpha)$, затем вычисляется их сумма. Оптимальному решению будет соответствовать такое решение, которому соответствует максимум этой суммы, т.е.

$$\bar{F} = F(\bar{X}, Y) = \max_{1 \leq i \leq m} \left[\alpha \max_{1 \leq j \leq n} a_{ij} + (1 - \alpha) \min_{1 \leq j \leq n} a_{ij} \right].$$

При $\alpha = 0$ критерий Гурвица трансформируется в критерий Вальда. Это случай крайнего «пессимизма». При $\alpha = 1$ (случай крайнего «оптимизма») человек, принимающий решение, рассчитывает на то, что ему будет сопутствовать самая благоприятная ситуация. «Коэффициент оптимизма» назначается субъективно, исходя из опыта, интуиции и т.д. Чем более опасна ситуация, тем более осторожным должен быть подход к выбору решения и тем меньшее значение присваивается коэффициенту α .

ЛИТЕРАТУРА

1. Теория принятия решений. В 2 т. Т. 1: учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры / В.Г. Халин и др.; под ред. В.Г. Халина. М.: Изд-во Юрайт, 2018. 250 с. // ЭБС Юрайт [сайт]. URL: <https://bibli-online.ru/bcode/421481>.
2. Теория принятия решений. В 2 т. Т. 2: учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры / В. Г. Халин и др.; отв. ред. В.Г. Халин. М.: Изд-во Юрайт, 2019. 431 с. // ЭБС Юрайт [сайт]. URL: <https://bibli-online.ru/bcode/434147>.
3. Волкова В.Н., Денисов А.А. Основы теории систем и системного анализа: учебник. СПб.: Изд-во СПбГту, 2007. 512 с.
4. Орлов А.И. Теория принятия решений: учебное пособие. М.: Изд-во «Экзамен», 2005. 656 с.
5. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений, а Также Хроника событий в Волшебных Странах: учебник. М.: Логос, 2000. 296 с.: ил.

Учебное издание

Елена Анатольевна Ракул

ТЕОРИЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ МАГИСТРАНТОВ
очной и заочной форм обучения
направления подготовки
13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Редактор Лебедева Е.М.

Подписано к печати 10.10.2019 г. Формат 60x84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Усл. п. л. 4,53. Тираж 25 экз. Изд. № 6491.

Издательство Брянского государственного аграрного университета
243365 Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ