

**Аполов Олег Геннадиевич**

# **Теория систем и системный анализ**

**Курс лекций**

**Уфа-2012**

## Содержание

1. [Понятие, задачи и этапы системного подхода.](#)
  2. [Отношение терминов «системный подход» и «системный анализ».](#)
  3. [Определение понятия «система».](#)
  4. [Принципы системного подхода.](#)
  5. [Практическое выделение \(образование\) системы.](#)
  6. [Системный подход к «системе». Как практически проверить, является ли рассматриваемая Вами система системой?](#)
  7. [Функционально - структурный подход.](#)
  8. [Критика функционализма и структурализма.](#)
  9. [Инструментарий функционально-структурного подхода.](#)
  10. [С чего начинается система?](#)
  11. [Состояние системы.](#)
  12. [Статические и динамические свойства динамических систем.](#)
  13. [Пространство состояний.](#)
  14. [Устойчивость динамических систем.](#)
  15. [Классификация систем.](#)
  16. [Общесистемные закономерности.](#)
  17. [Цели и трудности целеполагания.](#)
  18. [Модели и моделирование.](#)
  19. [Модели в системном анализе.](#)
  20. [Измерительные шкалы.](#)
  21. [Системный подход к прогнозированию.](#)
  22. [Методология системного анализа.](#)
- [Ответы на некоторые контрольные вопросы по теории систем и системному анализу.](#)

[Используемые источники](#)

## **Вопрос №1**

### **Понятие, задачи и этапы системного подхода.**

Системный подход используется во всех областях знания, хотя в различных областях он проявляется по-разному. Так, в технических науках речь идет о системотехнике, в кибернетике – о системах управления, в биологии – о биосистемах и их структурных уровнях, в социологии – о возможностях структурно-функционального подхода, в медицине – о системном лечении сложных болезней (коллагенозы, системные васкулиты и т.д.) терапевтами широкого профиля (врачами-системщиками).

В самой природе науки лежит стремление к единству и синтезу знаний. Выявление и изучение особенностей этого процесса – задача современных исследований в области теории научного знания.

Сущность системного подхода и проста, и сложна; и ультрасовременная, и древняя, как мир, ибо уходит корнями к истокам человеческой цивилизации. Потребность в использовании понятия «система» возникла для объектов различной физической природы с древних времен: еще Аристотель обратил внимание на то, что целое (т.е. система) несводимо к сумме частей, его образующих.

Потребность в таком понятии возникает в тех случаях, когда невозможно изобразить, представить (например, с помощью математического выражения), а необходимо подчеркнуть, что это будет большим, сложным, не полностью сразу понятным (с неопределенностью) и целым, единым. Например, «солнечная система», «система управления станком», «система кровообращения», «система образования», «информационная система».

Очень хорошо особенности этого термина, такие как: упорядоченность, целостность, наличие определенных закономерностей – проявляются для отображения математических выражений и правил – «система уравнений», «система счисления», «система мер» и т.п. Мы не говорим: «множество дифференциальных уравнений» или «совокупность дифференциальных уравнений» – а именно «система дифференциальных уравнений», чтобы подчеркнуть упорядоченность, целостность, наличие определенных закономерностей.

Интерес к системным представлениям проявляется не только как к удобному обобщающему понятию, но и как к средству постановки задач с большой неопределенностью.

Системный подход – это направление методологии научного познания и социальной практики, в основе которого лежит рассмотрение объектов как системы. Системный подход ориентирует исследователей на раскрытие целостности объекта, на выявление многообразных связей и сведение их в единую теоретическую картину.

Системный подход, по всей вероятности, является «единственным путем соединить в одно целое куски нашего разобщенного мира и достичь упорядоченности вместо хаоса».

Системный подход развивает и формирует у специалиста целостное диалектико-материалистическое мировоззрение и, в этой связи, полностью соответствует современным задачам нашего общества и экономики страны.

Задачи, которые решает системный подход:

- играет роль международного языка;

- позволяет разработать методы исследования и конструирования сложноорганизованных объектов (например, информационная система и прочее);
- развивает методы познания, методы исследования и конструирования (системы организации проектирования, системы управления разработками и т.п.);
- позволяет объединить знания различных, традиционно разделенных дисциплин;
- позволяет глубоко, а главное в совокупности с создаваемой информационной системой, исследовать предметную область.

Системный подход нельзя воспринимать как одноразовую процедуру, как выполнение какой-то последовательности определенных действий, дающую предсказуемый результат. Системный подход – это обычно многоцикловый процесс познания, поиска причин и принятия решений для достижения определенной цели, для которой создается (выделяется) нами некоторая искусственная система.

Очевидно, что системный подход – процесс творческий и, как правило, на первом цикле он не заканчивается. После первого цикла мы убеждаемся, что данная система функционирует недостаточно эффективно. Что-то мешает. В поисках этого «чего-то» мы выходим на новый цикл спирального витка поиска, вновь анализируем прототипы (аналоги), рассматриваем системно функционирование каждого элемента (подсистемы), действенность связей, правомочность ограничений и т.д. Т.е. пытаемся устранить это «что-то» за счет рычагов внутри системы.

Если не удастся достигнуть желаемого эффекта, то часто целесообразно вернуться к выбору системы. Возможно, надо ее

расширить, ввести в нее другие элементы, предусмотреть новые связи и т.д. В новой, расширенной системе увеличивается возможность получения более широкого спектра решений (выходов), среди которых может оказаться желаемое.

При исследовании любого объекта или явления необходим системный подход, который возможно представить в виде последовательности следующих этапов:

- выделение объекта исследования из общей массы явлений, объектов. Определение контура, пределов системы, его основных подсистем, элементов, связей с окружающей средой.
- установление цели исследования: определение функции системы, ее структуры, механизмов управления и функционирования;
- определение основных критериев, характеризующих целенаправленное действие системы, основные ограничения и условия существования (функционирования);
- определение альтернативных вариантов при выборе структур или элементов для достижения заданной цели. По возможности необходимо учесть факторы, влияющие на систему и варианты решения проблемы;
- составление модели функционирования системы, с учетом всех существенных факторов. Значимость факторов определяется по их влиянию на определяющие критерии цели;
- оптимизация модели функционирования или работы системы. Выбор решений по критерию эффективности при достижении цели;
- проектирование оптимальных структур и функциональных действий системы. Определение оптимальной схемы их регулирования и управления;

- контроль за работой системы, определение ее надежности и работоспособности.
- установление надежной обратной связи по результатам функционирования.

Системный подход неразрывно связан с материалистической диалектикой, является конкретизацией ее основных принципов на современном этапе развития. Современное общество не сразу признало системный подход как новое методологическое направление.

В 30-е годы прошлого столетия философия явилась источником возникновения обобщающего направления, названного теорией систем. Основоположником этого направления считается Л. фон Берталанфи, итальянский биолог по основной профессии, сделавший, несмотря на это, свой первый доклад на философском семинаре, пользуясь в качестве исходных понятий терминологией философии.

Необходимо отметить важный вклад в становление системных представлений нашего соотечественника А.А. Богданова. Однако в силу исторических причин предложенная им всеобщая организационная наука «тектология» не нашла распространения и практического применения.

## Вопрос №2

### **Отношение терминов «системный подход» и «системный анализ».**

Выражение «системный анализ», как оно применяется в научной литературе, имеет двоякий смысл. В одном из них оно употребляется в смысле синонима выражениям «системные исследования» и «системный подход», если не учитывать того факта, что системные исследования могут включать в себя не только анализ, но и синтез систем. Другой — в смысле конкретного метода решения экономических проблем, развитого в 40-60-х годах группой американских исследователей (Хитч, Оптнер, Янг). Говоря об этом направлении системного анализа, С.Н. Никаноров характеризует его как «методологию решения крупных проблем, основанную на концепции систем». Как видим, «системный анализ» также охватывается понятием «системный подход».

Системный подход может быть рассмотрен как методология проектирования, общая концепция, научный метод, метод анализа организаций, системное управление и как прикладная теория систем.

Системный подход как методология проектирования

Управляющим разным рангом и разных сфер деятельности хорошо известно, как трудно выбрать такое направление деятельности, следуя которому можно было бы разрешить все возникающие проблемы. Эти люди испытывают большие трудности оттого, что вынуждены изучать всесторонне интересующую их проблему и из множества точек зрения выбрать только одну.

Системный подход является общенаучной методологией, которая ориентирует в исследовании возникающих при этом вариантов.

#### Системный подход как общая концепция

Нахождение подобных структур, свойств и явлений у систем самых различных областей позволяет сформировать уровень общности законов, общности подхода. Нахождение взаимосвязей между методами решения позволяет расширить сферу их приложения и облегчить понимание новых явлений.

#### Системный подход как научный метод

Это новый метод мышления, который имеет дело с такими процессами как жизнь, смерть, рождение, развитие, адаптация, познание, причинность и взаимодействие. Он обеспечивает нас новыми способами решения проблем в ситуациях с так называемыми неустойчивыми понятиями, такими, как ценности, суждения, убеждения и чувства.

#### Системный подход как метод анализа организаций

Все можно рассматривать как системы, т.е. элементы в определенном типе связи. Любое явление можно рассматривать с точки зрения его организации, а любую организацию можно рассматривать в свою очередь как систему. Организации могут быть различными — от организации общества (сумма человеческих активностей, развертывающихся в природной сфере): фирм, предприятий, до организации, как таковой, т.е. организации предметов, явлений, данных, информации.

Принять организационную точку зрения — значит изучать любую систему с точки зрения как отношений всех ее частей, так и отношений ее как целого со средой, т.е. со всеми внешними системами.

Законы организационных систем едины для любых объектов, самые разнородные явления объединяются общими структурными связями и закономерностями.

В соответствии с организационной точкой зрения мир рассматривается как находящийся в непрерывном изменении, в нем нет ничего постоянного, все суть изменения, действия и противодействия. В результате взаимодействия комплексов, различающихся по степени их организованности.

Организованный комплекс определяется в тектологии (всеобщей организационной науке) на основе принципа «целое больше суммы своих частей», при этом, чем больше целое отличается от суммы самих частей, тем более оно организовано. В неорганизованных комплексах целое меньше суммы своих частей. И, наконец, в нейтральных комплексах целое равно сумме своих частей.

Тектология — всеобщая организационная наука.

Всякая человеческая деятельность является объективно организующей или дезорганизующей.

Чаще всего термин «организовать» употребляется, когда дело идет о людях, об их труде, об их ценностях. Например, организовать предприятие — сгруппировать людей для какой-либо цели (для производства), координировать и регулировать их действия в духе целесообразного единства.

Однако, понятие «организовать предприятие» намного шире. Организатор предприятия не только объединяет работников, не только комбинирует их трудовые акты. В его деятельности организуемыми объектами оказываются и живые, и мертвые активности, взятые вместе. Чтобы соорганизовать рабочие силы и средства производства в планомерно функционирующую систему,

необходима организация людей и орудий, машин (вещей) в целесообразное единство.

Когда изобретатель комбинирует и создает машину, то у него элементами, которые он организует для заранее поставленной цели, служат детали с их специфическими энергиями; «мертвая» машина может и в отдельности рассматриваться как некоторая организованная система, хотя такое видение машины, такой взгляд на нее, такой подход весьма непривычны для обыденного мышления.

В общем, весь процесс борьбы человека с природой, подчинения и эксплуатации стихийных ее сил есть не что иное, как процесс организации мира для человека, в интересах его жизни и развития. Таков объективный смысл человеческого труда.

Еще очевиднее организационный характер познания и вообще мышления. Его функция заключается в том, чтобы координировать факты опыта в стройные группировки (в систему) — мысли и системы мыслей, т.е. доктрины, науки и проч.; а это значит организовать опыт.

Художественное творчество целеполаганием стремится к стройности и гармонии, а это значит организованность. Оно своими особыми методами организует представления, чувства, настроения людей, тесно соприкасаясь с познанием, часто с ним непосредственно сливаясь, как беллетристика, поэзия, живопись.

В искусстве организация идей и организация вещей нераздельны. Например, взятые сами по себе архитектурное сооружение, статуя, картина являются системами «мертвых» элементов — камня, металла, полотна, красок; но жизненный смысл этих произведений находится в тех комплексах (системах) образов и эмоций, которые — вокруг них, посредством их порождаются, объединяются в человеческой психике.

Т.е. человеческая деятельность — от простейших до наиболее сложных ее форм — сводится к организующим процессам.

Но есть еще деятельность разрушительная, функция которой дезорганизующая, если ее рассматривать непосредственно и обособленно. Однако системное рассмотрение разрушительной деятельности показывает, что она есть результат столкновения разных организационных процессов.

Если общества, классы, группы разрушительно сталкиваются, дезорганизуя друг друга, то именно потому, что каждый такой коллектив стремится организовать мир и человечество для себя, по-своему. Это результат отдельности, обособленности организующих сил, результат того, что не достигнуто их единство, их общая, стройная организация.

Это борьба организационных форм.

Все содержащее жизни человечества, при системном подходе можно выразить формулой Ф. Энгельса: «производство людей, производство вещей, производство идей». В этом термине «производство» скрыто понятие организующего действия. Богданов делает эту формулу точнее: "Организация внешних сил природы, организация человеческих сил, организация опыта".

Т.е. у человечества нет иной деятельности, кроме организационной, нет иных задач, кроме организационных.

Системный подход как система управления

Овладение навыками системного менеджмента позволяет менеджеру более эффективно выполнять свои функции. Эти навыки особенно необходимы для менеджеров высшего звена или топ-менеджеров, направляющих все действия организации на достижение поставленных целей.

- Каковы задачи менеджеров высшего звена и чем они отличаются от задач функциональных менеджеров?

- Каким образом можно достичь наилучших результатов и надо ли проводить переобучение функциональных менеджеров из различных отделов в надежде воспитать в них должное отношение к общему управлению?

- Какие задачи относятся к задачам управления?
- Какие системы называются системами с управлением?
- Что входит в систему управления?
- Каковы основные группы функций системы управления?
- Что называется циклом управления?

Каковы пути совершенствования систем с управлением?

Управление — процесс целенаправленного поведения системы посредством информационных воздействий, вырабатываемых человеком (группой людей) или устройством.

Задачи управления:

- целеполагание — определение требуемого состояния или поведения системы;
- стабилизация — удержание системы в существующем состоянии в условиях возмущающих воздействий;
- выполнение программы — перевод системы в требуемое состояние в условиях, когда значения управляемых величин изменяются по детерминированным законам;
- слежение — удержание системы на заданной траектории (обеспечение требуемого поведения), когда законы изменения управляемых величин неизвестны или изменяются;
- оптимизация — удержание или перевод системы в состояние с экстремальными значениями характеристик при заданных условиях и ограничениях.

Система с управлением (СУ) включает 3 подсистемы: управляющую систему, объект управления и систему связи.

Основными группами функций СУ являются:

- функции принятия решений - функции преобразования содержания информации (создание новой информации);
- рутинные функции обработки информации;
- функции обмена информацией.

Системный подход как прикладная теория систем

Для обобщения дисциплин, связанных с исследованием и проектированием сложных систем, используется термин «системные исследования», а иногда сохраняется термин «системный подход», который широко использовался в первые годы становления теории систем в двух смыслах — в смысле методологического направления философии и в прикладном аспекте как синоним понятия «комплексный подход». Системный подход реализует принципы теории систем. Во многих источниках термин «системный подход» и прикладная теория систем используются как синонимы.

В первые годы использования теории систем в практических задачах термин «системный подход» был несколько скомпрометирован большим числом неконструктивных работ, в которых только доказывалась необходимость комплексного, многоаспектного подхода к решению сложных практических задач, но не предлагались конкретные методы и методики, помогающие реализовать такой подход.

Системный подход - направление методологии научного познания и социальной практики, в основе которого лежит рассмотрение объектов как систем, ориентирует исследование на раскрытие целостности объекта, на выявление многообразных типов связей в нем и сведение их в единую теоретическую картину.

Принципы системного подхода нашли применение в биологии, экологии, психологии, кибернетике, технике, экономике, управлении и др. Системный подход неразрывно связан с материалистической диалектикой, является конкретизацией ее основных принципов.

Современное развитие системного подхода идет в трех направлениях:

- системологии как теории ТС;
- системотехники как практики;
- системного анализа как методологии.

### **Системный анализ.**

Рождение системного анализа (СА) — заслуга знаменитой фирмы «РЭНД Корпорейшн» (1947 г.) — Министерство Обороны США.

1948 г. — группа оценки систем оружия

1950 г. — отдел анализа стоимости вооружения

1952 г. — создание сверхзвукового бомбардировщика В-58 было первой разработкой, поставленной как система.

Системный анализ требовал информационного обеспечения.

Первая книга по системному анализу, не переведенная у нас, вышла в 1956 г. Ее издала РЭНД (авторы А. Канн и С. Монк). Через год появилась «Системотехника» Г. Гуда и Р. Макола (издана у нас в 1962 г.), где изложения общая методика проектирования сложных технических систем.

Методология СА была детально разработана и представлена в вышедшей в 1960 г. книге Ч. Хитча и Р. Маккина «Военная экономика в ядерный век» (издана у нас в 1964 г.). В 1960 г. выходит один из самых лучших учебников по системотехнике (А. Холл «Опыт методологии для системотехники», переведена у нас в 1975 г.), представляющий техническую разработку проблем системотехники.

В 1965 г. появилась обстоятельная книга Э. Квейда «Анализ сложных систем для решения военных проблем» (переведена в 1969 г.). В ней представлены основы новой научной дисциплины — анализа систем (метод оптимального выбора при решении сложных проблем в условиях неопределенности —> переработанный курс лекций по анализу систем, прочитанный работниками корпорации РЭНД для руководящих специалистов Министерства обороны и промышленности США).

В 1965 г. вышла книга С. Оптнера «Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем» (перевод 1969 г.).

Второй этап исторического развития системного подхода (проблемы фирм, маркетинг, аудит и т.д.)

- I этап — исследование конечных результатов системного подхода
- II этап — начальные стадии, выбор и обоснование целей, их полезности, условий осуществления, связей с предыдущими процессами

Системные исследования

- I этап — Богданов А.А. — 20-е гг., Бутлеров, Менделеев, Федоров, Белов.
- II этап — Л. фон Берталанфи — 30-е гг.
- III этап — Рождение кибернетики — системные исследования получили новое рождение на солидной научной базе
- IV этап — оригинальные варианты общей теории систем, имеющие общий математический аппарат — 60-е гг., Месарович, Уемов, Урманцев.

Белов Николай Васильевич (1891 – 1982) – кристаллограф, геохимик, профессор МГУ,– методы расшифровки структур минералов.

Федоров Евграф Степанович (1853 – 1919) минералог и кристаллограф. Современные структуры кристаллографии и минералогии.

Бутлеров Александр Михайлович – структурная теория.

Менделеев Дмитрий Иванович (1834 – 1907) –Периодическая система элементов.

Место системного анализа среди других научных направлений

Наиболее конструктивным из прикладных направлений системных исследований считается системный анализ. Независимо от того, применяется тер-мин «системный анализ» к планированию, разработке основных направлений развития отрасли, предприятия, организации, или к исследованию системы в целом, включая и цели, и оргструктуру, работы по системному анализу отличаются тем, что в них всегда предлагается методика проведения, исследования, организации процесса принятия решения, делается попытка выделить этапы исследования или принятия решения и предложить подходы к выполнению этих этапов в конкретных условиях. Кроме того, в этих работах всегда уделяется особое внимание работе с целями системы: их возникновению, формулировке, детализации, анализу и другим вопросам целеполагания.

Д. Клиланд и В. Кинг считают, что системный анализ должен обеспечить «четкое понимание места и значение неопределенности в принятии решения» и создать для этого специальный аппарат. Главная цель системного анализа — обнаружить и устранить неопределенность.

Некоторые определяют системный анализ как «формализованный здравый смысл».

Другие не видят смысла даже в самом понятии «системный анализ». Почему не синтез? Как можно разбирать систему, не теряя

целого? Однако на эти вопросы были моментально найдены достойные ответы. Во-первых, анализ не исчерпывается расчленением неопределенностей на более мелкие, а направлен на то, чтобы понять сущность целого, выявить факторы, влияющие на принятие решений о построении и развитии системы; а во-вторых, термин «системный» подразумевает возврат к целому, к системе.

Дисциплины системных исследований:

Философско - методологические дисциплины

Теория систем

Системный подход

Системология

Системный анализ

Системотехника

Кибернетика

Исследование операций

Специальные дисциплины

Системный анализ расположен в середине этого перечня, так как он использует примерно в одинаковых пропорциях философско-методологические представления (характерные для философии, теории систем) и формализованные методы и модели (для специальных дисциплин). Системология и теория систем больше пользуются философскими понятиями и качественными представлениями и ближе к философии. Исследование операций, системотехника, кибернетика, напротив, имеют более развитый формальный аппарат, но менее развитые средства качественного анализа и постановки сложных задач с большой неопределенностью и с активными элементами.

Рассматриваемые направления имеют много общего. Необходимость в их применении возникает в тех случаях, когда

проблема (задача) не может быть решена отдельными методами математики или узкоспециальных дисциплин. Несмотря на то, что первоначально направления исходили из разных основных понятий (исследование операций - «операция», кибернетика - «управление», «обратная связь», системология - «система»), в дальнейшем они оперируют со многими одинаковыми понятиями элементы, связи, цели и средства, структура. Разные направления пользуются также одинаковыми математическими методами.

#### Системный анализ в экономике.

При разработке новых областей деятельности невозможно решить проблему, используя только математический или интуитивный метод, так как процесс их становления и отработки процедур постановки задач часто затягивается на длительный период. По мере развития технологий и «искусственного мира» ситуации принятия решений усложнились, и современная экономика характеризуется такими особенностями, что гарантировать полноту и своевременность постановки и решения многих экономических проектных и управленческих задач стало трудно без применения приемов и методов постановки сложных задач, которые и разрабатывают рассмотренные выше обобщенные направления, и в частности, системный анализ.

В методике системного анализа главное - процесс постановки задачи. В экономике не нужна готовая модель объекта или процесса принятия решения (математический метод), нужна методика, содержащая средства, позволяющие постепенно формировать модель, обосновывая ее адекватность на каждом шаге формирования с участием ЛПР. Задачи, решение которых ранее было основано на интуиции (проблема управления разработками организационных структур), теперь не решается без системного анализа.

Для принятия «взвешенных» проектных, управленческих, социально-экономических и других решений необходим широкий охват и всесторонний анализ факторов, существенно влияющих на решаемую проблему. Необходимо использовать системный подход при изучении проблемной ситуации и привлекать средства системного анализа для решения этой проблемы. Особенно полезно использовать методологию системного подхода и системного анализа при решении сложных проблем - выдвижении и выборе концепции (гипотезы, идеи) стратегии развития фирмы, разработке качественно новых рынков сбыта продукции, совершенствовании и приведении в соответствие с новыми условиями рынка внутренней среды фирмы и т.д.

Для решения этих задач специалисты по подготовке решений и выработке рекомендаций для их выбора, а также лица (группа лиц), ответственные за принятие решений, должны обладать определенным уровнем культуры системного мышления, «системным взглядом» охватывать всю проблему в «структурированном» виде.

Логический системный анализ применяется для решения "слабо структурированных" проблем, в постановке которых много неясного и неопределенного и потому их невозможно представить в полностью математизированном виде.

Этот анализ дополняется математическим анализом систем и другими методами анализа, например статистическими, логическими. Однако область его применения и методология осуществления отличаются от предмета и методологии формально-математических системных исследований.

Понятие "системный" применяется потому, что исследование строится исходя из категории "система".

Термин "анализ" используется для характеристики процедуры исследования, которая состоит в разделении сложной проблемы на отдельные, более простые подпроблемы, в использовании наиболее подходящих специальных методов для их решения, которые позволяют затем построить, синтезировать общее решение проблемы.

Системный анализ содержит в себе элементы, присущие научным, в частности количественным, методам, а также интуитивно-эвристическому подходу, целиком зависящему от искусства и опыта исследователя.

По определению Аллена Энхovensона: "Системный анализ - это не что иное, как просвещенный здравый смысл, на службу которого поставлены аналитические методы. Мы применяем системный подход к проблеме, стремясь максимально широко исследовать стоящую перед нами задачу, определить ее рациональность и своевременность, а затем снабдить того, кто отвечает за принятие решения, той информацией, которая наилучшим образом поможет ему выбрать предпочтительный путь в решении задачи".

Присутствие субъективных элементов (знания, опыт, интуиция, предпочтения) связано с объективными причинами, которые вытекают из ограниченной возможности применения точных количественных методов ко всем аспектам сложных проблем.

Эта сторона методологии системного анализа представляет существенный интерес.

Прежде всего, основным и наиболее ценным результатом системного анализа признается не количественно определенное решение проблемы, а увеличение степени ее понимания и сущности различных путей решения. Это понимание и различные альтернативы решения проблемы вырабатываются специалистами и экспертами и

представляются ответственным лицам для ее конструктивного обсуждения.

Системный анализ включает методологию проведения исследования, выделение этапов исследования и обоснованный выбор методики выполнения каждого из этапов в конкретных условиях. Особенное внимание в этих работах уделяется определению целей и модели системы и их формализованному представлению.

Задачи исследования систем можно разделить на задачи анализа и задачи синтеза.

Задачи анализа заключаются в исследовании свойств и поведения систем в зависимости от их структур, значений параметров и характеристик внешней среды. Задачи синтеза заключаются в выборе структуры и таких значений внутренних параметров систем, чтобы при заданных характеристиках внешней среды и других ограничениях получить заданные свойства систем.

Системный анализ - совокупность методологических средств, используемых для подготовки и обоснования решений по сложным проблемам политического, военного, социального, экономического, научного и технического характера. Он опирается на системный подход, а также на ряд математических дисциплин и современных методов управления. Основная процедура - построение обобщенной модели, отображающей взаимосвязи реальной ситуации: техническая основа системного анализа - вычислительные машины и информационные системы.

## Вопрос №3

### Определение понятия «система».

Решение вопроса о специфических признаках системного подхода, в отличие от любого другого типа научного исследования, предопределяется тем, что понимается под системой.

Термин «система» употребляется во многих значениях, что приводит к опасности упустить основное содержание этого понятия.

Под системой понимается:

- «Комплекс элементов, находящихся во взаимодействии» (Л. Берталанфи);
- «Нечто такое, что может изменяться с течением времени», «любая совокупность переменных..., свойственных реальной логике» (Р. Эшби);
- «Множество элементов с соотношением между ними и между их атрибутами (Холл А., Фейдшин Р.)»;
- «Совокупность элементов, организованных таким образом, что изменения, исключения или введение нового элемента закономерно отражаются на остальных элементах» (Топоров В.Н.);
- «Взаимосвязь самых различных элементов», «все состоящее из связанных друг с другом частей» (С. Бир);
- «Отображение входов и состояний объекта в выходных объекта» (М. Месарович).

Правильно было бы сказать, что строгого, единого определения для понятия «система» в настоящее время нет.

В первом приближении можно придерживаться нормативного понятия системы.

Система (греч.- «составленное из частей», «соединение» от «соединяю») - объективное единство закономерно связанных друг с другом предметов, явлений, а также знаний о природе и обществе.

Система есть совокупность или множество связанных между собой элементов.

Элементы системы могут представлять собой понятия, в этом случае мы имеем дело с понятийной системой (инструмент познания).

Элементами системы могут являться объекты (устройства) (ПК - клавиатура, мышь, монитор и т.д.).

Элементами системы могут быть субъекты: игроки в футбольной команде, студенты в группе и т.д.

Таким образом, система - это совокупность живых и неживых элементов либо тех и других вместе. Существует несколько десятков определений этого понятия. Их анализ показывает, что определение понятия система изменялось не только по форме, но и по содержанию.

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

Система - это полный, целостный набор элементов, взаимосвязанных между собой так, чтобы могла реализовываться функция системы.

Отличительным (главным свойством) системы является ее целостность. Комплекс объектов, рассматриваемых в качестве системы, представляет собой некоторое единство, целостность, обладающую общими свойствами и поведением.

Очевидно, необходимо рассматривать и связи системы с внешней средой.

Система проявляется как целостный материальный объект, представляющий собой закономерно обусловленную совокупность

функционально взаимодействующих элементов. Основные свойства системы проявляются через целостность, взаимодействие и взаимозависимость процессов преобразования вещества, энергии и информации, через ее функциональность, структуру, связи, внешнюю среду и пр.

Как и любое фундаментальное понятие, система конкретизируется в процессе рассмотрения ее основных свойств.

Можно выделить четыре основных свойства:

- система есть, прежде всего, совокупность элементов, которые при определенных условиях могут рассматриваться как системы;
- наличие существенных связей между элементами и (или) их свойствами, превосходящих по мощности (силе) связи этих элементов с элементами не входящими в данную систему. Под существенными связями понимаются такие, которые закономерно, с необходимостью определяют интегративные свойства системы. Указанное свойство отличает систему от простого конгломерата и выделяет ее из окружающей среды;
- наличие определенной организации, что проявляется в системе энтропии (системе неопределенности, хаоса), системы по сравнению с энтропией системообразующих факторов, определяющих возможность создания системы, число существенных связей, которыми может обладать элемент, число квантов пространства и времени;
- существование интегративных свойств, т.е. присущих системе в целом, но не свойственных ни одному из ее элементов в отдельности. Их наличие показывает, что свойства системы хотя и зависят от свойств элементов, но не окружают их полностью. Т.е. система не сводится к простой совокупности элементов, и, расчлняя

систему на отдельные части, нельзя познать все свойства системы в целом.

В самом общем случае понятие «система» характеризуется:

- наличием множества элементов;
- наличием связей между ними;
- целостным характером данного устройства или процесса.

В научной литературе имеется множество определений этого понятия. В философском теоретико-познавательном смысле система есть способ мышления как способ постановки и упорядочения проблем. В научно-исследовательском понимании система представляет собой общую методологию исследования процессов и явлений, отнесенных к какой-либо области человеческих знаний, в качестве объекта системного анализа. В проектном понимании система представляется как методология проектирования и создания комплексов методов и средств для достижения определенной цели. В наиболее узком, инженерном смысле система понимается как взаимосвязанный набор вещей (объектов) и способов их использования для решения определенных задач. В Советском энциклопедическом словаре система определяется как множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, образующих определенную целостность, единство.

Анализируя различные взаимно дополняющие понятия системы, следует отметить, что наиболее полное определение должно включать и элементы, и связи, и свойства, и цель, и наблюдателя (исследователя), и его язык, с помощью которого отображается объект или процесс. Однако есть системы, для которых наблюдатель, исследователь очевиден, и его не надо включать в определение системы, например для некоторых технических систем. Иногда не нужно в явном виде говорить о цели. Таким образом, при

исследовании с целью проектирования, создания или совершенствования объектов техники нужно проанализировать ситуацию с помощью полного определения системы, а затем, выделив наиболее существенные компоненты, принять "рабочее" определение системы, которым будут пользоваться все лица, участвующие в принятии решения. Важно, чтобы в понятии "система" был отражен подход и объект исследования как к системе. Дело в том, что один и тот же объект на разных этапах его рассмотрения может быть представлен в различных аспектах, соответственно существуют и различные аспекты понятия "система": теоретико-познавательный, методологический, научно-исследовательский, проектный, инженерный, конструкторский и т.д., - вплоть до материального воплощения.

Система представляет собой совокупность элементов (объектов, субъектов), находящихся между собой в определенной зависимости и составляющих некоторое единство (целостность), направленное на достижение определенной цели.

Система может являться элементом другой системы более высокого порядка (надсистема) и включать в себя системы более низкого порядка (подсистемы).

Таким образом, понятия "элемент", "подсистема", "система", "надсистема" взаимно преобразуемы: система может рассматриваться как элемент системы более высокого порядка, а элемент - как система (при углубленном анализе).

Система может быть представлена в виде блока с неизвестной структурой и известными только "входами" и "выходами" (в кибернетике и теории систем такое представление называют "черным ящиком") или в виде графических структур с не до конца

выявленными элементами и существенными связями, или в виде математического описания, например в виде формул.

В настоящее время ученые пришли к выводу, что математика неэффективна при исследовании широких проблем с множеством неопределенностей, которые характерны для исследования и разработки техники как единого целого. Вырабатывается концепция такого исследования, в котором упор делается преимущественно на разработку новых диалектических принципов научного мышления, логического анализа систем с учетом их взаимосвязей и противоречивых тенденций. При таком подходе на первый план выдвигаются не математические методы, а сама логика системного подхода, упорядочение процедуры принятия решений. И видимо, не случайно, что под системным подходом зачастую принимается некоторая совокупность системных принципов.

## **Вопрос №4**

### **Принципы системного подхода.**

Принцип - это обобщенные опытные данные, это закон явлений, найденный из наблюдений. Поэтому их истинность связана только с фактом, а не с какими-либо домыслами. Из принципов путем логико-математического рассуждения получают в применении к конкретным ТС бесчисленные следствия, охватывающие всю область явления и составляющие безукоризненную теорию. Теории такого рода необычайно прочны и незыблемы: они построены из самого добротного материала - верного опыта и тонкого рассуждения.

В формулировке принципов существует некоторый элемент условности, связанный с общим уровнем развития науки в данную историческую эпоху. Поэтому происходит постепенное уточнение принципов, но не их отмена или пересмотр.

По своей структуре методы и принципы имеют общие черты и различия.

Метод - это не фактическая деятельность, а возможные ее альтернативные способы. Принцип - это постоянно и последовательно применяемый метод.

Следовательно, по мере того как метод теряет свою альтернативность, становится все больше и больше преобладающим вариантом или даже единственным вариантом действий, тем меньше он метод и тем больше он принцип. Принцип мы не выбираем, мы ему следуем постоянно.

Известно, что принципы всеобщей связи и развития как основополагающие принципы диалектики в условиях подвергаются дальнейшему развитию и конкретизации в применении их к естествознанию и технике. Представляется, что для более

плодотворного использования философских категорий, в том числе и принципов, необходимо, чтобы между ними и частными естественными и техническими знаниями (науками) находились связующие звенья. Одним из них и является системный анализ. Именно он и позволяет реализовать непосредственный контакт, стыковку философских положений и методов (принципов) конкретных наук.

1. Знание некоторых принципов легко возмещает незнание некоторых факторов (Клод Гельвеций (1715 - 1771) - французский философ-материалист)

2. В вопросе о системах нагромодили столько ошибок лишь потому, что не вскрыли достоинств и недостатков этих принципов, на которых они покоятся (Этьен Бонно де Кондильяк (1715-1780) - французский философ-просветитель (Собрание сочинений: В 3 т. М., 1982.)).

Сначала системный анализ базировался главным образом на применении сложных математических приемов. Спустя некоторое время ученые пришли к выводу, что математика неэффективна при анализе широких проблем с множеством неопределенностей, которые характерны для исследования и разработки техники как единого целого. Об этом говорят многие ведущие специалисты-системщики. Поэтому стала вырабатываться концепция такого системного анализа, в котором делается упор на разработку новых диалектических принципов научного мышления, логического анализа сложных объектов с учетом их взаимосвязей и противоречивых тенденций. Наиболее часто к системным причисляют следующие принципы:

1. конечной цели;
2. измерения;
3. эквифинальности;

4. единства;
5. связности;
6. модульного построения;
7. иерархии;
8. функциональности;
9. развития (историчности, открытости);
10. децентрализации;
11. неопределенности.

Принцип конечной цели.

Это абсолютный приоритет конечной (глобальной) цели.

Принцип имеет следующие правила:

- для проведения СА необходимо, в первую очередь, сформулировать цели исследования;
- анализ следует вести на базе первоочередного уяснения основной цели (функции основного назначения) системы, что позволит определить ее основные существенные свойства, показатели качества и критерии оценки;
- при синтезе систем любая попытка изменения должна оцениваться относительно того, помогает или мешает она достижению конечной цели,
- цель функционирования искусственной системы задается, как правило, системой, в которой исследуемая система является составной частью.

Принцип измерения.

О качестве функционирования какой-либо системы можно судить только применительно к системе более высокого порядка. Т.е. для определения эффективности функционирования надо представить ее как часть более общей и проводить оценку внешних исследуемой системы относительно целей и задач надсистемы.

#### Принцип эквифинальности.

Система может достигнуть требуемого конечного состояния, независимо от времени и определяемого исключительно собственными характеристиками системы при различных начальных условиях и различными путями. Это форма устойчивости по отношению к начальным и граничным условиям.

#### Принцип единства.

Это совместное рассмотрение системы как целого и как совокупность частей (элементов). Принцип ориентирован на «взгляд внутрь» системы, на расчленение ее с сохранением целостных представлений о системе.

#### Принцип связности.

Рассмотрение любой части совместно с ее окружением подразумевает проведение процедуры выявления связей между элементами системы и выявление связей (учет внешней среды). В соответствии с этим принципом систему, в первую очередь, следует рассматривать как часть (элемент, подсистему) другой системы, называемой подсистемой.

#### Принцип модульного построения.

Полезно выделение модулей в системе и рассмотрение ее как совокупности модулей. Принцип указывает на возможность вместо части системы исследовать совокупность ее входных и выходных воздействий (абстрагироваться от излишней детализации) (учебный план, модули).

#### Принцип иерархии.

Введение иерархии частей и их ранжирование упрощает порядок рассмотрения систем и, как следствие, разработку системы.

#### Принцип функциональности.

Совместное рассмотрение структуры и функций с приоритетом функций над структурой. Принцип утверждает, что любая структура тесно связана с функцией системы и ее частей. При придании системе новых функций полезно пересматривать ее структуру, а не пытаться втиснуть новую функцию в старую схему. Поскольку выполняемые функции составляют процессы, то целесообразно рассматривать отдельно: процессы, функции, структуры. В свою очередь, процессы сводятся к анализу потоков различных видов:

- материальный,
- энергии,
- информации (энтропия, негэнтропия), смена состояний.

С этой точки зрения структура есть множество ограничений на потоки в пространстве и во времени.

Принцип развития.

Это учет изменяемости системы, ее способности к развитию, адаптации, расширению, замене частей, накапливанию информации. В основу систематизированной системы требуется закладывать возможность развития, наращивания, усовершенствования.

Принцип децентрализации.

Это сочетание в сложных системах централизованного управления.

Принцип неопределенности.

Это учет неопределенностей и случайностей в системе.

Перечисленные принципы обладают очень высокой степенью общности. Для непосредственного применения исследователь должен наполнить их конкретным содержанием применительно к предмету исследования.

Каждая из перечисленных идей (принципов) при своем практическом осуществлении, даже отдельно взятая, может дать определенный эффект. Но эффект возрастает, если они применяются в комплексе. Тогда эти идеи превращаются в определенную систему принятия решений и управления, позволяющую более эффективно руководить сложными программами.

При этом процесс управления расчленяется на следующие элементы:

- выявление и обоснование конечных целей и уже на этом основании - промежуточных целей и задач, которые необходимо решать на каждом данном этапе;
- выявление и сведение в единую систему частей решаемой задачи, ее взаимосвязей с другими задачами и объектами, а также последствий принимаемых решений;
- выявление и анализ альтернативных путей решения задачи в целом и ее отдельных элементов (подзадач), сравнение альтернатив с помощью соответствующих критериев, выбор оптимального решения;
- создание (или усовершенствование) структуры организации, призванной обеспечить выполнение принимаемой программы, с тем, чтобы она с наибольшим эффектом обеспечивала реализацию принимаемых решений;
- разработка и принятие конкретных программ финансирования и осуществления работ - как долгосрочных, рассчитанных на весь срок, необходимый для реализации поставленных перед собой целей (этот план может быть и ориентировочным, своего рода прогнозом), так и средне- и краткосрочных.

## **Вопрос №5**

### **Практическое выделение (образование) системы.**

Во-первых, исходя из намеченных функций данной системы, вычленив (провести границу) из внешней (более общей) среды, назвав и определив ограничения и связи ее с внешней средой (окружением). Это - трудный и важный процесс, существенно влияющий на все последующие. Обратим внимание на многовариантность, неоднозначность выбора.

Во-вторых, четко определить функцию системы и в соответствии с ней проверить систему на полноту элементов, целостность, единство (все ли «винтики» и «детали» системы имеются) с позиции ее функционирования, и, в конечном счете - достижения желаемой цели. Нет ли лишних, дублирующих, несовместимых либо недостающих элементов и связей между ними.

В-третьих, построить (выявить, сконструировать) структуру системы, понимая при этом, что функция системы может реализоваться различными структурами.

В-четвертых, установить внутренние законы, по которым система существует и развивается. При этом система должна пониматься диалектически, т.е. в развитии и движении. Должна быть установлена связь законов функционирования внутри системы с законами функционирования системного окружения (среды и надсистемы).

Здесь уместно отметить, в какое смешное и жалкое положение попадают некоторые деятели, которые стремятся (или делают вид, что стремятся) управлять системой, не зная законов ее развития и существования внутри внешней среды.

## **Вопрос №6**

### **Системный подход к «системе». Как практически проверить, является ли рассматриваемая Вами система системой?**

Как практически проверить, является ли рассматриваемая система системной? Пользуясь методом контрольных вопросов, возможно предложить следующую последовательность вопросов, ответы на которые помогут нам практически разобраться с нашей «системой»:

1. Является ли набор элементов системы полным, т.е. достаточным для функционирования системы? Нет ли лишних или недостающих элементов?
2. Каковы связи между элементами? Достаточно ли их, нет ли лишних? Обеспечивают ли связи функционирование системы?
3. Обладает ли система качествами (функциональными свойствами) не присущими ни одной из ее элементов в отдельности?
4. Обеспечена ли взаимосвязь данной системы с внешней средой? Учтены ли все существенные внешние связи? Ограничения?
5. Что даст анализ данной системы с позиции подсистемы, т.е. сверху? Не нарушаются ли присущие подсистеме законы развития?
6. Что даст анализ данной системы с позиции возможных исходов (конечных результатов), т.е. взгляд снизу?
7. Обладает ли данная система как часть материи всеми присущими ей свойствами (материальностью, объективностью, преобразованием материи из одного вида в другой и т.д.)?

8. Сохранены ли, не нарушены ли в системе законы материалистической диалектики? Может ли система развиваться, каковы движущие силы развития?

## **Вопрос №7**

### **Функционально - структурный подход.**

Между функцией и структурой существует связь, как между содержанием и формой. Это «типичная взаимосвязь диалектических противоположностей, преодоление которых является источником развития и познания систем». Потребности общества, изменение взаимодействия системы с внешней средой приводят к новым проблемам, к изменению функции системы. Изменение функции ведет за собой перестройку структуры, ее обновление. Какова обратная связь - влияние структуры на функцию? Существует ли она?

Структура системы может оказать активное воздействие на функцию, когда потенциальные возможности структуры больше чем реализуемые ею функции, и негативное (тормозящее), когда структура перестает соответствовать функции. Первое противоречие разрешается обновлением (развитием) функции системы, а второе - перестройкой (изменением) структуры, как несоответствие требованиям функционирования системы. Функция и структура диалектически взаимосвязаны, оказывают влияние друг на друга в процессе развития системы. Применением функционально-структурного подхода является подготовка военного сражения полководцем: согласно цели (функции сражения) создается структура войск, их боевое, инженерное и материальное обеспечение.

Функционально-структурный подход базируется на взаимозависимости функции и структуры в процессе развития системы при определяющей роли функции системы по отношению к ее структуре.

Изменение этого положения ведет к извращениям, крайностям в виде «функционализма» и «структурализма».

Концепция функционально-структурного подхода к анализу и синтезу антропогенных (созданных человеком) систем, их эволюции разработана в монографии Е.П. Балашова, и здесь мы используем ее основные положения.

Функционально-структурный подход, выражая сущность системного подхода, характеризуется следующими факторами:

- учетом диалектической взаимосвязи функции и структуры объектов при определяющей роли функции по отношению к структуре;
- целостным подходом к анализу (расчленению, декомпозиции) и синтезу (воссоединению целого из частей) многоуровневых систем, общностью этих двух сторон познания; о учетом вещественных, энергетических и информационных связей между элементами системы и взаимосвязью системы со средой;
- рассмотрением систем в развитии;
- единством философского и специального знания, проявляющегося в совместном использовании общих законов материального мира и закономерностей развития антропогенных систем.

На основе функционально-структурного подхода можно сделать следующие заключения:

1. Структура системы определяется совокупностью реализуемых функций данной системы.
2. Между реализуемыми функциями и структурой системы не существует взаимнооднозначного соответствия (т.е. может быть

несколько систем с одинаковыми функциями, но с различной структурой).

3. Функционально-структурная организация системы адаптируется к изменяющимся условиям ее существования. Изменение условий существования системы (внешней среды) вызывает изменение ее функций и ведет соответственно к изменениям структуры.

4. Процесс эволюции систем формирует различные типы систем, функционально-структурная организация которых в возрастающей мере соответствует потребностям и условиям существования этих систем. Это многоцикловый спиральный процесс.

## **Вопрос №8**

### **Критика функционализма и структурализма.**

Нарушение предпочтения функции по отношению к структуре ведет к извращениям и крайностям в виде «функционализма» либо «структурализма».

Функционализм - утверждает первичность функции системы по отношению к ее структуре.

Идеи функционализма в архитектуре пропагандировал Ле Корбюзье, выдвигая тезис: «форму определяет функция». Он создал здесь своеобразный «международный» стиль, т.е. повсеместное, независимое от условий среды, климата и национальных традиций возведение целесообразных сооружений. Такой подход, который, к сожалению, нередко утверждается в жизни, приводит, например, к тому, что жилые дома на берегах Енисея мало отличаются от южных вариантов, воплощенных во всесоюзных типовых проектах. Проблема «Сибирского дома» до сего времени серьезно не ставилась и не разрешалась.

Аналогичная ситуация имеет место в отношении строительной дорожной техники, предназначенной для эксплуатации в суровых природно-климатических районах Сибири и Севера.

Структурализм - утверждает первичность структуры по отношению к функции.

Если сначала определить структуру, а затем назначить функцию этой структуры, то противоречия между формой и содержанием обостряются. К сожалению, такие ошибки носят устойчивый характер, особенно в сфере организации управления. Вне зависимости от функции копируются и тиражируются структуры строительных

трестов и других подразделений строительной индустрии во всех климатических районах страны.

Структурализм - своеобразное «прокрустово ложе», в которое пытаются втиснуть предмет, и если он оказывается длиннее - его укорачивают, а если короче - вытягивают.

Как функционализм, так и структурализм, нетрудно заметить, идут вразрез с системным подходом.

Такие недостатки, как «функционализм», «структурализм» выдвигают настоятельную необходимость разработки и использования функционально-структурного подхода, базирующегося на взаимозависимости функции и структуры в процессе развития систем.

## **Вопрос №9**

### **Инструментарий функционально-структурного подхода.**

Дерево функций системы представляет собой декомпозицию ее функций и служит основой для формирования системы. Выделяются «функциональные модули». В структуре им соответствуют определенные «конструктивные модули».

При формировании дерева функций системы необходимо располагать полнотой информацией о ее функциях (основных и дополнительных). Ни на одном уровне иерархии системы нельзя забывать ни об одной функции (в том числе психофизические, эргономические, экологические и др.). Надо выделить основную функцию и функции уровней.

Дерево противоречий системы - отражает противоречия отдельных уровней функционально-структурной ее организации. На каждом уровне существуют противоречия между функциями и структурной организацией, как противоречия между содержанием и формой, между состоянием определенного качества и сложностью структуры. Многоуровневая иерархическая система противоречий и есть дерево противоречий системы.

Функциональные модули сложной системы формируют ее концепцию в соответствии с деревом функций и деревом противоречий системы.

Конструктивные модули - определяют и организуют морфологическую структуру системы на основе ее функциональных модулей («морфология» - в переводе с греческого означает «форма» и «...логия»).

Связь между функциональными и конструктивными модулями проявляется, как между функцией и структурой. Иными словами - система с определенными функциональными модулями может быть реализована неоднозначно с помощью различных конструктивных модулей.

Алгоритм функционально-структурного подхода  
Алгоритм сводится к последовательности операций:

1. Анализ систем - прототипов включает: выяснение основных и дополнительных функций; построение обобщенного дерева функций; выявление базовых структур; анализ принципов технической реализации.

2. Исследование дерева противоречий системы включает: анализ «узких мест» систем-прототипов; выявление ограничивающих факторов; выявление основного противоречия системы; построение дерева противоречий системы, анализ дерева противоречий системы.

3. Формирование концепций системы включает: влияние способов преодоления противоречий системы; поиск альтернатив технической реализации системы; разработку технического задания на систему; определение совокупности показателей качества системы.

4. Формирование дерева функций системы включает: определение множества основных и дополнительных функций; определение числа уровней декомпозиции и декомпозицию функций системы; выявление набора типовых операторов; отображение функций предыдущего уровня на множество операторов; трансформацию дерева функций.

5. Формирование функциональной структуры системы включает: анализ методов аппаратной и программной реализации; разработку алгоритмов функционирования системы; анализ связей операторами различных уровней; построение временных диаграмм

активности операторов соответствующего уровня; определение загрузки ресурсов подсистемы; эквивалентные преобразования операторов; структур; выделение типовых функциональных подсистем.

6. Формирование морфологической структуры системы на основе конструктивных модулей включает: выбор технических средств для реализации системы; формирование таблиц соответствия функциональных модулей; формирование таблиц соответствия конструктивных модулей; обоснование разработки оригинальных технических средств; преобразование элементов (подсистем) функциональной структуры; покрытие функциональных подсистем конструктивным модулями; формирование конструктивных модулей высокого уровня; формирование альтернативных вариантов системы; анализ достоинств функционирования системы.

7. Оценка показателей качества и выбор окончательного варианта системы включает: выбор стратегии сравнительного анализа вариантов системы; выбор методики оценки показателей качества системы; анализ показателей качества системы; формирование Документации на систему. К этому необходимо добавить, что если полученные результаты неудовлетворительны, то необходим возврат к повторению этого алгоритма на новом витке развития (активного поиска).

Вдумчивый конструктор, читая данный алгоритм, обратит внимание не только на важность и ответственность постановки проблемы и ее поисковой формулировки, т.е. на работу, предшествующую использованию данного алгоритма, но и на этап формирования концепции системы как на коренной момент алгоритма. Из личного опыта автора хочется подчеркнуть следующее.

В концепцию создаваемой системы желательно закладывать такие прогрессивные идеи, которые обеспечивали бы повышение ее эффективности в несколько раз, т.е. создать запас, резерв возможностей. Тогда при решении последующих вопросов низкого уровня можно «пожертвовать» несколькими процентами из этого резерва эффективности, чтобы быстрее и с меньшими затратами осуществить практическую доводку и внедрение системы.

Так вот, при формировании концепции системы на функциональном уровне надо заботиться о том, чтобы не потерять многообразные возможности структурной организации, т.е. здесь четко должны реализовываться черты функционально-структурного подхода (одна и та же функция может быть реализована различными структурами).

Алгоритм функционально-структурного подхода направлен на выявление (вскрытие) и преодоление противоречий разных уровней:

1. Основное противоречие системы связано с постановкой проблемы. Оно вскрывается на основе анализа систем-прототипов и потребности, составляет основу дерева противоречий системы и далее просматривается от этапа формирования системы до оценки конечного результата. Если основное противоречие преодолено, то и проблема решена. Но относиться к этому надо диалектически, помня о том, что преодоление одних противоречий порождает другие, т.е. при решении одних проблем возникают другие, и опытный исследователь должен их видеть, предусмотреть и оценить заранее. Одним из примеров такого рода в строительной механике может служить противоречие между используемой моделью (расчетной схемой) и реальной системой. Это противоречие - неисчерпаемый источник развития механики.

2. Противоречия структурного уровня проектирования (структурного синтеза системы) - это противоречие между функциональной полнотой и требованиями минимизации системы.

3. Требования минимальной структуры - это стремление к системе из минимального числа элементов органической номенклатуры. Здесь возникает новое противоречие, связанное с проблемами унификации и типизации элементов, на которые расчленяется система. Какие и сколько элементов целесообразно унифицировать, чтобы из них синтезировать систему. В этой задаче необходимо учесть многие требования и ограничения технологии изготовления конструктивных элементов, удобству их транспортирования и монтажа, надежности в процессе эксплуатации. Иными словами, мы всегда стремимся к тому, чтобы система была наиболее простой, но при этом наиболее полно удовлетворяла наши потребности.

4. Противоречия этапа логического проектирования связаны, с одной стороны, с непрерывным расширением функциональных возможностей системы (с эволюцией функций) и, с другой стороны, с числом элементов и количеством их типов, составляющих логическую структуру системы (с эволюцией технологии).

5. Основное противоречие этапа технического проектирования связано с функциональными возможностями разрабатываемых элементов и сложностью их структуры. Что выгоднее: синтезировать систему из большого числа простых элементов или небольшого числа сложных. Примером преодоления данного противоречия является разработка сборных сталежелезобетонных конструкций из унифицированных элементов для серии пролетов

6. Основные противоречия этапа конструктивно-технологического проектирования возникают между

функциональными возможностями блоков (конструктивных модулей) системы и конструктивно-технологическими ограничениями их реализации.

## **Вопрос №10**

### **С чего начинается система?**

Исследование потребности

Философы учат, что все начинается с потребности.

Исследование потребности состоит в том, что прежде, чем разрабатывать новую систему, необходимо установить - нужна ли она? На этом этапе ставятся и решаются следующие вопросы:

- удовлетворяет ли проект новую потребность;
- удовлетворяет ли его эффективность, стоимость, качество и др.?

Рост потребностей обуславливает производство все новых и новых технических средств. Этот рост определен жизнью, но он обусловлен и потребностью в творчестве, присущей человеку как разумному существу.

Область деятельности, задача которой - исследование условий жизни человека и общества, называется футурологией. Трудно возразить против точки зрения, что основой футурологического планирования должны быть тщательно выверенные и социально оправданные потребности как существующие, так и потенциальные.

Потребности придают смысл нашим действиям. Неудовлетворение потребности вызывает напряженное состояние, направленное на ликвидацию несоответствия.

При создании техносферы установление потребностей выступает как концептуальная задача. Установление потребности ведет к формированию технической задачи.

Формирование должно включать описание совокупности условий, необходимых и достаточных для удовлетворения потребности.

#### Уяснение задачи (проблемы)

Увидеть, что ситуация требует исследования, есть первый шаг исследователя. Задачу, не решавшуюся ранее, как правило, нельзя сформулировать точно, пока не найден ответ. Тем не менее, следует всегда искать хотя бы пробную формулировку решения. Есть глубокий смысл в тезисе, что «хорошо поставленная задача наполовину решена», и наоборот.

Уяснить, в чем заключается задача, - значит существенно продвинуться в исследованиях. И наоборот - неправильно понять задачу - значит, направить исследование по ложному пути.

Этот этап творчества непосредственно связан с фундаментальным философским понятием цели, т.е. мысленным предвосхищением результата.

Цель регулирует и направляет человеческую деятельность, которая состоит из следующих основных элементов: определения цели, прогнозирования, решения, осуществления действия, контроля результатов. Из всех этих элементов (задач) определение цели стоит на первом месте. Сформулировать цель значительно труднее, чем следовать принятой цели. Цель конкретизируется и трансформируется применительно к исполнителям и условиям. Трансформация цели включает ее доопределение из-за неполноты и запаздывания информации и знания о ситуации. Цель более высокого порядка всегда содержит исходную неопределенность, которую необходимо учитывать. Несмотря на это, цель должна быть определенной и однозначной. Ее постановка должна допускать инициативу исполнителей. «Гораздо важнее выбрать «правильную» цель, чем

«правильную» систему», - указал Холл, автор книги по системотехнике; выбрать не ту цель - значит решить не ту задачу; а выбрать не ту систему - значит просто выбрать неоптимальную систему.

Достижение цели в сложных и конфликтных ситуациях затруднено. Вернейший и кратчайший путь - изыскание новой прогрессивной идеи. То, что новые идеи могут опровергнуть прежний опыт, ничего не меняет (почти по Р. Акоффу: «Когда заказан путь вперед, то лучший выход - задний ход»).

## Вопрос №11

### Состояние системы.

В общем случае значения выходов системы зависят от следующих факторов:

- значений (состояния) входных переменных;
- начального состояния системы;
- функции системы.

Отсюда вытекает одна из наиболее важных задач системного анализа — установление причинно-следственных связей выходов системы с ее входами и состоянием.

#### 1. Состояние системы и его оценка

Понятие состояние характеризует мгновенную «фотографию» временной «срез» системы. Состояние системы в определенный момент времени — это множество ее существенных свойств в этот момент времени. При этом можно говорить о состоянии входов, внутреннем состоянии и состоянии выходов системы. Состояние входов системы представляется вектором значений входных параметров:  
 $X = (x_1, \dots, x_n)$  и фактически является отражением состояния окружающей среды.

Внутреннее состояние системы представляется вектором значений ее внутренних параметров (параметров состояния):  $Z = (z_1, \dots, z_v)$  и зависит от состояния входов  $X$  и начального состояния  $Z_0$ :

$$Z = F_1(X, Z_0).$$

Пример. Параметры состояния: температура двигателя автомобиля, психологическое состояние человека, изношенность оборудования, уровень квалификации исполнителей работы.

Внутреннее состояние практически ненаблюдаемо, но его можно оценить по состоянию выходов (значениям выходных переменных) системы  $Y = (y_1 \dots y_m)$  благодаря зависимости

$$Y = F_2(Z).$$

При этом следует говорить о выходных переменных в широком смысле: в качестве координат, отражающих состояние системы, могут выступать не только сами выходные переменные, но и характеристики их изменения - скорость, ускорение и т. д. Таким образом, внутреннее состояние системы  $S$  в момент времени  $t$  может характеризоваться множеством значений ее выходных координат и их производных в

этот момент времени:  $S_t = \{Y_t, Y_t^1, Y_t^{11}\}$

Пример. Состояние финансовой системы России можно характеризовать не только курсом рубля к доллару, но и скоростью изменения этого курса, а также ускорением (замедлением) этой скорости.

Однако необходимо заметить, что выходные переменные не полностью, неоднозначно и несвоевременно отражают состояние системы.

Примеры.

1. У больного повышенная температура  $\{y > 37^\circ\text{C}\}$ . но это характерно для различных внутренних состояний.

2. Если у предприятия низкая прибыль, то это может быть при разных состояниях организации.

## 2. Процесс

Если система способна переходить из одного состояния в другое (например,  $S_1 \rightarrow S_2 \rightarrow S_3 \dots$ ), то говорят, что она обладает поведением - в ней происходит процесс.

В случае непрерывной смены состояний, процесс  $P$  можно описать функцией времени:

$P=S(t)$ , а в дискретном случае — множеством:  $P = \{St_1 St_2 \dots\}$ ,

По отношению к системе можно рассматривать два вида процессов:

внешний процесс - последовательная смена, воздействий на систему, т. е. последовательная смена состояний окружающей среды;

внутренний процесс - последовательная смена состояний системы, которая наблюдается как процесс на выходе системы.

Дискретный процесс сам может рассматриваться как система, состоящая из совокупности состояний, связанных последовательностью их смены.

### 3. Статические и динамические системы

В зависимости от того, изменяется ли состояние системы со временем, ее можно отнести к классу статических или динамических систем.

Статическая система - это система, состояние которой практически не изменяется в течение определенного периода

Динамическая система - это система, изменяющая свое состояние во времени.

Итак, динамическими будем называть такие системы, в которых происходят какие бы то ни было изменения со временем. Имеется еще одно уточняющее определение: система, переход которой из одного состояния в другое совершается не мгновенно, а в результате некоторого процесса, называется динамической.

Примеры.

1. Панельный дом — система из множества взаимосвязанных панелей — статическая система.

2. Экономика любого предприятия — это динамическая система.

3. В дальнейшем нас будут интересовать только динамические системы.

#### 4. Функция системы

Свойства системы проявляются не только значениями выходных переменных, но и ее функцией, поэтому определение функций системы является одной из первых задач ее анализа или проектирования

Понятие «функция» имеет разные определения: от общефилософских до математических.

Функция как общефилософское понятие. Общее понятие функции включает в себя понятия «предназначение» (целевое назначение) и «способность» (служить каким-то целям).

Функция — внешнее проявление свойств объекта.

Примеры.

1. Ручка двери имеет функцию помочь ее открыть.
2. Налоговая служба имеет функцию сбора налогов.
- 3 Функция информационной системы — обеспечение информацией лица, принимающего решения.
4. Функция картины в известном мультфильме — закрывать дырку в стене.
5. Функция ветра — разгонять смог в городе.

Система может быть одно- или многофункциональной. В зависимости от степени воздействия на внешнюю среду и характера взаимодействия с другими системами, функции можно распределить по возрастающим рангам:

- пассивное существование, материал для других систем (подставка для ног);
- обслуживание системы более высокого порядка (выключатель в компьютере);

- противостояние другим системам, среде (выживание, охранная система, система защиты);
- поглощение (экспансия) других систем и среды (уничтожение вредителей растений, осушение болот);
- преобразование других систем и среды (компьютерный вирус, пенитенциарная система).

Функция в математике. Функция — это одно из основных понятий математики, выражающее зависимость одних переменных величин от других. Формально функцию можно определить так: Элемент множества  $E_y$  произвольной природы называется функцией элемента  $x$ , определенной на множестве  $E_x$  произвольной природы, если каждому элементу  $x$  из множества  $E_x$  соответствует единственный элемент  $y \in E_y$ . Элемент  $x$  называется независимой переменной, или аргументом. Функция может задаваться: аналитическим выражением, словесным определением, таблицей, графиком и т. д.

Функция как кибернетическое понятие. Философское определение отвечает на вопрос: «Что может делать система?». Этот вопрос правомерен как для статических, так и для динамических систем. Однако для динамических систем важен ответ на вопрос: «Как она это делает?». В этом случае, говоря о функции системы, будем иметь в виду следующее:

Функция системы — это способ (правило, алгоритм) преобразование входной информации в выходную.

Функцию динамической системы можно представить логико-математической моделью, связывающей входные ( $X$ ) и выходные ( $Y$ ) координаты системы, — моделью «вход-выход»:

$$Y = F(X),$$

где  $F$  - оператор (в частном случае некоторая формула), называемый алгоритмом функционирования, — вся совокупность математических и логических действий, которые нужно произвести, чтобы по данным входам  $X$  найти соответствующие выходы  $Y$ .

Удобно было бы представить оператор  $F$  в виде некоторых математических соотношений, однако это не всегда возможно.

В кибернетике широко используется понятие «черный ящик». «Черный ящик» является кибернетической моделью или моделью «вход-выход», в которой не рассматривается внутренняя структура объекта (либо о ней абсолютно ничего не известно, либо делается такое допущение). В этом случае о свойствах объекта судят только на основании анализа его входов и выходов. (Иногда употребляют термин «серый ящик», когда о внутренней структуре объекта все же что-либо известно.) Задачей системного анализа как раз и является «осветление» «ящика» — превращение черного в серый, а серого — в белый.

Условно можно считать, что функция  $F$  состоит из структуры  $St$  и параметров  $A = (a_0, a_1, a_2 \dots)$ :

$$F = \{St, A\},$$

что в какой-то мере отражает соответственно структуру системы (состав и взаимосвязь элементов) и ее внутренние параметры (свойства элементов и связей).

### 5. Функционирование системы

Функционирование рассматривается как процесс реализации системой своих функций. С кибернетической точки зрения:

Функционирование системы — это процесс переработки входной информации в выходную.

Математически функционирование можно записать так:

$$Y(t) = F(X(t)).$$

Функционирование описывает, как меняется состояние системы при изменении состояния ее входов.

#### 6. Состояние функции системы

Функция системы является ее свойством, поэтому можно говорить о состоянии системы в заданный момент времени, указывая ее функцию, которая справедлива в этот момент времени. Таким образом, состояние системы можно рассматривать в двух разрезах: состояние ее параметров и состояние ее функции, которая, в свою очередь, зависит от состояния структуры и параметров:

$$S_t = \{A_t, F_t\} = \{A_t, (S_t, A_t)\}$$

Знание состояния функции системы позволяет прогнозировать значения ее выходных переменных. Это успешно удается для стационарных систем.

Систему считают стационарной, если ее функция практически не изменяется в течение определенного периода ее существования.

Для такой системы реакция на одно и то же воздействие не зависит от момента приложения этого воздействия.

Ситуация значительно осложняется, если функция системы меняется во времени, что характерно для нестационарных систем.

Систему считают нестационарной, если ее функция изменяется со временем.

Нестационарность системы проявляется различными ее реакциями на одни и те же возмущения, приложенные в разные периоды времени. Причины нестационарности системы лежат внутри нее и заключаются в изменении функции системы: структуры ( $St$ ) и/или параметров ( $A$ ).

Иногда стационарность системы рассматривают в узком смысле, когда обращают внимание на изменение только внутренних параметров (коэффициентов функции системы).

Стационарной называют систему, все внутренние параметры которой не изменяются во времени.

Нестационарная система — это система с переменными внутренними параметрами.

Пример. Рассмотрим зависимость прибыли от продажи некоторого товара (П) от цены на него (Ц).

Пусть сегодня эта зависимость выражается математической моделью:

$$П = -50 + 30Ц - 3Ц^2$$

Если через некоторое время изменится ситуация на рынке, то изменится и наша зависимость - она станет например такой:

$$П = -62 + 24Ц - 4Ц^2$$

#### 7. Режимы динамической системы

Следует различать три характерных режима, в которых может находиться динамическая система: равновесный, переходной и периодический.

Равновесный режим (равновесное состояние, состояние равновесия) — это такое состояние системы, в котором она может находиться сколь угодно долго в отсутствие внешних возмущающих воздействий или при постоянных воздействиях. Однако надо понимать, что для экономических и организационных систем понятие «равновесие» применимо достаточно условно.

Пример. Простейший пример равновесия — шарик, лежащий на плоскости.

Под переходным режимом (процессом) будем понимать процесс движения динамической системы из некоторого начального состояния к какому-либо ее установившемуся режиму - равновесному или периодическому.

Периодическим режимом называется такой режим, когда система через равные промежутки времени приходит в одни и те же состояния.

## **Вопрос №12**

### **Статические и динамические свойства динамических систем.**

#### **1. Статические и динамические модели**

По признаку учета зависимости объекта моделирования от времени различают статические и динамические характеристики систем, отражаемые в соответствующих моделях.

Статические модели (модели статики) отражают функцию системы - конкретное состояние реальной или проектируемой системы (своего рода его «мгновенную фотографию»)

Примеры. Закон Ома, описание показателей эффективности организацией в некоторый момент времени.

Динамические модели (модели динамики) отражают функционирование системы - процесс изменения состояний реальной или проектируемой системы. Они показывают различия между состояниями, последовательность смены состояний и развитие событий с течением времени.

Примеры. Описание процесса изменения спроса на какой-либо товар под влиянием рекламы, изменение температуры электроплиты при ее включении, описание процесса изменения показателей эффективности за некоторый период времени. Отличие статических и динамических моделей заключено в учете времени: в статике его как бы не существует, а в динамике это основной элемент.

#### **2. Статические характеристики систем**

В узком смысле к статической характеристике системы можно отнести ее структуру. Однако нас чаще будут интересовать свойства

системы по преобразованию ходов и выходов (т.е. функция системы) в установившемся режиме, когда отсутствуют изменения значений как входных, так и выходных переменных. Такие свойства определяются как статические характеристики.

Статическая характеристика - это зависимость между входной и выходной величинами в установившемся режиме. Статическая характеристика может быть представлена:

- математической моделью вида  $Y = F(X)$
- графической моделью.

### 3. Динамические характеристики систем

Следующий шаг в исследовании систем состоит в том, чтобы понять и описать, как система «работает», что происходит с ней самой и с окружающей средой в ходе реализации поставленной цели. Для описаний функционирования системы используются динамические модели.

Для разных объектов и систем разработано большое количество динамических моделей, описывающих процессы с различной степенью детальности: от самого общего понятия динамики, движения вообще, до формальных математических моделей конкретных процессов типа уравнений движения в механике или волновых уравнений в теории поля. Свойства динамических систем определяет динамические характеристики.

Динамическая характеристика - это реакция системы на возмущение (зависимость изменения выходных переменных входных и от времени).

Динамическая характеристика может быть представлена:

- математической моделью в виде дифференциального уравнения (или уравнений) вида:

- $\frac{dy}{dt} = F(y(t), x(t))$  или  $T_1 \frac{d^m y}{dt^m} + T_2 \frac{d^{m-1} y}{dt^{m-1}} + \frac{dy}{dt} + y = a_1 \frac{d^n x}{dt^n} + \dots + \frac{dx}{dt} + a_n x + a_{n+1}$
- математической моделью в виде решения дифференциального уравнения;
- графической моделью, состоящей из двух графиков: графика изменения возмущения во времени и графика реакции выхода на это возмущение - графической зависимости изменения выхода во времени.

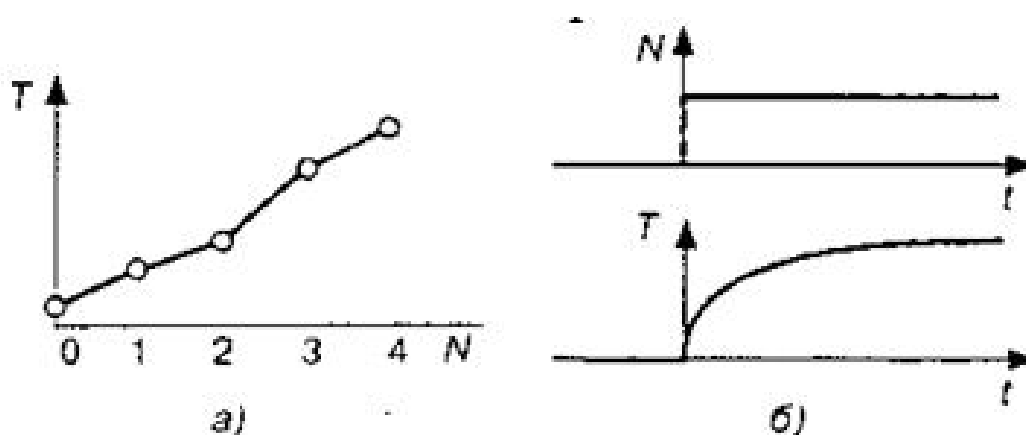


Рис. 1. Статическая (а) и динамическая (б) характеристики электроплиты

#### 4. Элементарные динамически звенья

При исследовании динамики систем часто невозможно составить математическое описание всей системы сразу. Для облегчения этой задачи систему разбивают на отдельные элементы и для каждого из них составляют дифференциальные уравнения, которые записываются на основе соответствующих физических законов. Для отображения динамических свойств элементов системы независимо от их физической природы используют понятие динамического звена.

Динамическое звено - это часть системы или элемента, описываемая

определенным дифференциальным уравнением. Динамическим звеном можно представить элемент, совокупность элементов, автоматическую систему в целом.

Любую динамическую систему можно условно разложить на динамические «атомы» - элементарные динамические звенья. Упрощенно элементарным динамическим звеном можно считать звено с одним входом и одним выходом (рис. 2).

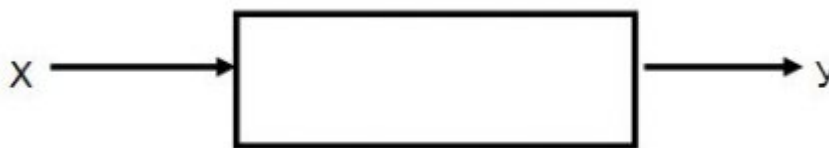


Рис. 2. Элементарное динамическое звено.

Элементарное звено должно быть звеном направленного действия: звено передает воздействие только в одном направлении с входа на выход, так что изменение состояния звена не влияет на состояние предшествующего звена, работающего на вход. Поэтому при разбиении системы на звенья направленного действия математическое описание каждого звена может быть составлено без учета связей его с другими звеньями. Соответственно математическое описание всей системы в целом может быть получено как совокупность независимых друг от друга уравнений или характеристик отдельных звеньев, образующих систему, дополненных уравнениями связи между звеньями. Дифференциальные уравнения элементов имеют порядок не выше второго, поэтому типовые звенья описываются дифференциальными уравнениями нулевого, первого и второго порядка. Таким образом, разновидностей элементарных динамических звеньев немного, и все многообразие конструктивных элементов схем с точки зрения

общности их динамических характеристик можно свести к небольшому числу эквивалентных им звеньев. Для линейных систем можно выделить ограниченную совокупность элементарных динамических звеньев, которых образуют своего рода «таблицу Менделеева» динамики.

Все звенья различают по виду уравнений, определяющих характеристики переходных процессов, возникающих в них при одинаковых исходных условиях и одинаковом виде возмущения.

Для оценивания поведения элементарного звена обычно на его вход подают тестовые сигналы определенной формы. Наиболее часто используются такие виды возмущающих сигналов.

1. Ступенчатое воздействие (рис. 3,а):

$$a(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } t < 0, \\ a & \text{при } t \geq 0 \end{cases}$$

Частым случаем ступенчатого воздействия является единичное воздействие, которое описывается так называемой единичной функцией:

$$x(t)=l(t)$$

$$x(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } t < 0 \\ 1 & \text{при } t \geq 0 \end{cases}$$

2. Импульсное воздействие (единичный импульс или дельта функция)  $x(t) = \sigma(t)$  (рис. 3,б):

$$\delta(t) = \begin{cases} \infty & \text{при } t = 0 \\ 0 & \text{при } t \neq 0 \end{cases}$$

Следует заметить, что  $\delta(t)$  и единичная ступенчатая функция связаны соотношением:

$$\delta(x) = \frac{dl(t)}{dt}$$



Рис. 3. Воздействия: а- ступенчатое; б- импульсное.

3. Периодический сигнал: либо в виде синусоиды, либо в виде прямоугольной волны.

#### 5. Виды типовых звеньев и их переходные функции

Воздействие на вход системы вызывает изменение ее выхода  $y(t)$  - переходный процесс, именуемый переходной функцией.

Переходная (временная) функция — это реакция выходной переменной звена на изменение входа.

В дальнейшем мы будем рассматривать типовые звенья и характер изменения их выходов при единичном ступенчатом возмущении. В частности, будем анализировать такие динамические характеристики каждого звена: дифференциальное уравнение, его описывающее, его частное решение и переходную функцию звена при единичном воздействии — кривую разгона  $h(t)$ . Таким образом,  $h(t) = y(t)$  при  $x(t) = l(t)$ .

В случае импульсного возмущения переходная характеристика называется весовой или импульсной переходной функцией и обозначается  $g(t)$ , т.е.  $g(t) = y(t)$  при  $x(t) = \sigma(t)$ ; при этом:

$$g(t) = h'(t) = \frac{dh}{dt}$$

Обычно при исследовании динамики значения выхода и входа рассматривают не в абсолютных значениях, а в отклонениях от некоторых установившихся значений, т. е. в начальном установившемся режиме  $x(0) = 0$  и  $y(0) = 0$ .

Безынерционное звено (усилительное, безъемкостное, масштабирующее или пропорциональное) описывается уравнением:

$$y(t) = kx(t),$$

где  $k$  — коэффициент пропорциональности или усиления (здесь и во всех последующих уравнениях).

Переходная функция звена (его реакция на единичное ступенчатое воздействие на вход) представлена на рис. 4,а.

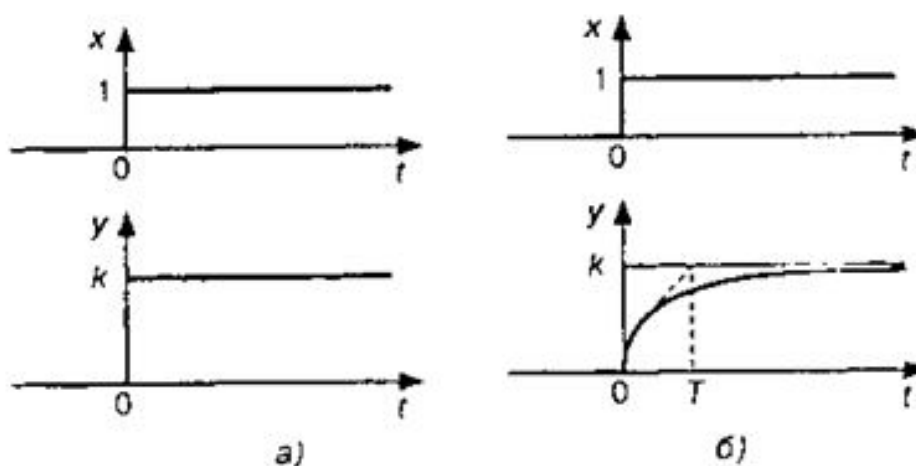


Рис. 4. Реакция безынерционного (а) и инерционного (б) звеньев.

Примеры.

1. Газовая плита: при повороте ручки регулировки расхода газа практически мгновенно устанавливается новая температура пламени.

2. Швейная машина: при повороте ее колеса практически мгновенно иглолка займет новое положение.

Инерционное звено (апериодическое, емкостное, релаксационное) описывается дифференциальным уравнением:

$$Ty'(t) + y(t) = kx(t).$$

При возмущении звена единичным ступенчатым воздействием его переходный процесс описывается уравнением

$$y(t) = kx(t)(1 - e^{-t/T}),$$

где  $T$  — постоянная времени, определяемая емкостью звена и его пропускной способностью.

Постоянная времени — это условное время изменения выходной величины от начального значения до нового установившегося значения, если бы изменение происходило с постоянной.

Скорость изменения функции характеризуется ее производной. Поскольку графически производная в заданной точке определяется как тангенса угла наклона касательной в этой точке, то  $T$  можно определить, проведя касательную к точке наибольшей крутизны кривой разгона от оси времени до асимптоты — установившегося значения выходной переменной  $y$  (линии, к которой  $y$  стремится). Постоянную времени можно определить и как время, за которое выходная переменная достигнет 63 % своей установившейся величины: при  $t = T$  получаем

$$y(t) = k(1 - e^{-1}) = k(1 - 0,37) = 0,63k$$

Пример

При увеличении затрат на рекламу какого-либо товара новый устойчивый спрос на этот товар устанавливается также с динамическим запаздыванием.

Дифференцирующее звено. Идеальное (безынерционное) дифференцирующее звено описывается дифференциальным уравнением:

$$y(t) = kx'(t)$$

Переходная функция звена представлена на рис. 5,а. Во всех точках, кроме нулевой, значение  $y$  равно нулю; в нулевой точке  $y$  за бесконечно малое время «успевает» увеличиться до бесконечности и вернуться в ноль. Такого, конечно, в реальной жизни быть не может, поэтому рассмотрим «реальный» вариант дифференцирующего звена - реальное дифференцирующее звено.

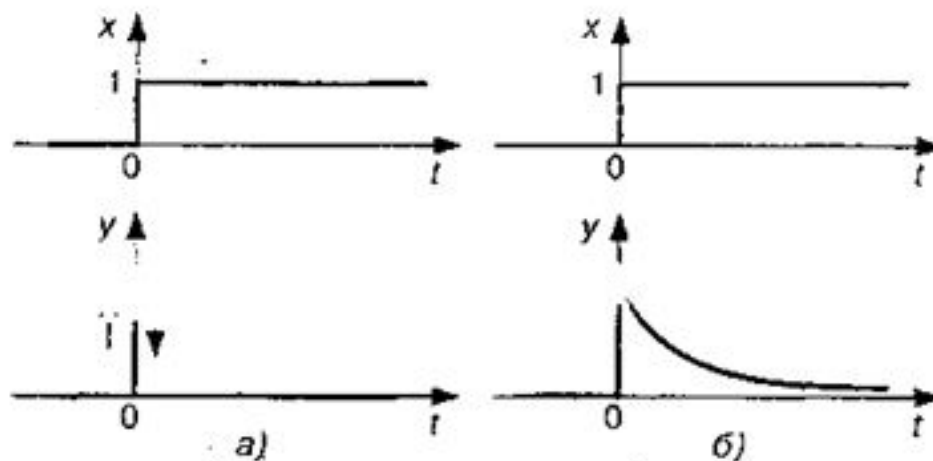


Рис. 5. Реакция идеального (безынерционного) звена.

Реальное дифференцирующее звено описывается дифференциальным уравнением, в котором, в отличие от реального звена, дополнительно появляется инерционный член  $Ty'(t)$ :

$$Ty'(t) + y(t) = kx'(t),$$

При возмущении звена единичным ступенчатым воздействием переходный процесс в звене описывается уравнением:

$$y(t) = kx(t)e^{-t/T}$$

Переходная функция звена представлена на рис. 5,б. Реальное дифференцирующее звено не является элементарным его можно заменить соединением двух звеньев: идеального дифференцирующего и инерционного:

$$\begin{cases} z = kx^t \\ Ty' + y = kz \end{cases}$$

Пример.

Рассмотрим связь спроса и цены на товар повседневного спроса, например хлеб. При повышении цены на товар в первый же момент произойдет спад спроса на некоторую величину, но в дальнейшем он будет повышаться практически до первоначального уровня. Интегрирующее звено (астатическое, нейтральное) описывается дифференциальным уравнением

$$y'(t) = kx(t).$$

Переходный процесс в звене описывается решением этого уравнения:

$$y(t) = k \int_0^t x(\tau) d\tau$$

при  $x(t) = l(t)$  получаем  $y(t) = kt$ . Переходная функция звена представлена на рис. 6.

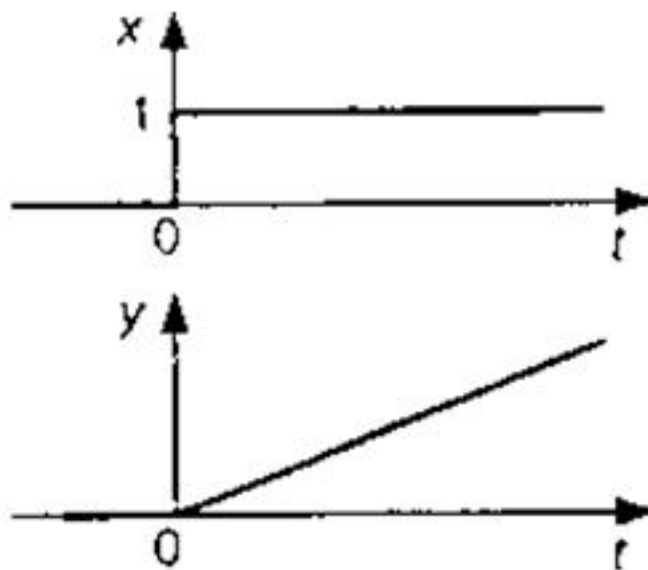


Рис. 6. Реакция интегрирующего звена.

Примеры.

1. Изменение уровня в емкости при несбалансированности прихода и расхода жидкости.

2. Изменение количества товара на складе при неравенстве его поступления и отпуска.

Колебательное звено в общем виде описывается следующим уравнением:

$$T_1^2 y''(t) + T_2 y'(t) + y(t) = kx(t).$$

Колебательное звено получается при наличии в нем двух емкостных элементов, способных запасать энергию двух видов и взаимно обмениваться этими запасами.

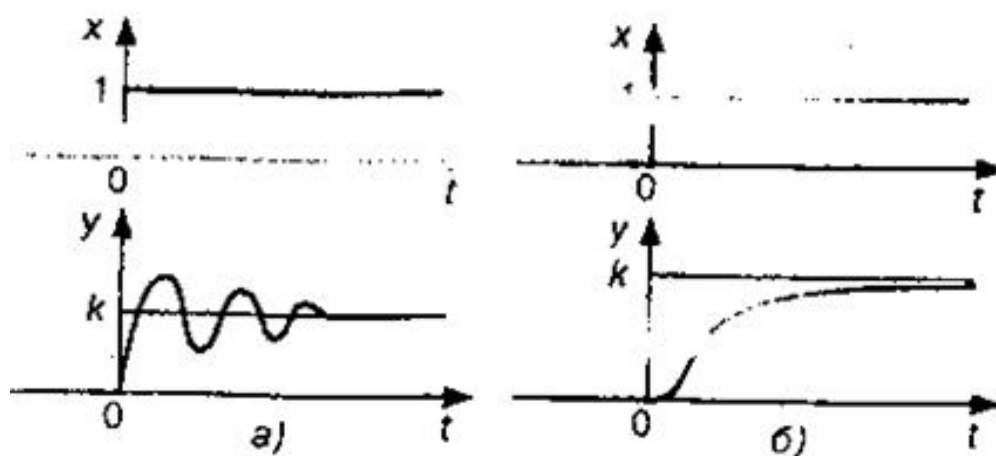


Рис. 7. Реакция колебательного звена с затуханием (а) и инерционного звена второго порядка (б).

Если в процессе колебаний запас энергии, полученный звеном в начале возмущения, уменьшается, то колебания затухают, т. е. имеем колебательное звено с затуханием (рис. 7,а). При этом  $T_2^2 - 4T_1^2 < 0$  (т. е. корни характеристического уравнения  $T_1^2 \lambda^2 + T_2 \lambda + 1 = 0$  комплексные), и колебательный процесс описывается уравнением:

$$y(t) = kx(t) \left[ 1 - \sqrt{\frac{\alpha^2 + \beta^2}{\beta}} e^{-\alpha t} \sin\left(\beta t + \arctg \frac{\beta}{\alpha}\right) \right],$$

$$\text{где } \alpha = -\frac{T_2}{2T_1^2}, \beta = \frac{\sqrt{4T_1^2 - T_2}}{T_1^2}$$

Если  $T_2^2 - 4T_1^2 \geq 0$ , то характеристическое уравнение имеет вещественные корни и вместо колебательного звена получается апериодическое звено второго порядка (рис. 7,б) с переходным

$$y(t) = kx(t) \left( 1 - \frac{T_1}{T_1 - T_2} e^{-t/T_1} + \frac{T_2}{T_1 - T_2} e^{-t/T_2} \right).$$

процессом

Апериодическое звено второго порядка представляет собой последовательное соединение двух апериодических звеньев первого порядка.

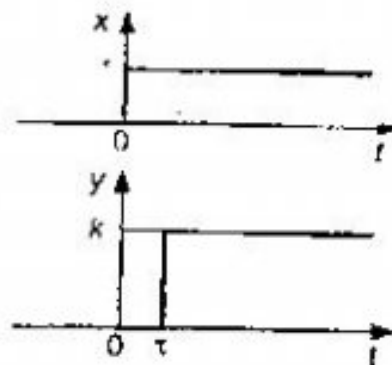
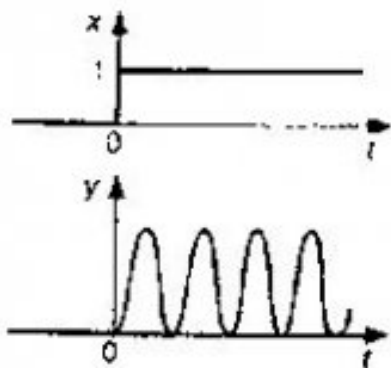


Рис. 8. Реакция консервативного звена. Рис. 9. Реакция звена чистого запаздывания.

При  $T_2 = 0$  получаем консервативное звено с незатухающими колебаниями (рис. 8).

Звено чистого (транспортного) запаздывания повторяет по форме входной сигнал, но с запаздыванием по времени (рис. 9):

$$y(t) = kx(t - \tau),$$

где  $\tau$  - время запаздывания.

## Вопрос №13

### Пространство состояний.

Поскольку свойства системы выражаются значениями ее выходов, то состояние системы можно определить как вектор значений выходных переменных  $Y = (y_1, \dots, y_m)$ . Выше говорилось (см. вопрос №11), что среди составляющих вектора  $Y$ , кроме непосредственно выходных переменных появляются произвольные от них.

Поведение системы (ее процесс) можно изображать разными способами. Например, при  $m$  выходных переменных могут быть следующие формы изображения процесса:

- в виде таблицы значений выходных переменных для дискретных моментов времени  $t_1, t_2, \dots, t_k$ ;
- в виде  $m$  графиков в координатах  $y_i - t$ ,  $i = 1, \dots, m$ ;
- в виде графика в  $m$ -мерной системе координат.

Остановимся на последнем случае. В  $m$ -мерной системе координат каждой точке соответствует определенное состояние системы.

Множество возможных состояний системы  $Y$  ( $y \in Y$ ) рассматривают как пространство состояний (или фазовое пространство) системы, а координаты этого пространства называют фазовыми координатами.

В фазовом пространстве каждый его элемент полностью определяет состояние системы.

Точка, соответствующая текущему состоянию системы, называется фазовой, или изображающей, точкой.

Фазовая траектория — это кривая, которую описывает фазовая точка при изменении состояния невозмущенной системы (при неизменных внешних воздействиях).

Совокупность фазовых траекторий, соответствующих всевозможным начальным условиям, называется фазовым портретом. Фазовый портрет фиксирует только направление скорости фазовой точки и, следовательно, отражает лишь качественную картину динамики.

Построить и наглядно представить фазовый портрет можно только на плоскости, т. е. когда фазовое пространство является двухмерным. Поэтому метод фазового пространства, который в случае двухмерного фазового пространства называется методом фазовой плоскости, эффективно используется для исследования систем второго порядка.

Фазовой плоскостью называется координатная плоскость, в которой по осям координат откладываются какие-либо две переменные (фазовые координаты), однозначно определяющие состояние системы.

Неподвижными (особыми или стационарными) называются точки, положение которых на фазовом портрете с течением времени не изменятся. Особые точки отражают положения равновесия.

Использование фазовой плоскости вполне оправдано, поскольку состояние системы как минимум определяется двумя переменными: значением выходной координаты системы и скоростью ее изменения. В дальнейшем будем считать, что на оси абсцисс фазовой плоскости откладываются значения выходной координаты  $y_1 = y$ , а на оси ординат - скорость ее изменения  $y_2 = y'$  (рис. 1).

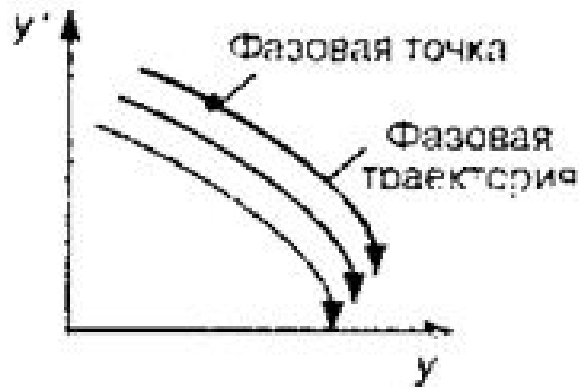


Рис. 1. Пример фазового портрета.

Тогда для фазовых траекторий невозмущенной системы справедливы следующие свойства:

- через одну точку фазовой плоскости проходит только одна траектория;
- в верхней полуплоскости изображающая точка движется слева направо, а в нижней - соответственно наоборот;
- на оси абсцисс производная  $dy_2/dy_1 = \infty$  всюду, за исключением точек равновесия, поэтому фазовые траектории пересекают ось абсцисс (в неособых точках) под прямым углом.

Линейная система имеет единственную особую точку - начало координат. Нелинейные системы характеризуются большим разнообразием фазовых портретов - они могут иметь несколько особых точек.

## **Вопрос №14**

### **Устойчивость динамических систем.**

Устойчивость характеризует одну из важнейших черт поведения систем и является фундаментальным понятием, используемым в физике, биологии, технике, экономике, а также кибернетике. Понятие устойчивости применяется для описания постоянства какой-либо черты поведения системы, понимаемого в весьма широком смысле. Это может быть постоянство состояния системы (его неизменность во времени) или постоянство некоторой последовательности состояний, «пробегаемых» системой в процессе ее движения, или постоянство числа определенного биологического вида, живущего на земном шаре, и т. п.

Под устойчивостью понимается свойство системы возвращаться к равновесному состоянию или циклическому режиму после устранения возмущения, вызвавшего нарушения последних.

Устойчивость есть категория, относящаяся, прежде всего, к собственным движениям системы, порождаемым начальными условиями (возмущениями) и внутренними свойствами системы, но не внешними воздействиями.

Состояние равновесия, в которое система способна возвращаться, называют устойчивым состоянием равновесия.

Состояние устойчивости (устойчивое состояние) - это такое равновесное состояние системы, в которое, она возвращается после снятия возмущающих воздействий.

Устойчивость в экономических системах, несмотря на кажущуюся аналогию с техническими, — гораздо более сложное понятие. Поэтому использовать это понятие для экономических

систем можно только условно, в основном для предварительного описания их поведения.

Об устойчивости и всевозможных движениях системы можно судить по фазовому портрету. Фазовый портрет в окрестности произвольной неподвижной точки принадлежит одному и только одному из трех типов точек:

- 1) асимптотически устойчивой;
- 2) нейтрально устойчивой;
- 3) неустойчивой.

Точная и строгая формулировка понятия устойчивости применительно к состоянию равновесия динамической системы была дана выдающимся русским ученым А.М. Ляпуновым.

Неподвижная точка системы  $a$  называется устойчивой (или аттрактором), если для любой окрестности  $N$  точки  $a$  существует некоторая меньшая окрестность этой точки  $N' \subset N$ , такая, что любая траектория, проходящая через  $N'$ , остается в  $N$  при возрастании  $t$ .

В более широком понятии аттрактор определяется следующим образом:

Аттрактор (от лат. *attraho* - притягиваю к себе) - область устойчивости, куда стремятся траектории в фазовом пространстве.

Аттракторы могут быть обычными точками в фазовом пространстве, а могут иметь более сложную топологию, являясь, к примеру, замкнутыми кривыми (так называемыми предельными циклами).

Неподвижная точка системы  $a$  называется асимптотически устойчивой, если она устойчива и, кроме того, существует такая окрестность  $N$  точки, где любая траектория, проходящая через  $N$ , стремится к  $a$  при  $t \rightarrow \infty$ .

Любая асимптотически устойчивая неподвижная точка устойчива. Но не каждая устойчивая неподвижная точка является асимптотически устойчивой.

Неподвижная точка системы  $a$ , которая устойчива, но не асимптотически устойчива, называется нейтрально устойчивой.

Неподвижная точка системы, которая не является устойчивой, называется неустойчивой (или репеллером).

Репеллер (от лат. *repello* — отталкиваю, отгоняю) — область в фазовом пространстве, где траектории, даже начинающиеся очень близко от особой точки, отталкиваются от нее.

Это значит, что существует такая окрестность  $N$  неподвижной точки, что для любой окрестности  $N' \subset N$  имеется по крайней мере одна траектория, которая проходит через  $N'$  и не остается в  $N$

## **Вопрос №15**

### **Классификация систем.**

Многообразие систем довольно велико, и существенную помощь при их изучении оказывает классификация.

Классификация - это разделение совокупности объектов на классы по некоторым наиболее существенным признакам.

Важно понять, что классификация - это только модель реальности, поэтому к ней надо так и относиться, не требуя от нее абсолютной полноты. Еще необходимо подчеркнуть относительность любых классификаций.

Сама классификация выступает в качестве инструмента системного анализа. С ее помощью структурируется объект (проблема) исследования, а построенная классификация является моделью этого объекта.

Полной классификации систем в настоящее время нет, более того, не выработаны окончательно ее принципы. Разные авторы предлагают разные принципы классификации, а сходным по сути - дают разные названия.

#### ***1. Классификация по происхождению.***

В зависимости от происхождения системы делятся на естественные и искусственные (создаваемые, антропогенные).

Естественные системы - это системы, объективно существующие в действительности. в живой и неживой природе и обществе.

Эти системы возникли в природе без участия человека.

Примеры: атом, молекула, клетка, организм, популяция, общество, вселенная и т.п.

Искусственные системы — это системы, созданные человеком.

Примеры:

1. Холодильник, самолет, предприятие, фирма, город, государство, партия, общественная организация и т. п.
2. Одной из первых искусственных систем можно считать систему торговли.

Кроме того, можно говорить о третьем классе систем — смешанных системах, куда относятся эргономические (машина — человек-оператор), автоматизированные, биотехнические, организационные и другие системы.

## ***2. Классификация по объективности существования.***

Все системы можно разбить на две большие группы: реальные (материальные или физические) и абстрактные (символические) системы.

Реальные системы состоят из изделий, оборудования, машин и вообще из естественных и искусственных объектов.

Абстрактные системы, по сути, являются моделями реальных объектов - это языки, системы счисления, идеи, планы, гипотезы и понятия, алгоритмы и компьютерные программы, математические модели, системы наук.

Иногда выделяют идеальные или концептуальные системы - системы, которые выражают принципиальную идею или образцовую действительность - образцовый вариант имеющейся или проектируемой системы.

Также можно выделить виртуальные системы - не существующие в действительности модельные или мыслительные представления реальных объектов, явлений, процессов (могут быть как идеальными, так и реальными системами).

## ***3. Действующие системы.***

Выделим из всего многообразия создаваемых систем действующие системы. Такие системы способны совершать операции, работы, процедуры, обеспечивать заданное течение технологических процессов, действуя по программам, задаваемым человеком. В действующих системах можно выделить следующие системы: 1) технические, 2) эргатические, 3) технологические, 4) экономические, 5) социальные, 6) организационные и 7) управления.

1. Технические системы представляют собой материальные системы, которые решают задачи по программам, составленным человеком; сам человек при этом не является элементом таких систем.

Техническая система - это совокупность взаимосвязанных физических элементов.

В качестве связей в таких системах выступают физические взаимодействия (механические, электромагнитные, гравитационные и др.).

Примеры: автомобиль, холодильник, компьютер.

2. Эргатические системы. Если в системе присутствует человек, выполняющий определенные функции субъекта, то говорят о эргатической системе.

Эргатическая система - это система, составным элементом которой является человек-оператор.

Частным случаем эргатической системы будет человеко-машинная система - система, в которой человек-оператор или группа операторов взаимодействует с техническим устройством в процессе производства материальных ценностей, управления, обработки информации и т.д..

Примеры:

1. Шофер за рулем автомобиля.

2. Рабочий, вытачивающий деталь на токарном станке.

3. Технологические системы. Существуют два класса определения понятия "технология":

- а) как некой абстрактной совокупности операций.
- б) как некой совокупности операций с соответствующими аппаратно-техническими устройствами или инструментами.

Отсюда, по аналогии со структурой, можно говорить о формальной и материальной технологической системе.

Технологическая система (формальная) - это совокупность операций (процессов) в достижении некоторых целей (решений некоторых задач).

Структура такой системы определяется набором методов, методик, рецептов, регламентов, правил и норм.

Элементами формальной технологической системы будут операции (действия) или процессы. Ранее процесс был определен как последовательная смена состояний, здесь же мы будем рассматривать другое понимание процесса: как последовательной смены операций.

Процесс - это последовательная смена операций (действий) направленных на изменение состояния объекта.

Связями в технологической системе поступают свойства обрабатываемых объектов или сигналы, передаваемые от операции к операции.

Технологическая система (материальная) - это совокупность реальных приборов, устройств, инструментов и материалов (техническое обеспечение системы), реализующих операции (процессное обеспечение системы) и предопределяющих их качество и длительность.

Пример. Формальная технологическая система производства борща - рецепт. Материальная технологическая система производства борща - совокупность ножей, кастрюль, кухонных приборов,

реализующих рецепт. В абстрактной технологии мы говорим о том, что надо отварить мясо, но не оговариваем ни тип кастрюли, ни вид плиты (газовая или электрическая). В материальной технологии техническое обеспечение приготовления борща будет определять его качество и длительность тех или иных операций.

Технологическая система более гибкая, чем техническая: минимальными преобразованиями ее можно переориентировать на производство других объектов, либо на получение других свойств последних.

Примеры. Технологические системы: производство бумаги, изготовление автомобиля, оформление командировки, получение денег в банкомате.

4. Экономическая система - что система отношений (процессов), складывающихся в экономике. Развернем что определение.

Экономическая система - это совокупность экономических отношений, возникающих в процессе производства, распределения, обмена и потребления экономических продуктов и регламентируемых совокупностью соответствующих принципов, правил и законодательных норм.

5. Социальная система. Поскольку мы рассматриваем только создаваемые системы, то социальную систему будем рассматривать в следующем разрезе:

Социальная система - это совокупность мероприятий, направленных на социальное развитие жизни людей.

К таким мероприятиям относятся: улучшение социально-экономических и производственных условий труда, усиление его творческого характера, улучшение жизни работников, улучшение жилищных условий и т. п.

6. Организационная система. Взаимодействие вышеназванных систем обеспечивает организационная система (система организационного управления).

Организационная система - это совокупность элементов, обеспечивающих координацию действий, нормальное функционирование и развитие основных функциональных элементов объекта.

Элементы такой системы представляют собой органы управления, обладающие правом принимать управленческие решения - это руководители, подразделения или даже отдельные организации (например, министерства).

Связи в организационной системе имеют информационную основу и определяются должностными инструкциями и другими нормативными документами, в которых прописаны права, обязанности ответственность органа управления.

7. Система управления. Управление рассматривается как действия или функция, обеспечивающие реализацию заданных целей.

Систему, в которой реализуется функция управления, называют системой управления.

Система управления содержит два главных элемента: управляемую подсистему (объект управления) и управляющую подсистему (осуществляющую функцию управления).

Применительно к техническим системам управляющую подсистему называют системой регулирования, а к социально-экономическим — системой организационного управления.

Разновидностью системы управления является эргатическая система - человеко-машинная система управления.

Пример.

Рассмотрим работу некоторого магазина и попытаемся выделить в его работе вышеназванные системы.

В магазине имеется система управления, состоящая из субъекта управления - руководства и объекта управления — всех остальных систем магазина.

Управление реализуется системой организационного управления — организационной системой, состоящей из директора, его заместителей, начальников отделов и секций, связанных определенными отношениями подчиненности.

В магазине функционирует экономическая система, включающая в себя такие экономические отношения, как производство (услуг и, возможно, товаров обмен (денег на товары и услуги), распределение (прибыли).

Имеется социальная система, сформулированная в коллективном и/или трудовых договорах.

Экономические отношения обмена реализуются в виде некоторых технологических систем (технология продажи товара, технология возврата денег).

Технологические системы в свою очередь, строятся на базе технических систем (кассовые аппараты, сканеры штрих-кода, компьютеры, калькуляторы) Кассир, работающий на кассовом аппарате, представляет собой эргатическую систему.

#### ***4. Централизованные и децентрализованные системы.***

Централизованной системой называется система, в которой некоторый элемент играет главную, доминирующую роль в функционировании системы. Такой главный элемент называется ведущей частью системы или ее центром. При этом небольшие изменения ведущей части вызывают значительные изменения всей системы: как желательные, так и нежелательные. К недостаткам

централизованной системы можно отнести низкую скорость адаптации (приспособления к изменяющимся условиям окружающей среды), а также сложность управления из-за огромного потока информации подлежащей переработке в центральной части систем.

Децентрализованная система - это система, в которой нет главного элемента.

Важнейшие подсистемы в такой системе имеют приблизительно одинаковую ценность и построены не вокруг центральной подсистемы, а соединены между собой последовательно или параллельно.

Примеры.

1. Армейские структуры представляют собой ярко выраженные централизованные системы.

2. Интернет является практически идеальной децентрализованной системой.

**5. Классификация по размерности. Системы подразделяются на одномерные и многомерные.**

Система, имеющая один вход и один выход, называется одномерной. Если входов или выходов больше одного - многомерной.

Нужно понимать условность одномерности системы — в реальности любой объект имеет бесчисленное число входов и выходов.

**6. Классификация систем по однородности и разнообразию структурных элементов.**

Системы бывают гомогенные, или однородные, и гетерогенные, или разнородные, а также смешанного типа.

В гомогенных системах структурные элементы системы однородны, т. е. обладают одинаковыми свойствами. В связи с этим в гомогенных системах элементы взаимозаменяемы.

Пример. Гомогенная компьютерная система в организации состоит из однотипных компьютеров с установленными на них одинаковыми операционными системами и прикладными программами. Это позволяет заменить вышедший из строя компьютер любым другим без дополнительной настройки и переучивания конечного пользователя.

Понятие «гомогенная система» широко используется при описании свойств газов, жидкостей или популяций организмов.

Гетерогенные системы состоят из разнородных элементов, не обладающих свойством взаимозаменяемости.

Примеры.

1. Гетерогенная сеть - информационная сеть, в которой работают протоколы сетевого уровня различных фирм-производителей. Гетерогенная вычислительная сеть состоит из фрагментов разной топологии и разнотипных технических средств.

2. Если университет в обычном понимании является гомогенным образованием, т. е. реализует подготовку по высшему и послевузовскому образованию (которые близки как по учебным программам, так и по методам их преподавания), то университетский комплекс представляется собой гетерогенную систему, в которой проводится подготовка по программам начального, среднего, высшего послевузовского образования.

### ***7. Линейные и нелинейные системы.***

Система называется линейной, если она описывается линейными уравнениями (алгебраическими, дифференциальными, интегральными и т. п.), в противном случае - нелинейной. Для линейных систем справедлив принцип суперпозиции: реакция системы на любую комбинацию внешних воздействий равна сумме реакций на каждое из этих воздействий, поданных на систему

порознь. Предположим, что после изменения входной переменной на величину  $\Delta x$  выходная переменная изменяется на  $\Delta y$ . Если система линейна, то после двух независимых изменений входной переменной на  $\Delta x_1$  и  $\Delta x_2$  таких, что  $\Delta x_1 + \Delta x_2 = \Delta x$ , суммарное изменение выходной переменной также будет равно  $\Delta y$ . Большинство сложных систем являются нелинейными. В связи с этим для упрощения анализа систем довольно часто применяют процедуру линеаризации, при которой нелинейную систему описывают приближенно линейными уравнениями в некоторой (рабочей) области изменения входных переменных. Однако не всякую нелинейную систему можно линеаризировать, в частности, нельзя линеаризировать дискретные системы.

#### ***8. Дискретные системы.***

Среди нелинейных систем выделяют класс дискретных систем.

Дискретная система - это система, содержащая хотя бы один элемент дискретного действия.

Дискретный элемент - это элемент, выходная величина которого изменяется дискретно, т. е. скачками, даже при плавном изменении входных величин.

Все остальные системы относятся к системам непрерывного действия. Система непрерывного действия (непрерывная система) состоит только из элементов непрерывного действия, т. е. элементов, выходы которых изменяются плавно при плавном изменении входных величин.

#### ***9. Каузальные и целенаправленные системы.***

В зависимости от способности системы ставить себе цель различают каузальные и целенаправленные (целеустремленные, активные) системы.

К каузальным системам относится широкий класс неживых систем:

Каузальные системы - это системы, которым цель внутренне не присуща.

Если такая система и имеет целевую функцию (например, автопилот), то эта функция задана извне пользователем.

Целенаправленные системы - это системы, способные к выбору своего поведения в зависимости от внутренне присущей цели.

В целенаправленных системах цель формируется внутри системы.

Пример. Система "самолет-пилоты" способна поставить себе цель и отклониться от маршрута.

Элемент целенаправленности всегда присутствует в системе, включающей в себя людей (или еще шире живые существа). Вопрос чаще всего состоит в степени влияния этой целенаправленности на функционирование объекта. Если мы имеем дело с ручным производством, то влияние так называемого человеческого фактора очень большое. Отдельный человек, группа людей или весь коллектив способны поставить цель своей деятельности, отличную от цели компании.

Активные системы, к которым, в первую очередь, относятся организационные, социальные и экономические, в зарубежной литературе называются «мягкими» системами. Они способны сознательно предоставлять недостоверную информацию и сознательно не выполнять планы, задания, если им это выгодно. Важным свойством таких систем является дальновидность, обеспечивающая способность системы прогнозировать будущие последствия принимаемых решений. Это, в частности, затрудняет применение обратной связи для управления системой.

Кроме того, иногда на практике системы условно делят на системы, стремящиеся к цели - целеориентированные, и на системы, которые ориентированы, в первую очередь, не на цели, а на определенные ценности - ценностноориентированные.

### ***10. Большие и сложные системы.***

Достаточно часто термины «большая система» и «сложная система» используются как синонимы. В то же время существует точка зрения, что большие и сложные системы — это разные классы систем. При этом некоторые авторы связывают понятие «большая» с величиной системы, количеством элементов (часто относительно однородных), а понятие «сложная» - со сложностью отношений, алгоритмов или сложностью поведения. Существуют более убедительные обоснования различия понятий «большая система» и «сложная» «система».

#### **10.1. Большие системы.**

Понятие «большая система» стало употребляться после появления книги Р.Х. Гуда и Р.З. Макола. Этот термин широко использовался в период становления системных исследований для того, чтобы подчеркнуть принципиальные особенности объектов и проблем, требующих при-менения системного подхода.

В качестве признаков большой системы предлагалось использовать различные понятия:

- понятие иерархической структуры, что, естественно, сужало класс структур, с помощью которых может отображаться система;
- понятие «человеко-машинная» система (но тогда выпадали полностью автоматические комплексы);
- наличие больших потоков информации;
- или большого числа алгоритмов ее переработки

У.Р. Эшби считал, что система является большой с точки зрения наблюдателя, возможности которого она превосходит в каком-то аспекте, важном для достижения цели. При этом физические размеры объекта не являются критерием отнесения объекта к классу больших систем. Один и тот же материальный объект в зависимости от цели наблюдателя и средств, имеющихся в его распоряжении, можно отображать или не отображать большой системой.

Ю.И. Черняк также в явном виде связывает понятие большой системы с понятием «наблюдатель»: для изучения большой системы, в отличие от сложной, необходим "наблюдатель" (имеется в виду не число людей, принимающих участие в исследовании или проектировании системы, а относительная однородность их квалификации: например, инженер или экономист). Он подчеркивает, что в случае большой системы объект может быть описан как бы на одном языке, т. е. с помощью единого метода моделирования, хотя и по частям, подсистемам. Еще Ю.И. Черняк предлагает называть большой системой «такую, которую невозможно исследовать иначе, как по подсистемам».

#### 10.2. Классификация систем по сложности.

Существует ряд подходов к разделению систем по сложности, и, к сожалению, нет единого определения этому понятию, нет и четкой границы, отделяющей простые системы от сложных. Разными авторами предлагались различные классификации сложных систем.

Например, признаком простой системы считают сравнительно небольшой объем информации, требуемый для ее успешного управления. Системы, в которых не хватает информации для эффективного управления, считают сложными.

Г.Н. Поваров оценивает сложность систем в зависимости от числа элементов, входящих в систему:

- малые системы ( $10^1$ - $10^3$  элементов);
- сложные ( $10^4$ - $10^6$ );
- ультрасложные ( $10^7$ - $10^{30}$  элементов);
- суперсистемы ( $10^{30}$ - $10^{200}$  элементов).

В частности, Ю.И. Черняк сложной называет систему, которая строится для решения многоцелевой, многоаспектной задачи и отражает объект с разных сторон в нескольких моделях. Каждая из моделей имеет свой язык, а для согласования этих моделей нужен особый метаязык. При этом подчеркивалось наличие у такой системы сложной, составной цели или даже разных целей и притом одновременно многих структур (например, технологической, административной, коммуникационной, функциональной и т. д.).

В.С. Флейшман за основу классификации принимает сложность поведения системы.

Одна из интересных классификаций по уровням сложности предложена К. Боулдингом (таблица 1). В этой классификации каждый последующий класс включает в себя предыдущий.

Условно можно выделить два вида сложности: структурную и функциональную.

Структурная сложность. Ст. Вир предлагает делить системы на простые, сложные и очень сложные.

Простые - это наименее сложные системы.

Сложные - это системы, отличающиеся разветвленной структурой и большим разнообразием, внутренних связей.

Таблица 1. Классификация систем по уровню сложности К. Боулдинга.

| Тип системы     | Уровень сложности                                                                                                 | Примеры                |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| Неживые системы | Статические структуры (остовы)                                                                                    | Кристаллы              |
|                 | Простые динамические структуры с заданным законом поведения                                                       | Часовой механизм       |
|                 | Кибернетические системы с управляемыми циклами обратной связи                                                     | Термостат              |
| Живые системы   | Открытые системы с самосохраняемой структурой (первая ступень, на которой возможно разделение на живое и неживое) | Клетки                 |
|                 | Живые организмы с низкой способностью воспринимать информацию                                                     | Растения               |
|                 | Живые организмы с более развитой способностью воспринимать информацию, но не обладающие самосознанием             | Животные               |
|                 | Системы, характеризующиеся самосознанием, мышлением и нетривиальным поведением                                    | Люди                   |
|                 | Социальные системы                                                                                                | Социальные организации |
|                 | Трансцендентные системы или системы, лежащие в настоящий момент вне нашего познания                               | -                      |

Очень сложная система - это сложная система, которую подробно описать нельзя.

Несомненно, что эти деления довольно условны и между ними трудно провести границу. (Здесь сразу вспоминается вопрос: с какого количества камней начинается куча?)

Позднее Ст. Вир предложил относить к простым системам те, которые имеют до  $10^3$  состояний, к сложным - от  $10^3$  до  $10^6$  состояний и к очень сложным - системы, имеющие свыше миллиона состояний.

Одним из способов описания сложности является оценка числа элементов, входящих в систему (переменных, состояний, компонентов), и разнообразия взаимозависимостей между ними. Например, количественную оценку сложности системы можно произвести, сопоставляя число элементов системы ( $n$ ) и число связей ( $m$ ) по следующей формуле:

$$C_s = \frac{m}{n(n-1)},$$

где  $n(n-1)$  - максимально возможное число связей.

Можно применить энтропийный подход к оценке сложности системы. Считается, что структурная сложность системы должна быть пропорциональна объему информации, необходимой для ее описания (снятия неопределенности). В этом случае общее количество информации о системе  $S$ , в которой априорная вероятность появления

$$I_s = -\sum_i p(s_i) \ln p(s_i).$$

$i$ -го свойства равна  $p(s_i)$ , определяется как

Функциональная сложность. Говоря о сложности систем, Ст. Вир отразил только одну сторону сложности - сложность строения - структурную сложность. Однако следует сказать и о другой сложности систем - функциональной (или вычислительной).

Для количественной оценки функциональной сложности можно использовать алгоритмический подход, например количество арифметико-логических операций, требуемых для реализации функции системы преобразования входных значений в выходные, или объем ресурсов (время счета или используемая память), используемых в системе при решении некоторого класса задач.

Считается, что не существует систем обработки данных, которые могли бы обработать более чем  $1.6 \cdot 10^{17}$  бит информации в секунду на грамм своей массы. Тогда гипотетическая компьютерная система, имеющая массу, равную массе Земли, за период, равный примерно возрасту Земли, может обработать порядка  $10^{98}$  бит информации (предел Бреммермана). При этих расчетах в качестве информационной ячейки использовался каждый квантовый уровень в атомах, образующих вещество Земли. Задачи, требующие обработки более чем  $10^{93}$  бит называются трансвычислительными. В практическом плане это означает, что, например, полный анализ системы из 100 переменных, каждая из которых может принимать 10 разных значений, является трансвычислительной задачей.

Пример. Если система имеет два входа, которые могут находиться в двух возможных состояниях, то возможных вариантов состояния - четыре. При 10 входах вариантов уже 1024, а при 20-ти (что соответствует маленькой реальной сделке) — вариантов уже  $2^{20}$ . Когда имеется реальный оперативный план небольшой корпорации, в котором хотя бы тысяча независимых событий (входов), то вариантов получается  $2^{1000}$ ! Значительно больше предела Бреммермана.

Кроме того, выделяют такой тип сложности, как динамическая сложность. Она возникает тогда, когда меняются связи между элементами. Например, в коллективе сотрудников фирмы может время от времени меняться настроение, поэтому существует множество вариантов связей, которые могут устанавливаться между ними. Попытку дать исчерпывающее описание таким системам можно сравнить с поиском выхода из лабиринта, который полностью изменяет свою конфигурацию, как только вы меняете направление движения. Примером могут служить шахматы.

Малые и большие, сложные и простые. Авторы книги предлагают рассматривать четыре варианта сложности систем

- 1) малые простые;
- 2) малые сложные;
- 3) большие простые;
- 4) большие сложные.

При этом выделение системы того или иного класса в одном и том же объекте зависит от точки зрения на объект, т. е. от наблюдателя.

Примеры:

1. Давно известно что обыватели всегда готовы давать советы в области воспитания, лечения, управления страной - для них это всегда

малые простые системы. Тогда как для воспитателей, врачей и государственных деятелей - это большие сложные системы.

2. Исправные бытовые приборы для пользователя малые простые системы, но неисправные - малые сложные. А для мастера те же неисправные приборы - малые простые системы.

3. Шифрозамок для хозяина сейфа малая простая система, а для похитителя - большая простая.

Таким образом, один и тот же объект может быть представлен системами разной сложности. И это зависит не только от наблюдателя, но и от цели исследования. В связи с этим, В. А. Карташев пишет: «Первичное рассмотрение даже самых сложных образований на уровне установления их основных, главных отношений приводит к понятию простой системы»

Пример. При стратифицированном описании предприятия на самой верхней страте оно может быть описано в виде малой простой системы в виде «черного ящика» с основными ресурсами на входе и продукцией на выходе.

### ***11. Детерминированность.***

Рассмотрим еще одну классификацию систем, предложенную Ст. Биром.

Если входы объекта однозначно определяют его выходы, то есть его поведение можно однозначно предсказать (с вероятностью 1), то объект является детерминированным в противном случае - недетерминированным (стохастическим).

Математически детерминированность можно описать как строгую функциональную связь  $Y = F(X)$ , а стохастичность возникает в результате добавления случайной величины  $\varepsilon$ :  $Y = F(X) + \varepsilon$

Детерминированность характерна для менее сложных систем;

стохастические системы сложнее детерминированных, поскольку их более сложно описывать и исследовать

Примеры:

1. Швейную машинку можно отнести к детерминированной системе: повернув на заданный угол рукоятку машинки можно с уверенностью сказать, что иголка переместится вверх-вниз на известное расстояние (случай неисправной машинки не рассматриваем)

2. Примером недетерминированной системы является собака, когда ей протягивают кость, нельзя однозначно прогнозировать поведение собаки.

Интересен вопрос о природе стохастичности. С одной стороны, стохастичность - следствие случайности.

Случайность - это цепь невыявленных закономерностей, скрытых за порогом нашего понимания.

А с другой - приближительности измерений. В первом случае мы не можем учесть все факторы (входы), действующие на объект, а также не знаем природы его нестационарности. Во втором - проблема непредсказуемости выхода связана с невозможностью точно измерить значения входов и ограниченностью точности сложных вычислений.

Примеры. Ст. Вир предлагает следующую таблицу с примерами систем:

| Вид систем    | Детерминированные                                            | Недетерминированные                                                                                |
|---------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Простые       | Оконная задвижка<br>Бильярдный шар (как абстрактная система) | Подбрасывание монеты<br>Медуза (в целом поскольку в биохимическом смысле - очень сложный организм) |
| Сложные       | ЭВМ<br>Тела во вселенной<br>Автоматическая линия             | Хранение запасов<br>Условные рефлексы<br>Прибыль предприятия                                       |
| Очень сложные | Очень сложных детерминированных систем не существует         | Экономика государства<br>Человеческий мозг<br>Предприятие, фирма                                   |

## 12. Классификация систем по степени организованности.

### 12.1 Степень организованности системы.

Организованность или упорядоченность организованности системы  $R$  оценивается по формуле

$$R = 1 - \Theta_{\text{реал}} / \Theta_{\text{макс}},$$

где  $\Theta_{\text{реал}}$  - реальное или текущее значение энтропии,

$\Theta_{\text{макс}}$  - максимально возможная энтропия или неопределенность по структуре и функциям системы.

Если система полностью детерминированная и организованная то  $\Theta_{\text{реал}} = 0$  и  $R = 1$ .

Снижение энтропии системы до нулевого значения означает полную «заорганизованность» системы и приводит к вырождению системы. Если система полностью дезорганизованная, то

$$R = 0 \text{ и } \Theta_{\text{реал}} = \Theta_{\text{макс}}.$$

Качественная классификация систем по степени организованности была предложена В. В. Налимовым, который выделил класс хорошо организованных и класс плохо организованных, или диффузных систем. Позднее к этим классам был добавлен еще класс самоорганизующихся систем. Важно подчеркнуть, что наименование класса системы не является ее оценкой. В первую очередь, это можно рассматривать как подходы к отображению

объекта или решаемой задачи, которые могут выбираться и зависимости от стадии познания объекта и возможности получения информации о нем.

## 12.2. Хорошо организованные системы.

Если исследователю удастся определить ее элементы системы и их взаимосвязи между собой и с целями системы и вид детерминированных (аналитических или графических) зависимостей, то возможно представление объекта в виде хорошо организованной системы. То есть представление объекта в виде хорошо организованной системы применяется в тех случаях, когда может быть предложено детерминированное описание и экспериментально показана правомерность его применения (доказана адекватность модели реальному объекту).

Такое представление успешно применяется при моделировании технических и технологических систем. Хотя, строго говоря, даже простейшие математические соотношения, отображающие реальные ситуации, также не являются абсолютно адекватными, поскольку, например, при суммировании яблок не учитывается, что они не бывают абсолютно одинаковыми, а вес можно измерить только с некоторой точностью. Трудности возникают при работе со сложными объектами (биологическими, экономическими, социальными и др.). Без существенного упрощения их нельзя представить в виде хорошо организованных систем. Поэтому для отображения сложного объекта в виде хорошо организованной системы приходится выделять только факторы, существенные для конкретной цели исследования. Попытки применить модели хорошо организованных систем для представления сложных объектов практически часто нереализуемы, так как, в частности, не удастся поставить эксперимент, доказывающий адекватность модели. Поэтому в большинстве случаев при

представлении сложных объектов и проблем на начальных этапах исследования их отображают классами, рассмотренными ниже.

### 12.3. Плохо организованные (или диффузные) системы.

Если не ставится задача определить все учитываемые компоненты и их связи с целями системы, то объект представляется в виде плохо организованной (или диффузной) системы. Для описания свойств таких систем можно рассматривать два подхода: выборочный и макропараметрический.

При выборочном подходе закономерности в системе выявляются на основе исследования не всего объекта или класса явлений, а путем изучения достаточно представительной (репрезентативной) выборки компонентов, характеризующих исследуемый объект или процесс. Выборка определяется с помощью некоторых правил. Полученные на основе такого исследования характеристики или закономерности распространяют на поведение системы в целом.

Пример. Если нас ни интересует средняя цена на хлеб и каком-либо городе, то можно было бы последовательно объехать или обзвонить все торговые точки города, что потребовало бы много времени и средств. А можно пойти другим путем: собрать информацию в небольшой (но репрезентативной) группе торговых точек, вычислить среднюю цену и обобщить ее на весь город.

При этом нельзя забывать, что полученные статистические закономерности справедливы для всей системы с какой-то вероятностью, которая оценивается с помощью специальных приемов, изучаемых математической статистикой.

При макропараметрическом подходе свойства системы оценивают с помощью некоторых интегральных характеристик (макропараметров).

### Примеры:

1. При использовании газа для прикладных целей его свойства не определяют путем точного описания поведения каждой молекулы, а характеризуют макропараметрами — давлением, температурой и т. д.. Основываясь на этих параметрах, разрабатывают приборы и устройства, использующие свойства газа, не исследуя при этом поведение каждой молекулы.

2. ООН при оценке уровня качества системы здравоохранения государства применяет в качестве одной из интегральных характеристик количество детей, умерших до пяти лет, на тысячу новорожденных.

Отображение объектов в виде диффузных систем находит широкое применение при определении пропускной способности систем разного рода, при определении численности штатов в обслуживающих, например ремонтных, цехах предприятия и в обслуживающих учреждениях, при исследовании документальных потоков информации и т.д.

### 12.4. Самоорганизующиеся системы.

Класс самоорганизующихся, или развивающихся, систем характеризуется рядом признаков, особенностей, которые, как правило, обусловлены наличием в системе активных элементов, делающих систему целенаправленной. Отсюда вытекают особенности экономических систем, как самоорганизующихся систем, по сравнению с функционированием технических систем:

- нестационарность (изменчивость) отдельных параметров системы и стохастичность ее поведения;
- уникальность и непредсказуемость поведения системы в конкретных условиях. Благодаря наличию активных элементов системы появляется как бы "свобода воли", но в то

же время возможности ее ограничены имеющимися ресурсами (элементами, их свойствами) и характерными для определенного типа систем структурными связями;

- способность изменять свою структуру и формировать варианты поведения, сохраняя целостность и основные свойства (в технических и технологических системах изменение структуры, как правило, приводит к нарушению функционирования системы или даже к прекращению существования как таковой);

- способность противостоять энтропийным (разрушающим систему) тенденциям. В системах с активными элементами не выполняется закономерность возрастания энтропии и даже наблюдаются негэнтропийные тенденции, т. е. собственно самоорганизация;

- способность адаптироваться, к изменяющимся условиям. Это хорошо по отношению к возмущающим воздействиям и помехам, но плохо, когда адаптивность проявляется и к управляющим воздействиям, затрудняя управление системой;

- способность и стремление к целеобразованию;

- принципиальная неравновесность.

Легко видеть, что хотя часть этих особенностей характерна и для диффузных систем (стохастичность поведения, нестабильность отдельных параметров), однако в большинстве своем они являются специфическими признаками, существенно отличающими этот класс систем от других и затрудняющими их моделирование.

Рассмотренные особенности противоречивы. Они в большинстве случаев являются и положительными и отрицательными, желательными и нежелательными для создаваемой системы. Их не

сразу можно понять и объяснить для того, чтобы выбрать и создать требуемую степень их проявления.

При этом следует иметь в виду важное отличие открытых развивающихся систем с активными элементами от закрытых. Пытаясь понять принципиальные особенности моделирования таких систем, уже первые исследователи отмечали, что, начиная с некоторого уровня сложности, систему легче изготовить и ввести в действие, преобразовать и изменить, чем отобразить формальной моделью. По мере накопления опыта исследования и преобразования таких систем это наблюдение подтверждалось, и была осознана их основная особенность - принципиальная ограниченность формализованного описания развивающихся, самоорганизующихся систем.

По этому поводу фон Нейманом была высказана следующая гипотеза: «У нас нет полной уверенности в том, что в области сложных задач реальный объект не может являться простейшим описанием самого себя, т. е. что всякая попытка описать его с помощью обычного словесного или формально-логического метода не приведет к чему-то более сложному, запутанному и трудновыполнимому...» .

Необходимость сочетания формальных методов и методов качественного анализа и положена в основу большинства моделей и методик системного анализа. При формировании таких моделей меняется привычное представление о моделях, характерное для математического моделирования и прикладной математики. Изменяется представление и о доказательстве адекватности таких моделей.

Основную конструктивную идею моделирования при отображении объекта классом самоорганизующихся систем можно

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

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

#### Резюме

1. При изучении любых объектов и процессов, в том числе и систем, большую помощь оказывает классификация - разделение совокупности объектов на классы по некоторым, наиболее существенным признакам.

2. В зависимости от происхождения системы могут быть естественными (системы, объективно существующие в живой и неживой природе и обществе) и искусственными (системы, созданные человеком).

3. По объективности существования все системы можно разбить на две большие группы: реальные (материальные или физические) и абстрактные (символические) системы.

4. Среди всего многообразия создаваемых систем особый интерес представляют действующие системы, к которым относятся технические, технологические, экономические, социальные и организационные.

5. По степени централизации выделяют централизованные системы (имеющие в своем составе элемент, играющий главную, доминирующую роль в функционировании системы) и децентрализованные (не имеющие такого элемента).

6. Различают системы одномерные (имеющие один вход и один выход) и многомерные (если входов или выходов больше одного).

7. Системы бывают гомогенные, или однородные, и гетерогенные или разнородные, а также смешанного типа.

8. Если система описывается линейными уравнениями, то она относится к классу линейных систем, в противном случае - нелинейных.

9. Система, не содержащая ни одного элемента дискретного действия (выходная величина которого изменяется скачками даже при плавном изменении входных величин), называется непрерывной, в противном случае - дискретной.

10. В зависимости от способности системы поставить себе цель различают каузальные системы (неспособные ставить себе цель) и целенаправленные (способные к выбору своего поведения в зависимости от внутренне присущей цели).

11. Различают большие, очень сложные, сложные и простые системы.

12. По предсказуемости значений выходных переменных системы при известных значениях входных различают детерминированные и стохастические системы.

13. В зависимости от степени организованности выделяют классы хорошо организованных систем (их свойства можно описать в виде детерминированных зависимостей), плохо организованных (или диффузных) и самоорганизующихся (включающие активные элементы)

14. Начиная с некоторого уровня сложности, систему легче изготовить и ввести в действие, преобразовать и изменить, чем отобразить формальной моделью, поскольку имеется принципиальная ограниченность формализованного описания развивающихся самоорганизующихся систем.

15. В соответствии с гипотезой фон Неймана простейшим описанием объекта, достигшего некоторого порога сложности, оказывается сам объект, а любая попытка его строгого формального описания приводит к чему-то более трудному и запутанному.

## Вопрос №16

### Общесистемные закономерности.

Первоначально необходимо определиться с понятием «закономерность». Если закон абсолютен и не допускает никаких исключений, то закономерность менее категорична.

Закономерностью называют часто наблюдаемое, типичное свойство (связь или зависимость), присущее объектам и процессам, которое устанавливается опытом.

Для нас наибольший интерес представляет общесистемная закономерность.

Общесистемные закономерности - это закономерности, характеризующие принципиальные особенности построения, функционирования и развития сложных систем.

Эти закономерности присущи любым системам, будь то экономическая, биологическая, общественная, техническая или другая система.

#### ***1. Закономерности взаимодействия части и целого***

##### ***1.1. Эмерджентность***

При объединении элементов в систему наблюдается явление эмерджентности.

Эмерджентность (от англ. emergence — возникновение, явление нового) — это возникновение в системе новых интегративных качеств, не свойственных ее компонентам.

Эмерджентность является одной из форм проявления диалектического закона перехода количественных изменений в качественные (о том, что объединение элементов создает новое качество, человечество знало давно, еще со времен Аристотеля). Чем

проще система, чем из меньшего числа элементов и связей она состоит, тем меньше проявляет она системное качество, и чем сложнее система, тем более непохожим является ее системный эффект по сравнению со свойствами каждого элемента.

Из данной закономерности следует важный практический вывод: невозможно предсказать свойства системы в целом, разбирая и анализируя ее по частям.

Кроме эмерджентных свойств, у системы сохраняются отдельные свойства, свойственные ее элементам.

Пример. Вес системы равен весу ее элементов.

### 1.2. Целостность

Более общей закономерностью, чем эмерджентность, является целостность.

Если изменение в одном элементе системы вызывает изменения во всех других элементах и в системе в целом, то говорят, что система ведет себя как целостность или как некоторое связанное образование.

Целостность возникает благодаря связям в системе, которые осуществляют перенос (передачу) свойств каждого элемента системы ко всем остальным элементам.

Предельным случаем целостности является абсолютная целостная система. Благодаря абсолютно жестким связям такая система может находиться только в одном состоянии, поэтому энтропия ее равна нулю. Абсолютно жесткие связи предполагают передачу свойств от элемента к элементу без потерь (с максимально возможным коэффициентом передачи:  $k = 1$ ). Тогда воздействие на любой элемент системы тождественно отразится во всех элементах и в системе в целом.

В реальных системах связи между элементами не являются абсолютно жесткими ( $k < 1$ ), из-за чего система может находиться в

нескольких состояниях. В этом случае воздействие на элемент системы отразится во всех элементах и в системе в целом, но с неким «затуханием».

Следствием целостности является наличие побочных эффектов как положительных, так и отрицательных. Когда осуществляется какое-либо изменение в одной части системы, его влияние распространяется в разные стороны, подобно кругам на воде от брошенного в нее камня; поэтому действия в пределах системы не могут быть ограничены только отдельной ее частью. Ярким примером является воздействие лекарств на организм: нет такого лекарства, которое, кроме положительного воздействия на больной орган, не имело бы побочных эффектов его применения для других частей организма (иногда положительных, но чаще отрицательных).

К важным аспектам целостности следует отнести соотношение свойств системы с суммой свойств составляющих ее элементов: свойства системы  $Q_s$  не являются простой суммой свойств составляющих ее элементов (частей)  $q_i$ :

$$Q_s \neq Q_{\Sigma}, \text{ где } Q_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n q_i$$

Объединенные в систему элементы, как правило, утрачивают часть своих свойств (вернее сказать, утрачивают способность проявлять часть своих свойств), присущих им вне системы ( $Q^-$ ), т.е. система как бы подавляет ряд свойств элементов; но, с другой стороны, элементы, попав в систему, получают возможность проявить свои потенциальные свойства, которые не могли быть проявлены вне системы, т. е. они как бы приобретают новые свойства ( $Q^+$ ):

$$Q_s = (Q_{\Sigma} \setminus Q^-) \cup Q^+$$

Примеры.

1. Из электронных деталей может быть построена система управления светофором. Полученная система обладает новыми свойствами по сравнению со свойствами отдельно взятых элементов, но и элементы утрачивают при объединении в систему часть своих свойств. Транзистор мог бы использоваться в устройствах для усиления высокочастотных электрических колебаний и качественного воспроизведения звуков в радиоприемниках, телевизорах и т.п. Однако, став элементом системы управления светофором, он «утратил» эти возможности и сохранил только свойство работать в режиме переключения.

2. Человек с хорошими вокальными данными, попав на работу в бухгалтерию, «теряет» это свойство. И напротив, руководитель, живший и работавший вне коллектива, не имел возможности проявить свои менеджерские свойства, а «приобрел» их, только попав в коллектив.

В связи с вышесказанным может показаться, будто свойства системы вообще не зависят от свойств элементов. На самом деле это не так: свойства системы зависят от свойств составляющих ее элементов:

$$Q_s = f(q_i).$$

Пример. Если в светофоре транзистор или другой элемент вышел из строя или был поставлен датчик с другой чувствительностью, то либо система управления светофором вообще перестанет существовать и выполнять свои функции либо, по крайней мере, сменятся ее характеристики. Аналогично замена элементов в организационной структуре системы управления предприятием может существенно повлиять на качество его функционирования.

### 1.3. Аддитивность

Противоположный случай - поведение объекта, состоящего из совокупности частей, совершенно не связанных между собой; здесь изменение в каждой части зависит только от самой этой части. Такое свойство называют физической аддитивностью, суммативностью, независимостью, обособленностью.

Если изменения в системе представляют собой сумму изменений в ее отдельных частях, то такое поведение называется обособленным, или физически суммативным.

Свойство физической аддитивности проявляется у системы, как бы распавшейся на независимые элементы: тогда становится справедливым равенство:

$$Q_s = \sum_{i=1}^n q_i$$

В этом крайнем случае, когда ни о какой системе говорить уже нельзя, мы получаем некоторую вырожденную систему. Если считать элементы системы неделимыми, то энтропия аддитивного образования достигает максимума.

#### 1.4. Синергизм

Синергизм (от греческого сотрудничество, содействие) проявляется в виде мультипликативного эффекта при однонаправленных действиях. Мультипликативность отличается от аддитивности тем, что отдельные эффекты не суммируются, а перемножаются.

Примеры:

1. Пусть система имеет два входа ( $x_1$  и  $x_2$ ) и один выход  $y$ , тогда аддитивный эффект описывается уравнением  $y = a_1x_1 + a_2x_2$ , а мультипликативный — уравнением  $y = ax_1x_2$ .

2. В медицине часто можно наблюдать явление, когда комбинированное действие лекарственных веществ на организм

превышает действие, оказываемое каждым компонентом в отдельности.

3. В экономике доходы от совместного использования ресурсов превышают сумму доходов от использования тех же ресурсов по отдельности.

#### 1.5. Прогрессирующая изоляция и прогрессирующая систематизация

Поскольку абсолютная целостность и абсолютная аддитивность не более чем абстракция, то реальные системы находятся где-то в промежуточной точке на оси целостность - аддитивность. Поскольку большинство реальных систем изменяется во времени, то их состояние В конкретный момент времени можно охарактеризовать тенденцией к изменению состояния в сторону целостности или аддитивности. Для оценки этих тенденций американский ученый А. Холл ввел две сопряженные закономерности, которые он назвал:

- прогрессирующая факторизация - стремление системы к состоянию со все более зависимыми элементами;
- прогрессирующая систематизация - стремление системы к уменьшению самостоятельности элементов, т. е. к большей целостности.

Если изменения в системе приводят к постепенному переходу от целостности к суммативности, то говорят, что система подвержена прогрессирующей изоляции (факторизации).

Прогрессирующая изоляция может носить как прогрессивный (развивающий) характер, так и деструктивный. В связи с этим различают два типа прогрессирующей изоляции:

1. распад системы на независимые части с потерей общесистемных свойств;

2. изменения в направлении возрастающего деления на подсистемы с увеличением их самостоятельности или в направлении возрастающей дифференциации функций, что характерно для систем включающих в себя некоторый творческий рост или процессы эволюции и развития.

Примеры:

1. Эмбриональное развитие, при котором зародыш проходит путь от целостности до такого состояния, когда он ведет себя как совокупности частей, независимо развивающихся в специальные органы.

2. При развитии таких технических систем, как телефонная сеть или автоматизированные системы управления, в соответствии с определенным замыслом происходит разделение на подсистемы, конструирование и развитие которых впоследствии осуществляются относительно независимо.

Прогрессирующая систематизация - это, в противоположность прогрессирующей изоляции, процесс, при котором изменение системы идет в сторону целостности.

Прогрессирующая систематизация может состоять в усилении ранее существовавших связей между частями системы, появлении и развитии новых связей между ранее не связанными между собой элементами или подсистемами, добавлении в систему новых элементов.

Прогрессирующая изоляция и прогрессирующая систематизация не являются взаимоисключающими явлениями - они могут проходить в системе одновременно или протекать последовательно, сменяя друг друга.

Пример. В начале колонизации Америки группы людей из разных стран колонизировали различные ее области, и эти группы

становились все более и более независимыми. В последующем стал усиливаться обмен, было образовано общее правительство, и новая страна становилась все более целостной.

#### 1.6. Изоморфизм и изофункционализм

Изоморфизм - это сходство объектов по форме или строению. Это означает, что системы, рассматриваемые отвлеченно от природы составляющих их элементов, являются изоморфными друг другу, если каждому элементу одной системы соответствует лишь один элемент второй и каждой связи в первой системе соответствует связь в другой и наоборот.

Если ввести в описание систем в качестве параметра время, т. е. рассматривать их в динамике, то понятие изоморфизма можно расширить до так называемого изофункционализма и с его помощью сопоставлять сходные процессы (физические, химические, производственные, экономические, социальные, биологические и др.)

Отсюда следует общесистемная закономерность: системы, находящиеся между собой в состоянии изоморфизма и изофункционализма, имеют сходные системные свойства.

Примеры:

1. Из периодической системы Д.И. Менделеева следует, что химические элементы со сходной структурой имеют схожие свойства.

2. Многие процессы в химии, экономика, биологии и других областях описываются экспоненциальными зависимостями от времени. В связи с этим следует ожидать сходных реакций таких систем на однотипные возмущения.

Возможность моделировать сложные системы любой природы с помощью средств вычислительной техники с соответствующим программным обеспечением позволяет считать такой программно-

технический комплекс изоморфным и изофункциональным любой системе.

## ***2. Закономерности иерархической упорядоченности систем***

Иерархическая упорядоченность мира была осознана уже в Древней Греции. Такая упорядоченность наблюдается на любом уровне развития Вселенной: химическом, физическом, биологическом, социальном.

Иерархия - это соподчиненность, любой согласованный по подчиненности порядок объектов.

Термин первоначально возник как наименование «служебной лестницы» в религии, потом он стал широко применяться для характеристики взаимоотношений в аппарате управления государством, армией и т. д. В настоящее время, говоря об иерархии, имеют в виду любой согласованный по подчиненности порядок объектов, порядок подчинения низших по должности и чину лиц высшим в социальных организациях, при управлении предприятием, регионом, государством и т. п.

Группа закономерностей иерархической упорядоченности систем тесно связана с закономерностью целостности; кроме того, большое внимание направлено на взаимодействие системы с ее окружением, со средой, надсистемой, с подчиненными системами.

К этой группе закономерностей относятся коммуникативность и иерархичность.

### **2.1. Коммуникативность**

Любая система не изолирована от других систем, но связана множеством коммуникаций с окружающей средой, которая представляет собой сложное и неоднородное образование, содержащее:

- надсистему (систему более высокого порядка, задающую требования и ограничения рассматриваемой системе);
- элементы или подсистемы (нижележащие, подведомственные системы);
- системы одного уровня с рассматриваемой.

Такое сложное единство системы со средой названо закономерностью коммуникативности.

В силу закономерности коммуникативности каждый уровень иерархической упорядоченности имеет сложные взаимоотношения с вышестоящим и нижележащим уровнями. Отсюда следует, что каждый уровень иерархии как бы обладает свойством «двуликого Януса»:

- «лик», направленный в сторону нижележащего уровня, имеет характер автономного целого — системы;
- «лик», направленный в сторону вышестоящего уровня, проявляет свойства зависимой части — элемента вышестоящей системы.

## 2.2. Иерархичность

Закономерность иерархичности заключается в том, что любую систему можно представить в виде иерархического образования. При этом на всех уровнях иерархии действует закономерность целостности. Более высокий иерархический уровень объединяет элементы нижестоящего и оказывает на них направляющее воздействие. В результате подчиненные члены иерархии приобретают новые свойства, отсутствовавшие у них в изолированном состоянии. А возникшее в результате объединения нижестоящих элементов новое целое приобретает способность осуществлять новые функции (проявляется закономерность эмерджентности), в чем и состоит цель

образования иерархий. Эти особенности иерархических систем наблюдаются как на биологическом уровне развития Вселенной, так и в социальных организациях, при управлении предприятием, объединением или государством, а также при представлении замысла проектов сложных технических комплексов и т. и.

Использование иерархических представлений оказывается полезным в случае исследования систем и проблемных ситуаций с большой неопределенностью. При этом происходит как бы расчленение «большой» неопределенности на более «мелкие», лучше поддающиеся исследованию. Даже если эти мелкие неопределенности не удастся полностью раскрыть и объяснить, то все же иерархическое упорядочение частично снимает общую неопределенность и обеспечивает, по крайней мере, более эффективное управляющее решение.

Пример. Перед специалистом ставится задача оценить спрос на компьютеры в следующем году в городе N. На первый взгляд задача кажется очень трудной - слишком много неопределенностей. Однако разобьем задачу на подзадачи: оценить потребность в компьютерах различных секторов потребителей (коммерческие организации, госструктуры, студенты, школьники, другие частные лица). В отношении каждого из секторов задача уже не кажется такой безнадежной - даже не обладая полнотой информации, можно оценить потребность в компьютерах. Далее каждый из секторов можно разбить на подсектора и т. д.

### ***3. Энтропийные закономерности***

#### **3.1. Понятие энтропии**

Важную роль в системном анализе играет понятие энтропии, тесно связанное с информацией.

Понятие «энтропия» ввел в 1865 г. немецкий физик Р. Клаузиус как понятие физическое: энтропия в термодинамике - функция состояния термодинамической системы, характеризующая направленность тепловых процессов. Согласно принятому в термодинамике определению, изменение энтропии некоторой системы равно отношению приращения (или уменьшения) количества теплоты к абсолютной, температуре, при которой это приращение (или уменьшение) происходит.

В системном анализе энтропия  $\mathcal{E}$  служит количественной мерой беспорядка (свободы, разнообразия) в системе и определяется числом допустимых состояний системы  $N_s$ :

$$\mathcal{E} = \ln N_s$$

Приведенная формула справедлива только для равновероятных состояний. Если же система может находиться в  $n$  состояниях —  $s_1, s_2, \dots, s_n$  — с вероятностями соответственно  $p(s_1), p(s_2), \dots, p(s_n)$ , то ее

энтропия рассчитывается по формуле

$$\mathcal{E} = - \sum_{i=1}^n p(s_i) \ln p(s_i).$$

Так как логарифм является безразмерной величиной, то и энтропия также безразмерная величина. С другой стороны, энтропия, как и информация, может измеряться в битах, если в формулах вместо натурального использовать двоичный логарифм.

Примеры:

1. Система с жесткой структурой (например, армейская) может находиться только в одном состоянии (в армии есть поговорка: «Из нас прав кто-нибудь один: или я, или никто»). Энтропия такой системы равна нулю ( $\mathcal{E} = \ln 1 = 0$ ).

2. Бюрократией называют систему, в которой почти не осталось разнообразия, поэтому энтропия такой системы предельно мала.

### 3.2. Открытые и закрытые системы. Второе начало термодинамики

Как говорилось ранее, между системой и окружающей средой происходит обмен веществом, энергией и информацией. Причиной обмена является неравновесное состояние системы по отношению к окружающей среде - разность их свойств. Если свойства системы и окружающей среды идентичны, то система находится в равновесии - все обменные процессы прекращаются. Однако, несмотря на неравновесность, обменные процессы могут отсутствовать при естественном или искусственном их ограничении. В связи с этим рассматриваются понятия открытой и закрытой систем.

Открытая система - это система, способная обмениваться окружающей средой массой, энергией и информацией.

Закрытая, или замкнутая, система лишена этой возможности, т. е. полностью изолирована от среды.

При этом возможны и частные случаи: например, в модели системы не учитываются гравитационные и энергетические процессы, а отражается только обмен информацией со средой; тогда говорят об информационно-проницаемых или соответственно информационно-непроницаемых системах.

Строго говоря, такая полная изоляция любой системы весьма условна в силу всеобщей взаимосвязи и взаимозависимости явлений и процессов в природе и обществе. Можно лишь условно считать, что доля взаимосвязей системы со средой пренебрежимо мала по сравнению с внутренними взаимосвязями системы.

Поэтому понятие закрытой системы следует рассматривать как своего рода модель. При отображении проблемной ситуации такой моделью условно принимается, что либо «входы» и «выходы» у

системы отсутствуют, либо их состояния неизменны в рассматриваемый период времени.

Поведение закрытой системы определяется начальными условиями, характеристиками ее элементов и связей, структурой, внутренними закономерностями функционирования системы. Предметом исследования являются внутренние изменения, определяющие поведение системы. Внешние же управляющие или возмущающие воздействия рассматриваются как помехи.

В частности, одним из принципиальных отличий закрытых систем от открытых является тот факт, что они оперирует обычно понятием цель как внешним по отношению к системе, а в открытых цели не задаются извне, а формируются внутри системы.

Для замкнутых систем справедливо второе начало (закон) термодинамики, согласно которому энтропия замкнутой (изолированной) системы монотонно возрастает (не убывает) со временем ( $\Delta E \geq 0$ ), вплоть до достижения максимального значения ( $E_{\text{макс}}$ ) в конечном равновесном состоянии, когда число допустимых состояний системы максимально.

Возрастание энтропии в термодинамических системах говорит о переходе упорядоченной формы движения частиц в неупорядоченную, иначе тепловую. Превращение энергии упорядоченного движения в энергию хаотического движения называют диссипацией энергии (термин «диссипативный» является синонимом термина «необратимый»). Температура всех частей системы в состоянии равновесия одинакова. Термодинамическому равновесию системы соответствует состояние с максимумом энтропии. Энтропия же всех веществ при абсолютном нуле равна нулю.

Любая изолированная система стремится достичь ситуации, отвечающей наибольшему беспорядку, т. е. ситуации с максимальным значением энтропии. Однако в системе возможны флуктуации.

Флуктуации - это случайные процессы, при которых система переходит из более вероятного состояния в менее вероятное.

При флуктуации энтропия системы уменьшается, т. е. закон возрастания энтропии выполняется только в среднем для достаточно большого промежутка времени.

В незамкнутых системах энтропия может как увеличиваться (например, при подводе тепла в термодинамическую систему извне), так и уменьшаться (например, при теплоотдаче в окружающую среду). Таким образом, в отличие от закрытых в открытых системах возможно снижение энтропии. Подобные системы могут сохранять свой высокий уровень организованности и даже развиваться в сторону увеличения порядка сложности. Для повышения организованности (снижения энтропии) системы применяют управление. Именно поэтому так важен хороший обмен информацией со средой для эффективного решения задач управления, т. е. в качестве противоположности энтропии выступает обратная ей по знаку величина – информация, действие которой выражается в тенденции к увеличению упорядоченности и уменьшению неопределенности. Нужно понимать, что информация не уничтожает энтропию, но способна компенсировать ее возрастание. Так, подставленная ладонь, препятствуя падению предмета, не уменьшает действие гравитационных сил (не отменяет закон всемирного тяготения), а только компенсирует его воздействие.

### 3.3. Принцип компенсации энтропии

Представление о том, какую «плату» приходится платить за уменьшение энтропии системы, дает принцип компенсации энтропии.

Принцип компенсации энтропии гласит, что энтропия неизолированной системы может быть уменьшена только за счет компенсирующего увеличения энтропии в другой или других системах взаимодействующих с данной.

На основе вышеизложенного, можно утверждать, что прогресс не может быть общим для всех частей системы. По законам термодинамики снижение энтропии в одной части системы обязательно сопровождается повышением энтропии в другой части или окружающей среде. Поэтому невозможен всемирный прогресс и благоденствие, если мы не научимся отводить от планеты лишнюю энтропию (отходы) во внешнюю среду. Успехи развития одной группы людей (даже внутри одной семьи) или одного слоя общества, или одного государства и, следовательно, снижение их энтропии возможно только при одновременном повышении энтропии в других группах людей, в других слоях общества, в других государствах или окружающей среде соответственно. Очевидно, что безэнтропийных процессов не бывает ни в природе, ни в обществе, аналогично тому, как не бывает безотходных технологий.

#### 3.4. Закон «необходимого разнообразия» Эшби

Для уменьшения разнообразия (беспорядка) необходимо привнести в систему информацию (управляющее воздействие) - негэнтропию, которую ошибочно представляют как энтропию с отрицательным знаком. Негэнтропия действительно измеряется в тех же единицах, как и энтропия (например, в битах), направление ее действительно противоположно энтропии, и увеличение негэнтропии вызывает такое же уменьшение энтропии. Несмотря на это, негэнтропия и энтропия изменяются в системе по разным самостоятельным закономерностям, и их абсолютные значения мало зависят друг от друга. При увеличении энтропии увеличивается

размерность систем и количество независимых факторов - переменных. Одновременно с ростом энтропии увеличивается и неопределенность, неупорядоченность, беспорядок системы. Чтобы их уменьшить, необходимо ввести в систему негэнтропию, или информацию. При прогрессивном развитии системы, при ее организации и упорядочении больше увеличивается негэнтропия, чем энтропия. При деструкции, дезорганизации системы, наоборот, больше увеличивается энтропия, чем негэнтропия.

Какие имеются возможности по уменьшению энтропии объекта субъектом? У.Р. Эшби сформулировал закономерность, известную под названием «закон необходимого разнообразия».

Когда лицо  $N$ , принимающее решение, сталкивается с проблемой  $D$ , решение которой для него неочевидно, то имеет место некоторое разнообразие возможных решений, оцениваемое энтропией  $\mathcal{E}_D$ . Этому разнообразию противостоит «разнообразие» исследователя  $\mathcal{E}_N$  - разнообразие известных ему методов и приемов решения проблемы и способность сгенерировать новые. Задача исследователя заключается в том, чтобы свести разность разнообразий  $\Delta\mathcal{E} = \mathcal{E}_D - \mathcal{E}_N$  к минимуму, в идеале - к нулю.

Эшби доказал теорему, на основе которой формулируется следующий вывод:  $\Delta\mathcal{E}$  может быть уменьшена лишь за счет соответствующего роста  $\mathcal{E}_N$ . Говоря более образно, только разнообразие в  $N$  может уменьшить разнообразие, создаваемое в  $D$ , только разнообразие может уничтожить разнообразие.

Итак, для успешного решения задачи управления управляющая система (техническая или организационная) должна иметь большее (или, по крайней мере, равное) разнообразие (свободу выбора), чем объект управления:

$$\mathcal{E}_N \geq \mathcal{E}_D$$

#### ***4. Закономерности развития***

##### **4.1. Закономерность развития во времени – историчность**

Из диалектики известно, что любая система не может быть неизменной, что она не только возникает, функционирует, развивается, но и погибает — любая система имеет свой жизненный цикл.

Жизненный цикл - это период времени от возникновения потребности в системе и ее становления до снижения эффективности функционирования и «смерти» или ликвидации системы.

В последнее время понятие жизненного цикла стали связывать с закономерностью историчности - время является неременной характеристикой системы, поэтому каждая система исторична.

Если для биологических и социальных систем легко можно привести примеры становления, расцвета, упадка и даже смерти (гибели), то для конкретных случаев развития организационных систем и сложных технических комплексов трудно определить эти периоды. Не всегда руководители организаций и конструкторы технических систем учитывают закономерности историчности.

Примеры:

1. При создании атомных электростанций мало задумывались о том, что через 30 лет закончится срок их службы и потребуются большие финансовые затраты при остановке и закрытии станций.

2. Менеджеры мало задумываются о том, что руководимые ими компании или подразделения когда-то морально и физически устареют и не смогут выполнять возлагаемые на них функции.

3. Руководители организаций с огорчением узнают, что информационная система, в которую вложено столько средств, морально и физически стареет и требуется ее замена. Поэтому при внедрении информационной системы следует примерно в середине ее

«жизненного цикла» начинать концептуальное - проектирование и формирование технического задания на проектирование последующей очереди информационной системы.

В последнее время специалисты и руководители все больше начинают осознавать необходимость учета закономерности историчности систем при исследовании, моделировании, проектировании и управлении.

При создании сложных технических комплексов предлагают корректировать технический проект с учетом старения идеи, положенной в его основу, уже в процессе проектирования и создания системы. Рекомендуется в процессе проектирования рассматривать не только вопросы создания и обеспечения развития системы, но и вопрос о том, когда и как ее нужно уничтожить (возможно, предусмотрев «механизм» ее уничтожения или самоликвидации). Рекомендуется при создании технической документации, сопровождающей систему, включать в нее не только вопросы эксплуатации системы, но и срок жизни, ликвидацию ее. При регистрации предприятия требуется, чтобы в уставе был предусмотрен этап его ликвидации.

#### 4.2. Рост и развитие

Любая система со временем претерпевает количественные и качественные изменения. Для этих изменений вводятся понятия «рост» и «развитие». Важно различать эти понятия, поскольку рост и развитие далеко не одно и то же, и далее не обязательно одно связано с другим .

Рост - это увеличение в числе и размерах.

Развитие - это изменения процессов в системе во времени, выраженные в количественных, качественных и структурных преобразованиях от низшего (простого) к высшему (сложному).

Пример. Груда мусора может расти без развития. Человек развивается еще долго после того, как прекращается его рост.

Всякому изменению должна быть причина, и такой причиной является наличие проблемы или противоречия, которые порождают кризис, а он, в свою очередь, часто служит основой нового развития.

Кризис (от греч. krisis - решение, поворотный пункт, исход) - это резкий, крутой перелом в чем-либо.

Кризису должна предшествовать разность между: желаемым и действительным; желаемым и возможным; интересами разных групп элементов системы; внутренним и внешним и т. д. Наиболее существенным источником процесса развития выступают различные противоречия: между функцией и целью системы, между потребностями системы в ресурсах и возможностью их удовлетворения и т.д.

Если нет противоречия, то зачем системе изменяться? Таким образом, изменения направлены на ликвидацию противоречия. При этом надо сразу оговориться, что не всякое противоречие надо ликвидировать. Например, гомеостатические системы построены на таких противоречиях, что делает систему крайне устойчивой.

Рассмотрим механизмы изменений. При росте происходит увеличение количества элементов и связей, при уменьшении, наоборот удаляются элементы и рвутся связи. Могут ли при этом происходить качественные изменения? Конечно, закона перехода количества в качество еще никто не отменял, но это нельзя назвать развитием.

Простейший пример из таблицы Менделеева: если к атому одного вещества добавить несколько протонов, нейтронов или электронов, то получаем новое вещество с новыми свойствами. При этом сказать, что одно вещество развитее другого, нельзя. При

развитии, как сказано в определении, происходят количественные, качественные и структурные преобразования от низшего (простого) к высшему (сложному).

Наряду с положительными тенденциями, приписываемыми росту и развитию, можно говорить и об отрицательных тенденциях: отрицательный рост - сокращение, уменьшение и отрицательное развитие - деградация, дезорганизация, деструкция.

Деградация - это постепенное ухудшение, снижение или утрата положительных качеств, упадок, вырождение.

При этом рост (положительный и отрицательный) и развитие, как правило, реализуются путем целенаправленных воздействий на систему, а деградация является естественным процессом. Отсюда следует, что пока существует целенаправленное воздействие на систему, она будет развиваться. Если прекратить такое воздействие, то система будет деградировать.

В своей основе развитие имеет три фактора - изменчивость, наследственность и отбор. Новые свойства система может получить, только имея «свободу выбора», т. е. возможность изменяться. При этом она наследует все положительное, эффективное, что подтверждено ее функционированием, с последующим отбором по некоторым критериям наилучшей структуры и параметров системы, благодаря которым, система выходит на новый уровень упорядоченности. В жестко упорядоченной системе не может быть ее развития, потому что оно осуществляется не благодаря укреплению элементов и связей, а посредством возникновения зон неупорядоченности. Движущей же силой любого развития являются противоречия. Чем более устойчива система, тем хуже она развивается. Как пишет Акофф: «Не имея выбора, невозможно делать ошибки; не делая ошибки, нельзя научиться; без науки нет развития».

Развитие системы обязательно сопровождается изменением ее целей. Другими критериями развития системы являются: увеличение порядка, рост организованности, увеличение информации, снижение энтропии системы.

Само развитие как последовательное изменение может рассматриваться в качестве элемента своего рода «суперразвития», основу которого составляет смена разных типов развития. Смена процессов развития представляет собой глубокое качественное изменение в системе, которое воспринимается как кризис. Поскольку необходимость этих смен заложена в самом существе суперразвития, то из этого следует, что бескризисного развития не существует - рано или поздно наступит момент, когда системе для продолжения эволюции необходимо будет сменить тип развития, иначе оно просто не состоится.

#### 4.3. Закономерность неравномерного развития и рассогласования темпов выполнения функций элементами системы

Чем сложнее система, тем более неравномерно развиваются ее составные части. При этом в процессе функционирования или развития системы ее элементы выполняют свои локальные функции в соответствии со своим темпом. Это закономерно приводит к рассогласованию темпов выполнения функций элементами, что создает угрозу целостности системы и ее способности выполнять свои функции, а также дезорганизации всей системы вплоть до ее остановки.

Пример. С развитием тоннажа грузовых судов быстро росла мощность двигателей, однако средства торможения развивались медленно. В результате возникло противоречие: все крупные корабли и танкеры не могли -эффективно затормозить - от начала торможения до полной останов-ки они успевают пройти несколько миль.

#### 4.4. Закономерность увеличения степени идеальности

Развитие всех систем идет в направлении увеличения степени идеальности. Подразумевается, что идеальная система - это такая система, у которой вес, объем, ненадежность, потребление ресурсов стремятся к нулю, хотя при этом способность системы выполнять свои функции не уменьшается.

#### 4.5. Закономерность внутрисистемной и межсистемной конвергенции

Объективной общесистемной закономерностью, во многом определяющей функционирование систем, является внутрисистемная и межсистемная конвергенция.

Конвергенция означает схождение, сближение, взаимовлияние, взаимопроникновение между системами или между разными элементами внутри одной системы.

В геометрии под конвергенцией понимается сближение двух линий и схождение их в одной точке. В биологии конвергенция обозначает возникновение одинаковых признаков в строении тел и функционировании разных организмов, находящихся под воздействием одних и тех же факторов среды. В социологии этот термин был впервые введен в 1957 г. французским социологом Раймондом Ароном для обозначения процесса сближения социалистической и капиталистической общественных систем.

Конвергенция возникает:

- при наличии общей среды обитания для двух систем;
- при открытости обеих систем, что позволяет факторам среды воздействовать на внутренние структуры систем;

- при отсутствии противостояния и борьбы между системами;
- в случае взаимного влияния систем, что ускоряет процесс взаимного обмена сходством.

#### 4.6. Эквифинальность

Термин «эквифинальность» предложил Л. фон Берталанфи для описания закономерности открытых систем. Дело в том, что состояние равновесия в закрытых системах полностью определяется начальными условиями. Для открытых же систем их конечное состояние не зависит от начального состояния, а определяется особенностями протекающих внутри системы процессов и характером ее взаимодействия со средой.

Эквифинальность - это способность системы достигать определенного состояния, которое не зависит ни от времени, ни от ее начальных условий, а определяется исключительно ее параметрами.

Эта закономерность характеризует как бы предельные возможности системы, что важно учитывать при проектировании как организаций, так и информационных систем. Это одна из наименее исследованных закономерностей.

Вот ряд вопросов, касающихся этой закономерности, которые в настоящее время еще не изучены:

- какие именно параметры в конкретных системах обеспечивают свойство эквифинальности?
- как обеспечивается это свойство?
- как проявляется закономерность эквифинальности в организационных системах?

### **5. Другие общесистемные закономерности**

#### 5.1. Полисистемность

Любой объект окружающего мира принадлежит в качестве элемента одновременно многим системам.

При этом между всеми системами, которым принадлежит общий элемент, существуют противоречия: каждая из этих систем стремится к своей, особой цели, используя любой свой элемент в качестве средства.

Примеры:

1. Работник фирмы принадлежит одному из ее подразделений, фирме в целом, профсоюзной организации, может быть, политической партии, семье, спортивному клубу, городу, стране и т.д.. Это порождает противоречивость его поведения при вхождении в разные системы, что вызывает «расщепленность» его сознания.

2. Любой станок, работающий на предприятии, является элементом этого предприятия, но в то же время принадлежит и многим другим системам: энергетической, технологической, ремонтной, а также тем системам, которые его сконструировали и построили. Все это придает ему специфические, уникальные черты, накладывает отпечаток на процесс его использования в производстве.

3. Фирма в целом принадлежит одновременно многим системам, которые пытаются господствовать над ней, навязывать ей свои интересы. В частности, различные требования предъявляют к предприятию, например, его потребители, правительство, профсоюзы или акционеры. В связи с этим внутренняя структура фирмы должна быть построена таким образом, чтобы в какой-то мере удовлетворить интересы всех систем, в которые входит фирма, гармонизировать их противоречивые цели.

## 5.2. Противодействие системы внешнему возмущению

Французский физико-химик и металловед А.Л. Ле Шателье сформулировал следующий принцип: «Если существующее

равновесие системы подвергается внешнему воздействию, изменяющему какое-либо из условий равновесия, то в ней возникают процессы, направленные так, чтобы противодействовать этому изменению».

В 1906 г. знаменитый русский кристаллограф Е.С. Федоров, а в 1911 г. известный американский химик В. Банкрофт выступают с идеей, что принцип Ле Шателье (или, точнее, принцип Ле Шателье-Брауна) является в действительности универсальным, т.е. при внешнем возмущении, нарушающем условие равновесия, в системе развиваются противоположно действующие процессы, и до определенного уровня они нейтрализуют эффект внешнего воздействия. Имеется образная формулировка этой закономерности, данная М.И. Сетровым: «Целое препятствует нарушению целостности».

В экономике, в частности, ему соответствует закон соответствия спроса и предложения.

### 5.3. Закономерность «наиболее слабых мест»

Устойчивость всей системы зависит от наиболее слабых элементов в системе. Это соответствует поговорке "где тонко, там и рвется». Структурная устойчивость (неразрушимость, приспособленность) системы определяется устойчивостью наиболее слабой подсистемы. Там, где относительное сопротивление будет меньше необходимого, произойдет сбой. На этой же закономерности основывается обеспечение устойчивого состояния организации. Если руководитель правильно осуществляет управление организацией, но в одном важном вопросе ослабляет внимание, то тем самым он может способствовать снижению устойчивости организации.

### 5.4. Закономерность «80/20»

Итальянский экономист Парето (Vilfredo Federico Damaso Pareto) в 1897 г. выдвинул ныне знаменитый «Принцип 80/20». Он установил, что 80% земли в Италии принадлежит лишь 20% ее жителей, а позднее доказал, что замеченное им правило применимо и в других областях. Например, в сельском хозяйстве 80% гороха собирается из 20% общего числа стручков. Впоследствии он сформулировал правило, называемое «Принцип Парето» или «Принцип 80/20» [16]. Исходя из этого принципа, не всегда работа должна быть выполнена как можно лучше, часто вполне достаточно удовлетворительного результата. Принцип Парето означает, что 20% усилий дают 80% результата, а остальные 80 % усилий — лишь 20 % результата. Дальнейшие улучшения не всегда оправданы. «Лучшее - враг хорошего», - гласит народная мудрость.

Из статистики следует, что:

- 20% продаж приносят 80% общего дохода;
- 80% посетителей смотрят только 20% страниц сайта;
- 80% случаев задержек возникает по вине 20% возможных их причин;
- 20% крупных предприятий создают 80% всей продукции в мире, в то время как 80 % средних и мелких предприятий создают 20% продукции;
- 20% населения мира, живущего в странах с самым высоким уровнем доходов, создают 80 % мирового объема внутреннего валового продукта (ВВП);
- 20%-ная наиболее активная часть ученых создает 80% научной продукции, а другая, менее активная, 80%-ная часть создает 20% продукции. Но при этом для создания всей научной продукции обе части одного целого должны существовать.

Эта 20%-ная закономерность распространяется на пчеловодство и даже на муравейник, где также существует 20%-ная активная часть муравьев, создающая 80% продукции. Если условно выбрать наиболее активную 20%-ную часть и переселить отдельно, то из них опять образуются новая более активная (20%-ная) и новая менее активная (80%-ная) части.

#### Резюме

1. В связи с тем, что пока не удалось установить единые общесистемные законы, то, говоря о свойствах систем, чаще всего ограничиваются закономерностями - часто наблюдаемыми, типичными свойствами, устанавливаемыми опытом. Наибольший интерес представляют общесистемные закономерности - закономерности, характеризующие принципиальные особенности систем любой природы.

2. Одной из фундаментальных общесистемных закономерностей является эмерджентность - возникновение в системе новых интегративных качеств, не свойственных ее компонентам.

3. К другим важным понятиям относится целостность, которая вбирает в себя и эмерджентность. Из целостности вытекают следующие закономерности:

а) изменение в одном элементе системы вызывает изменения во всех других элементах и в системе в целом, следствием чего является наличие побочных эффектов как положительных, так и отрицательных;

б) сумма свойств системы не равна сумме свойств отдельных элементов, поскольку при вхождении в систему элементы могут «терять» часть своих свойств и/или «приобретать» новые;

в) при этом свойства системы зависят от свойств составляющих ее элементов.

4. Противоположностью целостности выступает аддитивность. В этом случае изменения в системе представляют собой сумму изменений в ее отдельных частях и сумма свойств системы равна сумме свойств отдельных элементов.

5. Реальные системы редко находятся в крайних позициях: абсолютно целостная система или аддитивное образование. Любая развивающаяся система находится в некотором промежуточном положении, которое со временем смещается либо в сторону целостности - имеет место прогрессирующая систематизация, либо в сторону аддитивности - имеет место прогрессирующая факторизация (изоляция).

6. В основе системного подхода лежит признание изоморфизма систем различной природы (биологических, технических, социально-политических и др.), что позволяет, изучая одну из них, устанавливать свойства другой.

7. Любая система не изолирована от других систем. Она связана множеством коммуникаций с окружающей средой, представляющей собой сложное и неоднородное образование, в состав которого входят: надсистема (система более высокого порядка, задающая требования и ограничения рассматриваемой системе), элементы или подсистемы (нижележащее, подведомственные системы) и системы одного уровня с рассматриваемой.

8. Любую систему можно представить в виде иерархического образования. При этом на всех уровнях иерархии действует закономерность целостности: подчиненные члены иерархии приобретают новые свойства, отсутствовавшие у них в изолированном состоянии, а возникшее в результате объединения нижестоящих элементов новое целое приобретает способность осуществлять новые функции.

9. Использование иерархических представлений оказывается полезным в случае исследования систем и проблемных ситуаций с большой неопределенностью - происходит как бы расчленение «большой» неопределенности на более "мелкие", лучше поддающиеся исследованию.

10. Важную роль в системном анализе играет понятие энтропии, которое служит количественной мерой беспорядка (свободы, разнообразия) в системе. При этом для закрытой (замкнутой) системы - системы, не способной обмениваться с окружающей средой массой, энергией и информацией - справедливо второе начало (закон) термодинамики, согласно которому энтропия замкнутой (изолированной) системы монотонно возрастает (не убывает) со временем.

11. Энтропия неизолированной системы может быть уменьшена только в том случае, если система взаимодействует с другой или другими системами таким образом, что в процессе взаимодействия происходит компенсирующее увеличение энтропии в этих других системах

12. У.Р. Эшби сформулировал закономерность, известную под названием «закон необходимого разнообразия», из которой следует, что уменьшить энтропию (разнообразие) в системе можно только за счет не меньшего разнообразия субъекта управления.

13. Любая система не может быть неизменной: она не только возникает, функционирует, развивается, но и погибает. Другими словами, любая система имеет свой жизненный цикл, т. е. исторична.

14. Любая система со временем претерпевает количественные и качественные изменения. Для этих изменений вводятся понятия «рост» - увеличение в числе и размерах и «развитие» - изменения процессов в системе во времени, выраженные в количественных,

качественных и структурных преобразованиях от низшего (простого) к высшему (сложному).

15. Чем сложнее система, тем более неравномерно развиваются ее составные части.

16. Развитие всех систем идет в направлении увеличения степени идеальности.

17. При наличии общей среды обитания для двух систем и для элементов системы характерна конвергенция - схождение, сближение, взаимовлияние, взаимопроникновение между системами или между разными элементами внутри одной системы.

18. Для систем характерна эквифинальность - закономерность, характеризующая предельные возможности системы: система способна достигать определенного состояния, которое не зависит ни от времени, ни от ее начальных условий, а определяется исключительно ее параметрами.

19. Для систем характерна полисистемность - любой объект окружающего мира принадлежит в качестве элемента одновременно многим системам.

20. Если существующее равновесие системы подвергается внешнему воздействию, изменяющему какое либо из условий равновесия, то в ней возникают процессы, направленные так, чтобы противодействовать этому изменению.

21. Устойчивость всей системы зависит от наиболее слабых элементов в системе.

22. Итальянский экономист Парето выдвинул «Принцип 80/20», из которого, в частности, следует, что 20 % усилий дают 80% результата, а остальные 80% усилий - лишь 20% результата. Дальнейшие улучшения не всегда оправданны.

## Вопрос №17

### Цели и трудности целеполагания.

Любая деятельность является направленной. Системный анализ также представляет собой направленную деятельность по анализу, описанию, проектированию и управлению. В любой направленной деятельности можно выделить двух участников: субъекта и объект.

Активного участника направленной деятельности будем называть субъектом, а пассивного — объектом.

В зависимости от решаемых субъектом задач будем его называть:

наблюдателем — субъект только наблюдает за объектом и не оказывает никаких воздействий на него;

исследователем — субъект воздействует на объект с целью получения информации о нем;

проектировщиком — субъект проектирует будущий объект;

управляющим - субъект воздействует на объект с целью достижения заданных свойств.

В качестве субъекта чаще всего представляют человека, но иногда может выступать и техническое устройство. Объектом же может быть явление, предмет, устройство, проблема, предприятие и т. п.

#### 1. Цели

##### 1.1. Целенаправленная деятельность

Всякая деятельность (движение, изменение, развитие и т. п.) является целенаправленной— направлена на достижение определенной цели.

Примеры. Студент учится, чтобы получить профессию. Рабочий обтачивает заготовку, чтобы получить деталь. Спортсмен тренируется, чтобы завоевать медали и чемпионские звания. Целевой характер имеют отдых, развлечения, прогулки, игры, физзарядка, чтение, коллекционирование и т. п.

Цель - это субъективный образ желаемого состояния объекта.

Причинной и движущей силой любой деятельности является наличие противоречия — своеобразной «разности потенциалов» между имеющимся и желаемым (целевым) состояниями объекта. Если пути устранения противоречия не являются очевидными, то противоречие становится проблемой.

### 1.2. Цели и проблемы

Цели тесно связаны с проблемами: с одной стороны, поставленная цель порождает проблему ее достижения, а с другой для решения проблемы ставится цель как путь ее решения. При этом проблемы могут иметь объективный или субъективный характер, а цели могут носить характер желания или направления деятельности.

Примем за аксиому, что высшая цель — сохранение функционирования и развития объекта. Это порождает потребность в обменных явлениях: в материальных, энергетических и информационных потоках подводимых ресурсов и отводимых потоках продуктов функционирования.

Потребность — это объективная необходимость во взаимодействии с окружающей средой для сохранения функционирования и развития объекта.

Следует различать удовлетворенную и неудовлетворенную потребности. Неудовлетворенная потребность порождает проблемную ситуацию — проблему, которую назовем объективной проблемой.

Объективная проблема — это разность между необходимым и существующим.

Пример. Для управления необходима информация, для жизни человека - воздух и т. п. Если всего этого хватает, то нет никаких проблем; они начинаются, если потребность не удовлетворена.

Решение объективной проблемы формируется в виде желания.

Желание — это субъективно осознанная потребность, соотнесенная с конкретным результатом ее удовлетворения.

Субъективность желания состоит в том, что, с одной стороны, мы можем желать только то, о чем знаем и понимаем (или нам кажется, что понимаем): с другой стороны, чтобы появилось желание, надо осознать, что потребность имеется.

Примеры. 1. Для управления имеется объективная потребность в информации, и когда ее не хватает (или кажется, что не хватает), возникает желание внедрить информационную систему. Если руководитель не понимает, что такое информационная система, он может пожелать принять на работу дополнительных сотрудников, которые бы собирали, передавали и обрабатывали информацию.

2. Мы желаем приобрести мобильный телефон, и принимаем это за потребность. Но это не объективная потребность, а только желание. Потребность у нас может быть, например, в оперативной связи, и удовлетворить ее можно и другими средствами.

Желание носит целевой характер, но эта цель — только цель-желание — без критического осмысления ее достижимости.

Цель-желание - субъективный образ состояния объекта (или конкретное средство), которое удовлетворило бы осознанную потребность.

Далее оценивается достижимость желания: если реализация желания не имеет известного (простого) решения, то возникает субъективная проблема (не желайте и не будет у вас проблем!).

Субъективная проблема - разность между желаемым и действительным, ликвидация которой не является очевидной.

Примеры. 1. Пусть появилось желание установить в организации информационную систему. При этом могут появиться проблемы: недостаточность финансовых средств, отсутствие требуемых помещений, отсутствие соответствующих квалифицированных кадров для ее внедрения и эксплуатации и, наконец, проблема выбора - на рынке имеется несколько систем, а нужна одна - какую выбрать?

2. Мы желаем приобрести мобильный телефон, и тут появляются проблемы: нет денег на его приобретение, нет телефонов с желаемыми функциями и т. п.

Из субъективной проблемной ситуации вытекает цель-намерение.

Цель-намерение - субъективный образ несуществующего, но желаемого состояния объекта, которое решило бы возникшую проблему и на достижение которого будет направлена деятельность.

Таким образом, цель находится в непосредственной зависимости от потребности и желания - является их прямым следствием.

А что является источником потребности? Потребность определяется объектом. Если есть серьезная проблема удовлетворения потребности, то надо менять объект: на другой объект или изменять существующий (последнее в экономике называется реорганизацией).

Пример. Если есть проблема с бензином для автомобиля, то ставим на него газовую установку или заменяем его электромобилем.

При исследовании объектов необходимо разделять потребности и желания. Потребности можно считать константой, если объект не предполагается изменять. Желания же могут корректироваться. Это может происходить при изменении потребностей, а также при получении субъектом целеполагания новой информации об объекте исследования. В связи с этим задача системного аналитика - помочь субъекту целеполагания, предоставив ему дополнительную информацию.

### 1.3. Цель и точка зрения

В системном анализе цель занимает центральное место, собственно сам системный анализ и начинается с формулирования целей.

Однако, говоря о цели, нельзя упускать из виду, что выбор цели сугубо субъективен. Если ставится или имеется цель, то всегда существует субъект целеполагания, точка зрения которого отражается в ней. Дело в том, что выбранная цель направлена на удовлетворение конкретной жизненной потребности конкретного субъекта. При этом выбор цели всегда ограничен конкретными знаниями и пониманием субъекта - нельзя желать того, о чем не знаешь.

В связи с вышесказанным, при исследовании всегда необходимо определяться с тем, чья точка зрения на объект берется за основу. При системном анализе цель можно рассматривать с позиций субъекта и объекта исследования.

Цель с позиции субъекта определяет цель анализа, описания, проектирования (создания или реорганизации) и управления:

- цель анализа объекта — выявить наличие и место противоречий (проблемной ситуации), причин их возникновения и способов устранения;

- цель описания объекта - представить проблемную ситуацию в виде, удобном для анализа;
- цель проектирования - разрешить проблемную ситуацию с помощью нового объекта или реорганизации старого;
- цель управления — разрешить проблемную ситуацию путем удержания функционирования объекта в заданном состоянии или перевода его в новое состояние.

При всем при этом субъект преследует свои цели, удовлетворяет свои потребности (например, получение прибыли, самореализация и т. п.). К тому же сам субъект анализа часто является сосредоточием субъектов целеполагания: это отдельные исполнители (каждый имеет свою цель), это и руководители различного уровня.

Цель с позиции объекта определяет цель его функционирования (существования), которая может быть заложена при его создании либо формироваться внутри него.

Примеры.

1. Если анализируется проблемная ситуация в некотором техническом устройстве, то вначале необходимо понять назначение этого устройства.

2. При анализе экономического или организационного объекта иногда выясняется, что фактическая цель его функционирования отличается от цели, с которой он создавался.

И здесь мы также имеем нескольких субъектов целеполагания: коллектив или индивидуумы объекта исследования, руководитель объекта, руководитель вышестоящего уровня и т. д.

Кроме того, в качестве субъекта целеполагания может выступать заказчик анализа. Таким образом, можно говорить о трех группах целей участников анализа, имеющих различные потребности, а отсюда и разные цели - аналитику приходится решать три задачи,

связанные с целью: понимание целей заказчика; определение внутренних целей объекта анализа; формулировка своих целей анализа.

## 2. Формирование критериев

В общем случае цели имеют либо конкретную, либо расплывчатую формулировку. Поэтому различают два типа целей:

- цель-результат - конкретная, измеримая цель (рис. 1, а);
- цель-направление - идеальная, качественная цель (рис. 1, б).

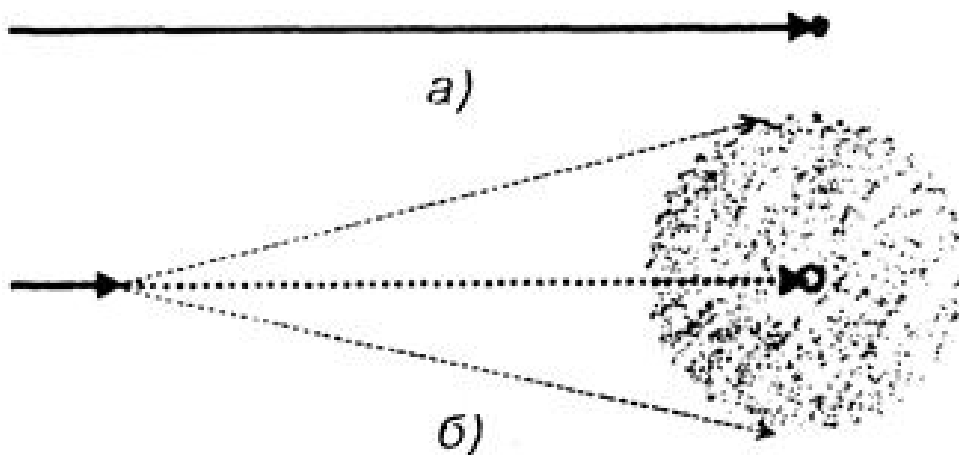


Рис. 1.

Пример. Увеличение выпуска продукции в два раза — цель-результат, а повышение образовательного уровня работников — цель-направление.

### 2.1. Критерии как модели целей

Для количественной оценки степени достижения цели используются критерии (особенно для идеальной цели). В этом смысле критерии можно рассматривать как количественные модели качественных целей.

Примеры.

1. Цель-результат: построить дачный домик. Если не ввести критерии, то построение любого сооружения от сарая до дворца можно считать достижением поставленной цели.

2. Цель-направление: повышение образовательного уровня сотрудников. Для ее конкретизации можно ввести такие критерии:

- процент сотрудников, имеющих высшее образование;
- количество сотрудников, имеющих сертификаты о дополнительном образовании.

Необходимость в критериях возникает также в задачах управления, в частности, в задачах оптимизации и принятия решений, когда возникает необходимость оценки имеющихся альтернатив. Определение значения критерия для данной альтернативы является, по существу, косвенным измерением степени ее пригодности (ценности) как средства достижения цели.

## 2.2. Многокритериальность реальных задач

Многокритериальность реальных задач связана с тем, что одну цель редко удастся выразить одним критерием, хотя к этому обычно стремятся. Конечно, возможны случаи, когда единственный критерий отвечает требованиям практики.

Пример. По международным стандартам одним из основных критериев, отражающих качество и уровень медицинского обслуживания, является младенческая смертность (смертность детей в возрасте до года).

Очень редко единственный критерий удачно отображает цель, поскольку критерий лишь приближенно (как и всякая модель) отображает цель, и адекватность одного критерия может оказаться недостаточной.

Пример. Формирование критериев для достаточно ясной цели: улучшить уборку мусора в большом городе. В результате анализа были отвергнуты как неадекватные следующие, на первый взгляд, подходящие критерии: расходы по уборке мусора в расчете на одну квартиру, число тонн убираемого мусора в расчете на один рабочий

человеко-час, общий вес вывозимого мусора - эти критерии ничего не говорят о качестве работы. Более удачными были признаны такие критерии, как процент жилых кварталов без заболеваний, снижение числа пожаров из-за возгорания мусора, уменьшение числа укусов людей крысами, количество обоснованных жалоб жителей на скопление мусора. Впрочем, очевидно, что и эти критерии отражают только отдельные стороны качества уборки мусора в городе.

Всегда следует помнить о том, что дело не только и не столько в количестве критериев, сколько в том, чтобы они достаточно полно «покрывали» цель. Это означает, что критерии должны описывать по возможности все важные аспекты цели, но при этом желательно минимизировать число необходимых критериев.

### 3. Трудности целеполагания

#### 3.1. Ограничения целеполагания

Решение любой реальной задачи сталкивается с ограничениями, которые можно разделить на две группы:

- объективные - законы природы и ресурсные ограничения;
- субъективные - ограниченность понимания действительности и система ценностей субъекта целеполагания.

Целеполагание также подвержено влиянию как внешних, так и внутренних факторов, а также времени.

Пример. При постановке и решении задач системного анализа необходимо учитывать не только цели, на достижение 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. К ресурсам следует отнести:

- денежные ресурсы, которые заказчик согласен выделить системным аналитикам для решения поставленной задачи;

- ресурсы исполнителя: людские ресурсы, ресурсы вычислительные (наличие вычислительной техники, ее количество и т. д.), материальные ресурсы, требуемые для решения задач (например, наличие канцелярских товаров, транспорта, ресурсов связи);
- временные ресурсы; сроки решения задач системного анализа, как правило, оговариваются.

При формулировке задачи системного анализа необходимо также учитывать интересы окружающей среды.

В практике системного анализа встречаются случаи, когда наложенные ограничения столь сильны, что делают не реальным достижение цели. Тогда системный аналитик должен ставить перед лицом, принимающим решение, вопрос о том, нельзя ли данные ограничения ослабить или снять совсем.

### 3.2. Проблематика

Если для традиционных наук определение цели — начальный, отправной этап работы, то при работе со сложными объектами — это промежуточный результат, которому предшествует длительная, кропотливая и сложная работа по формулировке исходной проблемы. Дело в том, что проблемосодержащий объект не является изолированным — он связан с другими объектами, в различной степени причастными к данной проблеме, и входит как часть в некий мегаобъект. Кроме того, исследуемый объект обычно сам состоит из множества микрообъектов, имеющих свои потребности, желания, проблемы и цели. В связи с этим к любой реальной проблеме необходимо априори относиться не как к отдельно взятой, а как к «клубку» взаимосвязанных проблем в том смысле, что решение нашей проблемы чаще всего приведет к образованию совокупности проблем

в окружающих систему объектах. Будем использовать для обозначения этой совокупности термин проблематика.

Проблематика - совокупность проблем, возникающих в соседних объектах при решении проблем исследуемого объекта.

Примеры.

1. Лечение больного органа порождает проблемы в соседних.
2. Решение проблемы одного члена семьи порождает проблемы у других.
3. Решение проблемы одной части организации порождает проблемы у других.

Таким образом, исследование всякой проблемы следует начинать с ее расширения до проблематики. Необходимо определить и рассмотреть проблемы, существенно связанные с исследуемой, без учета которых она не может быть решена.

В англоязычной литературе часто используется понятие stakeholders, что означает «перечень заинтересованных лиц». В этот перечень на первых порах рекомендуется включать:

- 1) заказчика, который ставит проблему, заказывает и оплачивает системный анализ;
- 2) лиц, принимающих решения, от полномочий которых непосредственно зависит решение проблемы;
- 3) участников, как активных, т. е. тех, чьи действия потребуются при решении проблемы, так и пассивных тех, на ком скажутся (положительным или отрицательным образом) последствия решения проблемы;
- 4) самого системного аналитика и его сотрудников, главным образом, для того чтобы предусмотреть возможность минимизации его влияния на остальных заинтересованных лиц, своеобразная «мера безопасности».

Под «заинтересованными» лицами следует понимать и тех, кто на самом деле не заинтересован в решении проблемы и будет сопротивляться возможным переменам.

Каждая из сторон имеет свое видение проблемы; отношение к ней, существование или исчезновение проблемы связано с существованием или появлением их собственных проблем.

Таким образом, при построении проблематики системный аналитик определяет, кто из заинтересованных лиц и в чем заинтересован, какие изменения и почему они хотят внести. При этом сам аналитик не должен влиять на мнения обследуемых лиц. После рассмотрения проблематики формулируется окончательная цель.

Для коммерческих организаций (в какой-то мере и для некоммерческих) можно рассматривать три базовых круга проблематики (рис. 2):



Рис. 2. Круги проблематики

- внутренняя среда (подразделения организации):
- бизнес-окружение:
- внешняя среда.

Для оценки влияния решения наших проблем на другие заинтересованные объекты можно построить матрицу проблематики, включающую перечень заинтересованных объектов, вид (выгода или потеря) и степень влияния на них наших решений, их поддержку или противодействие.

Пример. Матрица проблематики для задачи создания внедренческой фирмы по автоматизации бухгалтерского учета:

| № п/п                                                                                             | Заинтересованный объект | Вид влияния (выгода/потери) на объект                                                                       | Степень влияния <sup>1</sup> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| 1                                                                                                 | Налоговая инспекция     | 1.Облегчение работы с организациями, имеющими автоматизированный бухучет<br>2.Увеличение собираемых налогов | 3                            |
| 2                                                                                                 | Жители города           | Получают новые рабочие места                                                                                | 5                            |
| 3                                                                                                 | Вузы города             | Получают места практики и работы для студентов и выпускников                                                | 10                           |
| 4                                                                                                 | Клиенты                 | Получают возможность выбора или товара (услугу), которого раньше не было                                    | 10                           |
| 5                                                                                                 | Конкуренты              | Потеря прибыли                                                                                              | -5                           |
| 6                                                                                                 | Регион                  | 1.Получение дополнительных налогов<br>2.Снижение безработицы                                                | 10                           |
| Примечание. <sup>1</sup> Степень влияния наших решений на объект может варьироваться от -10 до 10 |                         |                                                                                                             |                              |

### 3.3. Неопределенность целеполагания

Еще древними философами были замечены свойства любой человеческой деятельности: полученные результаты всегда

отличаются от запланированных целей, т. е. цель всегда несет в себе элементы неопределенности.

Причина этой неопределенности кроется в слабой изученности свойств окружающей действительности, неполноте информации о ней.

Зачастую человек в своей деятельности руководствуется принципом совпадения целей и результатов, и поэтому нередко попадает впросак, удивляясь, что планировал одно, а получил иное. Особенно это опасно при организации бизнеса, который может закончиться крахом.

Опасность расхождения целей и результата возникает в том случае, если целевые результаты служат основой для планирования дальнейшей деятельности. В этом случае могут возникать серьезные проблемы.

Примеры.

1. Начинающий бизнесмен берет кредит в банке под залог своей квартиры, планируя через определенное время получить прибыль, достаточную для того, чтобы расплатиться за кредит и иметь деньги на развитие. Однако в случае недостижения цели, лишается и бизнеса и квартиры.

2. При газификации домов, когда вырыты траншеи и подведены трубы, жильцы ломают свои печи в надежде, что они больше не понадобятся. Но в силу разных причин (отсутствие некоторых устройств, рабочих перевели на выполнение другой срочной работы) к зиме у жильцов запланированного газа нет, как нет и альтернативного средства обогрева в виде печей.

\* \* \*

Современные представления о расхождении целей и результатов деятельности связаны с именем российского философа

Н.Н. Трубникова, который утверждал, что их причиной является «двойственность» используемых средств. Действительно, когда средства подбираются для реализации намеченной цели, например определенная структура, технология, персонал и т. д., то, будучи еще не опробованными в реальной деятельности, они представляют собой идеальные средства, т. е. средства, лишь мысленно подходящие для достижения целей. И как идеальные средства они, казалось бы, способны обеспечить реализацию запланированных целей. Но когда они становятся реальными средствами, то дают результат, в чем-то не совпадающий с целями.

Кроме неопределенности, в цели проявляется ее вторая сторона: цель можно рассматривать в качестве средства оценки будущего результата.

### 3.4. Опасность подмены целей средствами

Часто субъект, цели которого должны быть выявлены, сам не может их четко осознать, даже если и дает им четкие формулировки.

Дело в том, что любая цель обладает двойственностью, являясь одновременно и целью, и средством для достижения вышестоящей цели. Достижение цели всегда базируется на некоторых средствах этого достижения, т. е. существует пара «средство - цель». Но цель, в свою очередь, может являться средством для достижения вышестоящей цели, и наоборот, средство достижения цели необходимо иметь, получить, (проектировать, создать), т. е. средство на некотором этапе само становится целью. Таким образом, мы имеем дело с теоретически бесконечной цепочкой:  $i$ -я цель ( $C_i$ ) достигается благодаря  $i$ -му средству ( $C_i$ ),  $i$ -я цель является  $i+1$ -м средством для  $i + 1$ -й цели и т. д.:

$$...C_i \longrightarrow C_i = C_{i+1} \longrightarrow C_{i+1} = C_{i+2} \longrightarrow C_{i+2}...$$

В связи с этим субъекту целеполагания бывает очень трудно разобраться в этой цепочке и выявить, что же является конечной целью.

Пример. ... Хорошо учиться в школе, чтобы поступить в институт. Цель поступления в институт? Получить специальность. (Значит, поступление в институт только средство, а не цель!)

А зачем получать специальность? Чтобы получить хорошую работу.

А зачем нужна хорошая работа? Чтобы получать хорошие деньги.

А зачем получать хорошие деньги? Чтобы ...

Рассмотрим примеры ошибок при предварительном определении цели, когда средства принимались за цели.

Примеры.

1. В одном исследовании проблемы «где лучше разместить новую больницу» выяснилось, что действительная цель — улучшение медицинского обслуживания населения, и среди предложенных альтернатив нашлись более эффективные способы использования ресурсов, нежели строительство новой больницы.

2. Перед изобретателем поставили задачу: придумать устройство для мытья больших окон в цехе металлообработки. Но впоследствии оказалось, что цель была не чистые окна, а освещенность рабочего места токарей и фрезеровщиков. После уточнения цели было предложено установить электрические лампы на каждый станок, а чистота окон — это уже другая задача, например, эстетики или культуры производства.

3. Какую бы вы поставили цель перед пожарной командой? В 20-х гг. был введен своеобразный критерий оплаты труда пожарных — время пребывания на пожаре. В соответствии с этим производилась

оплата труда пожарных. Первый пожар был потушен через 15 мин и... пожарные остались без зарплаты. Затем они «поумнели» и стали тушить пожары в течение нескольких часов. Как выяснилось позже, иногда они сами поджигали дома.

### 3.5. Влияние ценностей на цели

Надо быть готовым к тому, что на выбор целей субъекта существенное влияние оказывает общая идеология, система ценностей, которой он придерживается.

Под ценностями обычно понимаются персональные или социальные предпочтения или приемлемость путей их достижения. В систему ценностей могут входить познавательные, моральные, экономические, политические, этические, эстетические, материальные, либеральные, моральные, религиозные, экологические, политические ценности. К путям достижения цели относятся такие ценности как честность, пацифизм и др.

Поэтому одно из направлений исследования в ходе выявления цели может состоять в изучении системы ценностей, прежде всего той, которой обладают лица, принимающие решения: однако в ряде случаев может оказаться необходимым принять во внимание системы ценностей и остальных заинтересованных сторон.

### 3.6. Опасность смешения целей

Разновидностью влияния ценностей на цели является смешение целей. В этом случае узкопрофессиональные ценности превалируют над общественными. Обычно такая ситуация возникает, когда в решении проблем участвуют специалисты-профессионалы, навязывающие свое видение мира и тем самым подменяющие главные цели своими.

Примеры.

1. «Операция прошла успешно, но пациент умер», - это не дурная шутка, а действительно встречающееся среди хирургов высказывание.

2. Внешне очень элегантное здание, построенное в университетском городке, получило золотую медаль Королевского Общества архитекторов, но его внутренняя планировка оказалась непригодна ни для учебных, ни для административных целей.

3. Имеется большое количество рекламной продукции, отмеченной различными призами рекламных плакатов, но которая не оказала никакого влияния на сбыт рекламируемой продукции.

### 3.7. Множественность целей

Случаи, когда у субъекта имеется только одна цель, встречаются редко, чаще всего их несколько и важно не упустить какую-нибудь существенную из них. В частности, чем выше уровень управления, тем больше целей, даже если текстуально они объединены одной формулировкой — «глобальная цель».

Пример. Цель современного предприятия не может быть сведена к получению максимальной прибыли: она представляет собой сумму целей всех его работников, собственников, потребителей и, строго говоря, всех остальных субъектов общества, как-то связанных с ним.

Цели человека обладают внутренней неустранимой парадоксальностью: каждая человеческая потребность присутствует в целях человека вместе с ее противоположностью. Человек одновременно стремится:

- к стабильности и к развитию;
- к осуществлению своей индивидуальности и к принадлежности к коллективам;

- к познанию и в то же время отбрасывает «лишнюю» или негативную информацию;
- к свободе, но боится ее бремени;
- к соблюдению этических норм, но часто испытывает недобрые побуждения и т. д.

### 3.8. Изменение целей со временем

Представление и формулировка цели зависят от стадии познания объекта и времени. Цели могут изменяться как по мере изменения и понимания объекта, так и по мере появления и понимания новых средств решения проблем. Потребность в корректировке целей возникает и у заказчика, и у исполнителя, что иногда порождает конфликтные ситуации.

При этом цели более высоких уровней долговечнее. В социальных системах цели высших уровней часто формулируются как интересы будущих поколений, сроки целей нижних уровней связаны с настоящими действиями и с действиями в ближайшем будущем.

### 4. Требования к цели

Исходя из вышеизложенного, можно сформулировать требования к цели. Правильно сформулированные цели должны удовлетворять следующим основным требованиям:

Конкретность — при определении цели необходима точность отражения ее содержания, объема и времени. Удовлетворение цели может принести только конкретный результат, полученный с помощью конкретных средств в конкретных условиях.

Измеримость — цель должна быть представлена количественно или каким-либо другим способом для оценки степени ее достижения.

Достижимость — цели должны быть реальными, не выходящими за рамки возможностей исполнителей.

Согласованность — цели следует рассматривать не изолированно, а во взаимосвязи.

Приемлемость - необходимо учитывать потребности, желания, традиции, сложившиеся в обществе ценности.

Гибкость— возможность внесения корректировки по мере происходящих в среде изменений.

#### 5. «Деревья» в целеполагании

Анализ процессов формулирования глобальной цели в сложной системе показывает, что эта цель возникает в сознании руководителя или коллектива как некоторая, достаточно «размытая» область. На любом уровне цель возникает вначале в виде «образа» цели. При этом достичь одинакового понимания общей цели всеми исполнителями, по-видимому, принципиально невозможно без ее легализации в виде упорядоченного или неупорядоченного набора взаимосвязанных подцелей, которые делают ее понятной и более конкретной для разных исполнителей. Таким образом, задача формулирования общей цели в сложных системах должна быть сведена к задаче структуризации цели. Для облегчения задачи целеполагания применяется декомпозиция (детализация) цели в виде неупорядоченного или упорядоченного набора взаимосвязанных подцелей (структуризация); которые делают ее более конкретной и понятной для всех участников процесса целеобразования. Для наименования подцелей в конкретных приложениях используют разные названия: направления, программы, задачи, а начиная с некоторого уровня - функции.

Поскольку любая цель обладает двойственностью, являясь одновременно и целью, и средством для достижения вышестоящей цели, то описание отношений между целями и средствами может быть отражено специальной схемой (графом), носящей название «дерево

целей». Термин был введен в 1957 г. У. Черчменом, который предложил метод дерева целей в связи с проблемами принятия решений в промышленности. Эта схема была с успехом использована в ряде крупных военных и промышленных программ в США, а в настоящее время является повседневным инструментом практически любого современного менеджера.

При использовании метода «дерево целей» в качестве средства принятия решений часто применяют термин «дерево решений». При применении метода для выявления и уточнения функций системы управления говорят о «дереве целей и функций». При структуризации тематики научно-исследовательской организации пользуются термином «дерево проблемы», а при разработке прогнозов «дерево направлений развития (прогнозирования развития)» или «прогнозный граф».

Для системного анализа организаций с целью их реорганизации или автоматизации можно предложить следующие виды «деревьев»:

- а) «дерево целей» объекта, которое можно определить как «дерево желаний»;
- б) «дерево проблем» объекта (или диаграмма Исикавы);
- в) «дерево целей» субъекта;
- г) «дерево стратегий» или «дерево решений».

Первоначально строится «дерево целей» с позиции объекта, т. е. «дерево желаний». В нем отражаются главные желания, как правило, связанные с существованием и развитием объекта. Далее они декомпозируются на более детальные цели, удовлетворение которых приведет к удовлетворению главных.

На следующем этапе анализируется проблемность удовлетворения потребностей и желаний объекта и выделяется

ключевая проблема (проблемы), которая декомпозируется в виде «дерева проблем».

Далее строится «дерево целей» с позиции субъекта как позитивное отражение «дерева проблем».

И, наконец, строится «дерево стратегий», в котором «дерево целей» дополняется вариантами (стратегиями) решения выявленных проблем.

До окончательной формулировки целей необходимо решить два вопроса. Во-первых, рассмотреть проблематику — множество проблем, которые порождаются решением наших проблем. Это может потребовать корректировки намеченных целей. Во-вторых, необходим аналитический, а чаще всего экспертный анализ для выбора альтернатив решения проблем.

После выбора стратегий формулируются задачи (функции) и назначаются их исполнители.

#### 5.1. Построение «дерева целей (желаний)»

Сначала формируется основная цель (желание), формулировка которой, как правило, имеет следующую структуру: глагол-действие, пояснение, объект-цель. Построение «дерева целей» начинается с процедуры структуризации, расчленения основной цели на составные элементы, называемые подцелями, каждая из которых является средством, направлением или этапом ее достижения. Затем каждая из подцелей в свою очередь рассматривается как цель и расчленяется на компоненты. Если все эти элементы представить графически, то получится так называемое «дерево целей», обращенное кроной вниз. Деление прекращается, когда подцель становится неделимой и объективно измеримой.

Построение «дерева» происходит по следующим принципам:

- если очередная подцель является средством для предыдущей, то она опускается на уровень ниже первой;
- если она является целью, то поднимается на один уровень вверх;
- если она не является ни целью, ни средством, то остается на том же уровне иерархии.

Для проверки полноты и внутренней непротиворечивости дерева целей существуют четыре простых правила.

1. При чтении сверху вниз подцель должна отвечать на вопрос: что нужно сделать, чтобы реализовать цель предыдущего уровня?

2. При чтении снизу вверх цель более высокого уровня должна отвечать на вопрос: для чего необходима цель, лежащая непосредственно под ней?

3. При чтении подцелей, необходимых для достижения одной цели, следует уточнить, все ли подцели действительно необходимы для ее достижения.

4. При чтении подцелей, необходимых для достижения одной цели, следует уточнить, какие еще подцели этого уровня необходимы для достижения цели.

Пример. «Дерево целей» для коммерческого учебного центра, показанное на рис. 3.



Рис. 3. «Дерево целей» для коммерческого учебного центра

## 5.2. Построение «дерева проблем»

Вначале выбирается и сжато формулируется одна (или несколько) из ключевых проблем достижения целей-желаний. А затем одна за другой формулируются другие проблемы, выстраиваемые в «дерево» по следующим принципам:

- если очередная проблема является причиной для предыдущей, то она опускается на уровень ниже первой;
- если она является следствием, то поднимается на один уровень вверх;
- если она не является ни причиной, ни следствием, то остается на том же уровне иерархии.



Рис. 4. «Дерево проблем» для коммерческого учебного центра

Пример. «Дерево проблем» для коммерческого учебного центра, показанное на рис. 4.

Альтернативой «дерева проблем» является диаграмма Исикавы (Ишикавы), представляющая собой «дерево проблем», повернутое на 90°.

Пример. Диаграмма Исикавы для коммерческого учебного центра, показанная на рис. 5.



Рис. 5. Диаграмма Исикавы для коммерческого учебного центра.

### 5.3. Построение «дерева целей» субъекта и «дерева стратегий»

При анализе путей решения имеющихся проблем строится «дерево целей», которое является позитивным зеркальным отражением негативного дерева проблем. И к этому дереву в качестве «веток» пристраиваем возможные стратегии решения проблем (достижения целей).

Пример. «Дерево целей» с вариантами стратегий для коммерческого учебного центра, показанное на рис. 6.



Рис. 6. «Дерево целей» с вариантами стратегий для коммерческого учебного центра.

Далее следует провести анализ и выбор стратегий (средств достижения целей), для чего можно построить соответствующую таблицу.

Пример. Таблица стратегий:

| Цель              | Стратегия                                                                                    | Преимущества                                                             | Недостатки                                                                         |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Уменьшить расходы | Переехать в помещение меньшей площади                                                        | Ощутимое сокращение расходов                                             | Тесное помещение плохо скажется на имидже компании, что приведет к падению прибыли |
|                   | Переехать в менее престижную часть города                                                    | Ощутимое сокращение расходов                                             | Плохо скажется на имидже компании, что приведет к падению прибыли                  |
|                   | Автоматизировать ведение учета учащихся с последующим сокращением числа сотрудников компании | Улучшение качества обработки информации, улучшение культуры обслуживания | Большие начальные расходы                                                          |

1. Любая деятельность является целенаправленной.
2. Источник цели - потребность. При неудовлетворении потребности появляется желание, отсутствие очевидного пути достижения которого порождает проблему, и тогда появляется цель как нечто, что решит проблему.
3. Выбор цели сугубо субъективный. Если ставится или имеется цель, то всегда существует субъект целеполагания, точка зрения которого отражается в ней. Субъективность цели выражается, с одной стороны, знаниями и пониманием действительности того, кто ставит цель, а с другой цель направлена на удовлетворение его конкретной жизненной потребности.
4. Следует различать цели с позиции субъекта и объекта. Цель с позиции субъекта определяет цель анализа, описания, проектирования (создания или реорганизации) и управления. Цель с позиции объекта определяет цель его функционирования (существования), которая может быть заложена при его создании либо формироваться внутри него.
5. Цель может быть конкретной или размытой. В последнем случае необходимо вводить критерии для оценки степени достижения цели.
6. Целеполагание сталкивается с рядом проблем, связанных с объективными и субъективными ограничениями, изменением целей со временем, неопределенностью целеполагания, опасностями подмены целей средствами и смешением целей и др.
7. Прежде чем формулировать окончательную цель, необходимо провести исследование решаемой проблемы. В частности, следует расширить проблему до проблематики: определить и рассмотреть проблемы, существенно связанные с исследуемой, без учета которых она не может быть решена.

8. Правильно сформулированные цели должны быть конкретными, измеримыми, достижимыми, согласованными, приемлемыми и гибкими.

9. Существенную помощь при целеполагании оказывают «деревья» целей и проблем. При реорганизации или автоматизации объекта можно рекомендовать построение следующей цепочки «деревьев»: «дерево» целей (желаний) объекта, «дерево» проблем объекта, «дерево» целей субъекта. В последнем «дереве» рассматриваются возможные стратегии решения проблем.

## **Вопрос №18**

### **Модели и моделирование.**

Исследуя объекты окружающего мира, мы вынуждены как-то отображать результаты исследования для того, чтобы, с одной стороны, представить их в виде, удобном для анализа, а с другой для их хранения и передачи в пространстве или времени. Проектируя, создавая что-то новое, мы первоначально формируем некоторый образ этого нового. Управляя чем-либо, мы, как правило, пытаемся анализировать, к каким последствиям приведет управление. Перечисленные задачи требуют фиксации (представления) информации об объекте в виде некоторого образа (словесного, графического и т. п.).

В связи с этим в познавательной и практической деятельности человека большую, если не ведущую, роль играют модели и моделирование. Особенно незаменимо моделирование при работе со сложными объектами (в частности, экономическими). Все это делает моделирование важнейшим инструментом системного анализа.

#### **1. Моделирование**

Модель в широком понимании — это образ (в том числе условный или мысленный) какого-либо объекта или системы объектов, используемый при определенных условиях в качестве их «заместителя» или «представителя».

Модель — это упрощенное подобие объекта, которое воспроизводит интересующие нас свойства и характеристики объекта-оригинала или объекта проектирования.

Примеры. Моделью Земли служит глобус, а звездного неба — экран планетария. Чучело животного есть его модель, а фотография на

паспорте или любой перечень паспортных данных - модель владельца паспорта.

Моделирование связано с выяснением или воспроизведением свойств какого-либо реального или создаваемого объекта, процесса или явления с помощью другого объекта, процесса или явления.

Моделирование — это построение, совершенствование, изучение и применение моделей реально существующих или проектируемых объектов (процессов и явлений).

Почему мы прибегаем к использованию моделей вместо попыток «прямого взаимодействия с реальным миром»? Можно назвать три основные причины.

Первая причина — сложность реальных объектов. Число факторов, которые относятся к решаемой проблеме, выходит за пределы человеческих возможностей. Поэтому одним из выходов (а часто единственным) в сложившейся ситуации является упрощение ситуации с помощью моделей, в результате чего уменьшается разнообразие этих факторов до уровня восприимчивости специалиста. Вторая причина — необходимость проведения экспериментов. На практике встречается много ситуаций, когда экспериментальное исследование объектов ограничено высокой стоимостью или вовсе невозможно (опасно, вредно, ограниченность науки и техники на современном этапе).

Третья причина — необходимость прогнозирования. Важное достоинство моделей состоит в том, что они позволяют «заглянуть в будущее», дать прогноз развития ситуации и определить возможные последствия принимаемых решений.

Среди других причин можно назвать следующие:

- исследуемый объект либо очень велик (модель Солнечной системы), либо очень мал (модель атома);

- процесс протекает очень быстро (модель двигателя внутреннего сгорания) или очень медленно (геологические модели);
- исследование объекта может привести к его разрушению (модель самолета, автомобиля).

### 1.1. Цели моделирования

Человек в своей деятельности обычно вынужден решать две задачи — экспертную и конструктивную.

В экспертной задаче на основании имеющейся информации описывается прошлое, настоящее и предсказывается будущее. Суть конструктивной задачи заключается в том, чтобы создать нечто с заданными свойствами.

Для решения экспертных задач применяют так называемые описательные модели, а для решения конструктивных — нормативные.

### 1.2. Описательное моделирование

Описательные модели (дескриптивные, познавательные) предназначены для описания свойств или поведения реальных (существующих) объектов. Они являются формой представления знаний о действительности.

Примеры. План города, отчет о деятельности фирмы, психологическая характеристика личности.

Можно назвать следующие цели описательного моделирования в зависимости от решаемых задач:

- изучение объекта (научные исследования) — наиболее полно и точно отразить свойства объекта;
- управление — наиболее точно отразить свойства объекта в рабочем диапазоне изменения его параметров;
- прогнозирование — построить модель, способную наиболее точно прогнозировать поведение объекта в будущем;

- обучение - отразить в модели изучаемые свойства объекта.

Построение описательной модели происходит по следующей схеме: наблюдение, кодирование, фиксация (рис. 1).

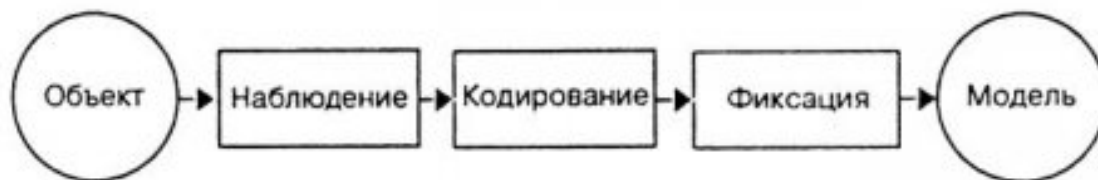


Рис. 1. Последовательность построения описательной модели.

Модель объекта можно построить, только наблюдая за ним. То, что мы наблюдаем, необходимо закодировать либо с помощью слов, либо символов, в частности, математических, либо графических образов, либо в виде физических предметов, процессов или явлений. И наконец, закодированные результаты наблюдения надо зафиксировать в виде модели.

Отражение свойств объекта в модели не является полным в силу разных причин: особенностей восприятия, наличия и точности измерительных приборов, потребности и, наконец, психического состояния субъекта. Если обозначить полную информацию об объекте через  $I_o$ , а воспринимаемую информацию —  $I_b$ , то отражение математически можно сформулировать следующим образом:

$$I_b = F(I_o),$$

где  $I_b \sqsubset I_o$ , или в линейном приближении (рис. 2):

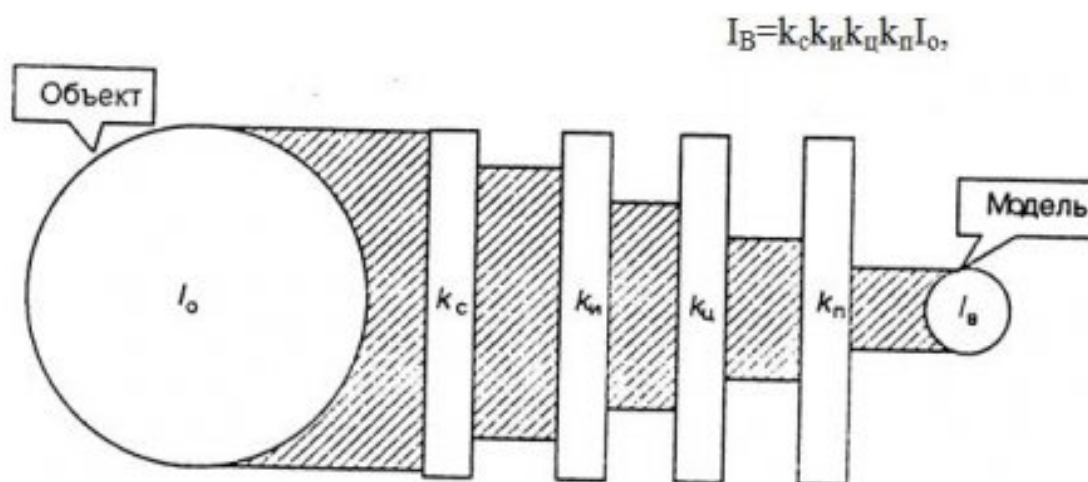


Рис. 2. Фильтрация информации об объекте.

где  $k_c$  – информационная проницаемость среды – свойство среды по передаче информации от объекта к субъекту ( $0 \leq k_c \leq 1$ );

$k_{и}$  – коэффициент измерительной способности (вооруженности) субъекта – способность субъекта воспринимать (измерять) информацию ( $0 < k_{и} < 1$ );

$k_{ц}$  – целевая избирательность субъекта – связана с потребностью в конкретных свойствах объекта ( $0 < k_{ц} < 1$ );

$k_{п}$  – психологическая избирательность субъекта – связана с его психологическим состоянием ( $0 < k_{п} \leq 1$ ).

Хотелось бы обратить внимание на субъективный характер моделей. Во все, что ни делает человек, в том числе и построение моделей, он вкладывает свою точку зрения. Это, в частности, может привести к тому, что мы принимаем свою точку зрения за единственную, а карту местности — за саму местность, которую она представляет. Существуют следующие субъективные факторы, влияющие на качество создаваемых моделей.

Избирательность. Модель строится на основании наблюдений за объектом, но человек замечает свойства объекта избирательно. На это влияют образование, мировоззрение, опыт, а также настроение, чувства, заботы и общее самочувствие. В результате формируется модель, не отвечающая целям моделирования.

Конструирование — обратный аналог избирательности: мы начинаем видеть то, чего нет. Мы заполняем пробелы в информации о мире, чтобы он приобрел некий смысл и предстал перед нами в том виде, каким, по нашему мнению, он должен быть. Длительная эволюция воспитала нас дополнять увиденные фрагменты до полного образа: если мы видим из-за дерева голову волка, то мысленно дорисовываем его туловище и хвост. Поэтому когда при исследовании объекта мы получаем неполную информацию о нем, то невольно заполняем информационные «пробелы», исходя из своего опыта. В результате можем получить модель, не адекватную объекту.

Искажение. Искажение проявляется в том, что мы строим модели окружающего мира, выделяя одни его составляющие за счет замалчивания других. В частности, искажение лежит в основе творческих способностей (поэта, художника, композитора) и некоторых болезней, например паранойи.

Обобщения. Пользуясь обобщением, мы создаем мысленные модели, взяв за основу один случай и обобщив его на все возможные случаи. Обобщение является основой статистических выводов, но при условии так называемой репрезентативной (представительной) выборки ситуаций. Опасность обобщения состоит в том, что, взяв какую-либо ситуацию, человек расценивает ее как типичную и распространяет извлеченные из нее выводы на все сходные, по его мнению, ситуации (что, в частности, и является основой суеверия).

Таким образом, не все свойства объекта нам доступны из-за свойств окружающей среды, а из доступных не все мы можем измерить или оценить. Из тех, что можем измерить, не все нам необходимы. Из необходимых свойств мы не все из них адекватно воспринимаем из-за психического состояния (невнимательности, субъективного предпочтения, страха и т. п.).

На основании воспринимаемой информации об объекте ИВ и формируется его образ, называемый моделью.

В заключение хотелось бы заметить, что для моделирования свойственны некоторые парадоксы. Поскольку к моделированию мы прибегаем из-за сложности изучаемого объекта, то модель заведомо проще оригинала. Целевая избирательность отсекает несущественные, на наш взгляд (!), качества объекта. Однако в процессе исследования никогда нет 100%-ной уверенности в том, что несущественные качества действительно являются несущественными с точки зрения конкретной исследовательской задачи, поэтому есть угроза «с водой выплеснуть ребенка».

Другой парадокс, который можно назвать парадоксом «одноразовой посуды», связан с тем, что каждая модель создается под определенную исследовательскую задачу и не всегда применима к решению других, какой бы привлекательной модель ни была. Распространенный в науке перенос моделей с одной задачи на другую далеко не всегда оправдан и обоснован.

### 1.3. Нормативное моделирование

Моделировать можно не только то, что существует, но и то, чего еще нет. Нормативные модели (прескриптивные, прагматические) предназначены для указания целей деятельности и определенного порядка (алгоритма) действий для их достижения.

Цель — образ желаемого будущего, т. е. модель состояния, на реализацию которого и направлена деятельность.

Алгоритм — образ (модель) будущей деятельности.

При нормативном моделировании обычно не используют слово «модель» — чаще говорят «проект», «план».

Примеры. Проекты машин, зданий; планы застройки; законы; уставы организаций и должностные инструкции, бизнес-планы, программы действий, управленческие решения.

\* \* \*

Подведем итог. Описательные модели отражают существующее, их развитие направлено на приближение модели к реальности (в структурном системном анализе такая модель называется моделью «Как есть» — «As-Is»).

Нормативные модели показывают не существующее, но желаемое. Здесь решается задача приближения реальности к модели, поскольку модель играет роль стандарта или образца, под который «подгоняются» как сама деятельность, так и ее результаты (в структурном системном анализе она называется моделью «Как должно быть» — «To-Be»).

## 2. Классификация моделей

Выше была рассмотрена классификация моделей по целевому назначению. Кроме того, познавательные и прагматические модели можно классифицировать по характеру выполняемых функций, форме, зависимости объекта моделирования от времени.

### 2.1. Функциональное назначение моделей

Можно выделить следующие функции, выполняемые моделями:

- исследовательская — применяется в научном познании;
- практическая — применяется в практической деятельности (проектировании, управлении и т. п.);
- тренинговая — используется для тренировки практических умений и навыков специалистов в различных областях;
- обучения — для формирования у обучаемых знаний, умений и навыков.

### 2.2. Формы представления моделей

Модели по форме бывают:

- физические — материальные объекты, имеющие сходство с оригиналом (модель самолета, которая исследуется в аэродинамической трубе; модель плотины);
- словесные (вербальные) — словесное описание чего-либо (внешность человека, принцип работы устройства, структура предприятия);
- графические — описание в виде графических изображений (схемы, карты, графики, диаграммы);
- знаковые — описание в виде символов и знаков (дорожные знаки, условные обозначения на схемах, математические соотношения). Разновидностью знаковых моделей являются математические модели.

Математическая модель (или математическое описание) - это система математических соотношений, описывающих изучаемый процесс или явление.

Примеры математических моделей:  $X > 5$ ;  $U = IR$ ;  $34y + 5x = 0$ .

\* \* \*

Следует обратить внимание на то, что естественные языки, на которых говорят различные народы, являются своеобразными моделями мира. Язык не только обозначает объекты, воспринимаемые, представляемые или мыслимые, но он организует наше восприятие, наши представления и наше понимание мира. Говоря об объектах, процессах, явлениях мира (внешнего или внутреннего, реального или воображаемого, воспринимаемого или мыслимого), мы пропускаем его через «сита» языка. Организующая роль языка сразу становится явной, когда обнаруживается, что разные языки по-разному организуют вселенную и, соответственно, ее восприятие, представление и понимание.

Язык отражает в своей структуре определенные действительные свойства и отношения реальности. Он устроен так, как устроен реальный мир. Но мир бесконечно богаче любой своей ограниченной модели, в том числе и языка. Структура действительности имеет многие всеобщие свойства и отношения. Язык отражает в своих лингвистических значениях только некоторые из этих свойств и отношений. И человек волей-неволей начинает воспринимать и представлять реальность преимущественно в рамках этих категорий.

Язык конкретной предметной области (ее тезаурус) также является моделью этой предметной области. Исследование этого языка стало частью системных исследований, что нашло свое воплощение в онтологическом анализе.

### 3. Виды моделирования

Моделирование широко распространено, поэтому достаточно полная классификация возможных видов моделирования крайне затруднительна хотя бы в силу многозначности понятия «модель», широко используемого не только в науке и технике, но и, например, в искусстве. Применительно к естественно-техническим, социально-экономическим и другим наукам принято различать следующие виды моделирования:

- концептуальное моделирование, при котором с помощью некоторых специальных знаков, символов, операций над ними или с помощью естественного или искусственного языков истолковывается основная мысль (концепция) относительно исследуемого объекта;
- интуитивное моделирование, которое сводится к мысленному эксперименту на основе практического опыта работников (широко применяется в экономике);
- физическое моделирование, при котором модель и моделируемый объект представляют собой реальные объекты или

процессы единой или различной физической природы, причем между процессами в объекте-оригинале и в модели выполняются некоторые соотношения подобия, вытекающие из схожести физических явлений;

- структурно-функциональное моделирование, при котором моделями являются схемы, (блок-схемы), графики, чертежи, диаграммы, таблицы, рисунки, дополненные специальными правилами их объединения и преобразования:

- математическое (логико-математическое) моделирование, при котором моделирование, включая построение модели, осуществляется средствами математики и логики;

- имитационное (программное) моделирование, при котором логико-математическая модель исследуемого объекта представляет собой алгоритм функционирования объекта, реализованный в виде программного комплекса для компьютера.

Перечисленные выше виды моделирования не являются взаимоисключающими и могут применяться при исследовании сложных объектов либо одновременно, либо в некоторой комбинации. Отдельно следует сказать о компьютерном моделировании, являющемся развитием имитационного моделирования.

Компьютерное моделирование. Первоначально под компьютерным моделированием (или, как говорили, моделированием на ЭВМ) понималось лишь имитационное моделирование. Исторически случилось так, что первые работы по компьютерному моделированию были связаны с физикой. Затем разработанные подходы распространились на задачи химии, электроэнергетики, биологии и некоторые другие дисциплины, причем схемы моделирования не слишком отличались друг от друга. Этот вид моделирования все еще широко распространен и в научных, и прикладных исследованиях.

Однако сегодня понятие «компьютерное моделирование» чаще связывают не с фундаментальными дисциплинами, а в первую очередь с системным анализом. Следует заметить, что компьютер может быть весьма полезен при всех видах моделирования (за исключением физического моделирования, где компьютер тоже может использоваться, но, скорее, для целей управления процессом моделирования). Изменилось и понятие компьютерной модели. Раньше под компьютерной моделью чаще всего понимали имитационную модель — отдельную программу, совокупность программ или программный комплекс, позволяющий с помощью последовательности вычислений и графического отображения их результатов воспроизводить (имитировать) процессы функционирования объекта. В настоящее время под компьютерной моделью чаще всего понимают структурно-функциональную модель — условный образ объекта, описанный с помощью взаимосвязанных компьютерных таблиц, блок-схем, диаграмм, графиков, рисунков, анимационных фрагментов, гипертекстов и отображающий структуру и взаимосвязи между элементами объекта.

Таким образом, мы видим, что понятие «компьютерное моделирование» значительно шире традиционного понятия «моделирование на ЭВМ» и нуждается в уточнении, учитывающем сегодняшние реалии.

Компьютерное моделирование - это метод решения задачи анализа или синтеза объекта на основе использования его компьютерной модели.

Суть компьютерного моделирования заключена в получении количественных и качественных результатов по имеющейся модели. Качественные выводы, получаемые по результатам анализа, позволяют обнаружить неизвестные ранее свойства объекта.

Количественные выводы в основном носят характер прогноза некоторых будущих или объяснения прошлых значений переменных, характеризующих систему.

Предметом компьютерного моделирования могут быть: экономическая деятельность фирмы или банка, промышленное предприятие, информационно-вычислительная сеть, технологический процесс, любой реальный объект или процесс, например процесс инфляции. Цели компьютерного моделирования могут быть различными, однако наиболее часто моделирование является, как уже отмечалось ранее, центральной процедурой системного анализа.

#### Резюме

1. Необходимость фиксации информации об объекте исследования или проектирования для хранения и передачи в пространстве или времени приводит к задаче моделирования.

2. Моделирование направлено на построение, совершенствование, изучение и применение моделей реально существующих или проектируемых объектов.

3. Модель представляет собой упрощенное подобие объекта, которое воспроизводит только интересующие нас свойства.

4. Необходимость моделирования связана со многими причинами, основные из которых: сложность изучаемых объектов, необходимость экспериментировать и прогнозировать, несоответствие пространственных и временных масштабов объекта и наших возможностей.

5. В практической деятельности применяются два основных вида моделей: описательные — для описания свойств реально существующих объектов и нормативные — в задачах проектирования новых объектов.

6. Описательные модели применяются для научных исследований, управления, прогнозирования и обучения.

7. При описательном моделировании, в силу объективных (ограниченной информационной проницаемости среды и ограниченной измерительной возможности) и субъективных (в силу целевой и психологической избирательности) ограничений, происходит лишь частичное отражение информации об объекте в модели. Исходя из этого, модель всегда проще оригинала и есть опасность, что в модели не отражены важные для целевой задачи свойства.

8. Психологическая избирательность связана с такими факторами, как избирательность, конструирование, искажение и обобщение.

9. Основные функции моделей: исследовательская, практическая, тренинговая и учебная.

По форме модели бывают: физические, вербальные, графические и знаковые. При этом математические модели являются разновидностью знаковых.

10. Из основных видов моделирования, применяемых в естественно-технических, социально-экономических и других науках, различают: концептуальное, интуитивное, физическое, структурно-функциональное, логико-математическое и имитационное (программное). Особое место сегодня занимает компьютерное моделирование.

## Вопрос №19

### Модели в системном анализе.

Модели в системном анализе занимают центральное место. Они помогают представить систему в удобном для исследования виде и выступают в качестве основного инструмента проектирования. В зависимости от стадии и целей исследования или проектирования применяются аксиологическое или каузальное представления системы.

Аксиологическое представление системы – это отображение системы в терминах целей и функций (функционалов), связывающих цели со средствами их достижения.

Каузальное представление системы – это описание системы в терминах влияния одних переменных на другие.

Сложно выстроить порядок применения того или иного представления. Обычно представление системы начинается с идентификации целевых выходов ( $y$ ). Затем выясняются входные факторы, оказывающие существенное влияние на целевые выходы. При этом важно сразу разделить входы на три группы: возмущения ( $x$ ), управления ( $u$ ) и помехи ( $\varepsilon$ ). После этого выясняется наличие побочных эффектов – нецелевых выходов, оказывающих значимое влияние на окружающую среду.

Аксиологическое представление позволяет оценить (спроектировать) возможности и средства влияния на выходы системы со стороны субъекта.

Примеры:

1. “Дерево целей”.
2. Кибернетическая модель  $y = F(u)$ .

Каузальное (от cause - причина) представление подразумевает установление причинно-следственных отношений в терминах «вход-выход», а также оценку влияния элементов системы друг на друга (без употребления понятий цели и средств ее достижения). При этом будущее состояние системы определяется ее предыдущими состояниями и воздействиями среды, в том числе и со стороны субъекта управления.

Примеры:

1. Кибернетическая модель статики  $y = F(x, u)$ .
2. Модель динамики  $y'(t) = F(y(t), x(t), u(t))$ .

### ***1. Задачи и проблемы принятия решения***

Как говорилось ранее, любая деятельность направлена на достижение определенных целей. При этом проблемность обычно заключается в выборе средств достижения цели при заданном множестве ограничений. Если такой выбор очевиден или однозначен, то мы имеем дело с задачей принятия решения (проблема как таковая отсутствует), в противном случае говорят о «проблеме принятия решения».

Главной целью системного анализа можно считать оказание помощи в понимании и решении имеющейся проблемы путем перевода проблемы, которая возникает при проектировании или управлении, в задачу принятия решения (задачу выбора), т. е. ведет к постановке такой задачи ("поставленная задача — наполовину решенная задача"). Поставить задачу означает, прежде всего, понять ее условия, что достигается путем выбора соответствующего представления (описания), т. е. модели. При этом стремятся к наибольшей формализации представления, что уменьшает неполноту, избыточность и неоднозначность в понимании объекта.

В случае представления задачи в виде математической модели область поиска решения хорошо определена и чаще всего основная трудность решения уже выявлена. В этом случае говорят о задаче в замкнутой форме или замкнутой формулировке задачи. В наиболее общем виде условия задачи принятия решения математически могут быть записаны следующим образом.

В заданном множестве средств достижения цели  $U$  найти (выбрать) точки  $u^*$  (рис. 1), удовлетворяющие заданному множеству критериев  $Q(u)$  и множеству ограничений, выражаемых в виде области допустимых значений  $\Omega(u)$ .

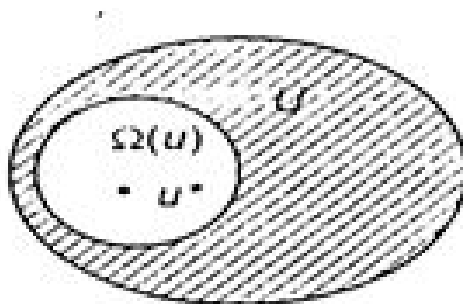


Рис. 1. Поиск решения во множестве средств достижения цели ( $U$ ) и ограничений ( $\Omega$ )

Если удастся формализовать исходную проблему, т. е. свести ее к задаче, решение которой базируется на законах физики, химии и других фундаментальных областей знаний, или когда задача может быть поставлена в терминах конкретного класса прикладных задач, для которого разработан соответствующий математический аппарат, применять термин «проблема принятия решения» нет необходимости.

Задача принятия решения становится проблемой, когда для постановки задачи и ее решения не может быть сразу определен подходящий аппарат формализации - требуется разработка специальных подходов, приемов и методов. При этом процесс

постановки задачи часто требует участия специалистов различных областей знаний. В таких случаях возникает необходимость:

- определить область проблемы принятия решения (границы системы);
- выявить факторы, влияющие на ее решение (входы системы и внутренние факторы, влияющие на целевой выход);
- подобрать приемы и методы, которые позволяют сформулировать или поставить задачу таким образом, чтобы решение было принято.

Поясним процесс формализации задачи принятия решения на примере задачи по перемещению из одного пункта в другой.

Пример. В терминах проблемы принятия решения эту задачу можно представить следующим образом:

- задана цель — переместить груз из В в А;
- имеются возможные средства  $U = \{U_m, U_T\}$ :  $U_m = \{M_1, M_2, \dots\}$  - маршруты;  $U_T = \{T_1, T_2, \dots\}$  - различные транспортные средства доставки грузов;
- необходимо найти такое  $u^* \in U$ , которое обеспечит достижение цели.

Если не известен набор средств для достижения цели (U), то имеет место задача с неопределенностью, и задачи принятия решений нет. Ее также нет, если нет дополнительных требований, т. е. безразлично, какой маршрут и какие транспортные средства выбирать. Она возникает, когда появляется критерий (или несколько критериев), отражающий требования к достижению цели.

В качестве критерия в рассматриваемой задаче можно, например, принять время ( $Q = t$ ). Тогда возможны следующие критерии:

- $Q_1 = t_{\text{зад}}$  — достичь пункта А за заданное время;

- $Q_2 < t_{\text{зад}}$  — достичь пункта А до заданного времени;
- $Q_3 \rightarrow \min$  — достичь пункта А за минимальное время.

Для решения задачи нужно определить взаимосвязь цели со средствами ее достижения  $Q = F(U)$ . В данной задаче критерием достижения цели является время в пути ( $t$ ), а средствами ее достижения:

- маршрут — оценивается длиной пути  $L$ ,
- транспорт — оценивается скоростью  $v$  транспортного средства, в простейшем случае — средней скоростью.

В данном случае в качестве выражения, связывающего цель со средствами  $Q = F(U)$ , можно использовать закон движения  $t = F(L, v)$ , который в случае равномерного прямолинейного движения имеет вид  $t = L/v$ .

Если такое выражение получено, то проблема свелась к задаче принятия решения: варьируя либо  $v$  при  $L = \text{const}$ , либо  $L$  при  $v = \text{const}$ , либо  $v$  и  $L$  одновременно, можно получить варианты решения и выбрать из них наиболее приемлемый.

При постановке рассматриваемой задачи могут быть учтены не только основные требования, отражаемые с помощью критерия, но и дополнительные, которые могут выступать в качестве ограничений  $\Omega(i)$ . В данной задаче это могут быть затраты на создание, аренду или приобретение средств транспортировки грузов, особые требования к перевозке бьющихся грузов и т. п.

Таким образом, для принятия решения необходимо получить аксиологическое описание проблемы - выражение, связывающее цель со средствами ее достижения. Такие выражения получили в разных прикладных направлениях различные названия: критерий функционирования, критерий или показатель эффективности, целевая или критериальная функция, функция цели и т. п.

В зависимости от изученности проблемной ситуации возможны различные подходы к формированию целевой функции.

1. Если удастся получить выражение, связывающее цель со средствами, то задача практически всегда решается. Получить такие выражения легко, если известен закон, позволяющий связать цель со средствами:  $Q = F(U)$ . Эти выражения могут представлять собой не только простое соотношение, подобное рассмотренному выше, но и более сложные, составные критерии.

Пример. В нашем случае цель однозначно связывается со средствами законом движения:

$$t = L/v.$$

2. Если закон не известен, то стараются определить закономерности на основе статистических исследований или исходя из наиболее часто встречающихся на практике функциональных зависимостей.

Пример. В случае выбора дороги с различным покрытием, необходимо найти влияние качества покрытия дорожного полотна  $k_p$  на длительность движения:  $t = F(k_p)$ . Для определения этой закономерности надо провести соответствующий эксперимент на участках дороги с различным покрытием.

3. Если не удастся установить закономерность, то выбирают или разрабатывают теорию, в которой содержится ряд утверждений и правил, позволяющих сформулировать концепцию и конструировать на ее основе процесс принятия решения.

Пример. Если в качестве средства достижения цели будем учитывать время суток, в которое производится движение, то здесь мы не имеем ни закона, ни закономерности влияния времени суток на время движения. К тому же, нет возможности провести эксперимент для установления соответствующей зависимости. Тогда за основу

берется теория, из которой следует, что ночью уменьшается количество машин на дороге, что позволяет преодолеть расстояние от пункта А до пункта В быстрее.

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

Пример. Если мы решаем задачу подбора водителя для наших перевозок, то выдвигается гипотеза о том, что на время перевозки влияет стаж работы водителя. Закона нет, поставить эксперимент по установлению такой закономерности не представляется возможным, теории нет, нет даже уверенности, что такое влияние имеет место. Исходя из имеющихся знаний, строится некоторая имитационная модель, которая и служит основой для принятия решения.

Существуют и другие трудности формализации целевой функции. Иногда могут варьироваться не только средства достижения цели, критерии и ограничения, но и сами цели, если результат достижения не приводит к удовлетворению потребностей лица, принимающего решения.

Кроме того, в числе критериев могут быть и принципиально не формализуемые, например, комфорт для пассажиров.

Пример. Если целью является комфорт, то можно выбрать такси вместо общественного транспорта, а при передвижении между населенными пунктами иногда лучше выбрать более длинную, но асфальтированную дорогу, чем более короткую, но ухабистую.

При решении задач проектирования, реорганизации или управления сложными системами, в частности экономическими объектами, требуется учитывать большое число факторов различной природы, являющихся предметом исследования различных областей знаний. В этих условиях один человек не способен ни поставить

задачу, ни решить ее — проблема принятия решений становится проблемой коллективного выбора целей, критериев, средств и вариантов достижения цели, т. е. проблемой коллективного принятия решения.

Принятие решений в системах управления (в политике, экономике, в военной и других областях) часто связано с дефицитом времени: «лучше принять не самое хорошее решение, но в требуемый срок, так как в противном случае лучшее решение может уже и не понадобиться». Поэтому решение часто приходится принимать при не полностью определенной постановке задачи, в условиях дефицита информации о системе, ресурсах (средствах), ограничениях и целях.

Вот в этих проблемных ситуациях на помощь приходят системные представления, системный подход и методы системного анализа.

## ***2. Методы моделирования систем***

Постановка любой задачи заключается в том, чтобы по возможности перевести ее словесное, вербальное, описание в формальное. Вопросы формирования модели сложных объектов и доказательство их адекватности и являются основным предметом системного анализа.

Существующие методы формирования моделей представляют собой некий спектр методов, дающих различную степень формализации. Проранжировав их по этому свойству, можно построить некую условную шкалу методов (рис. 2).

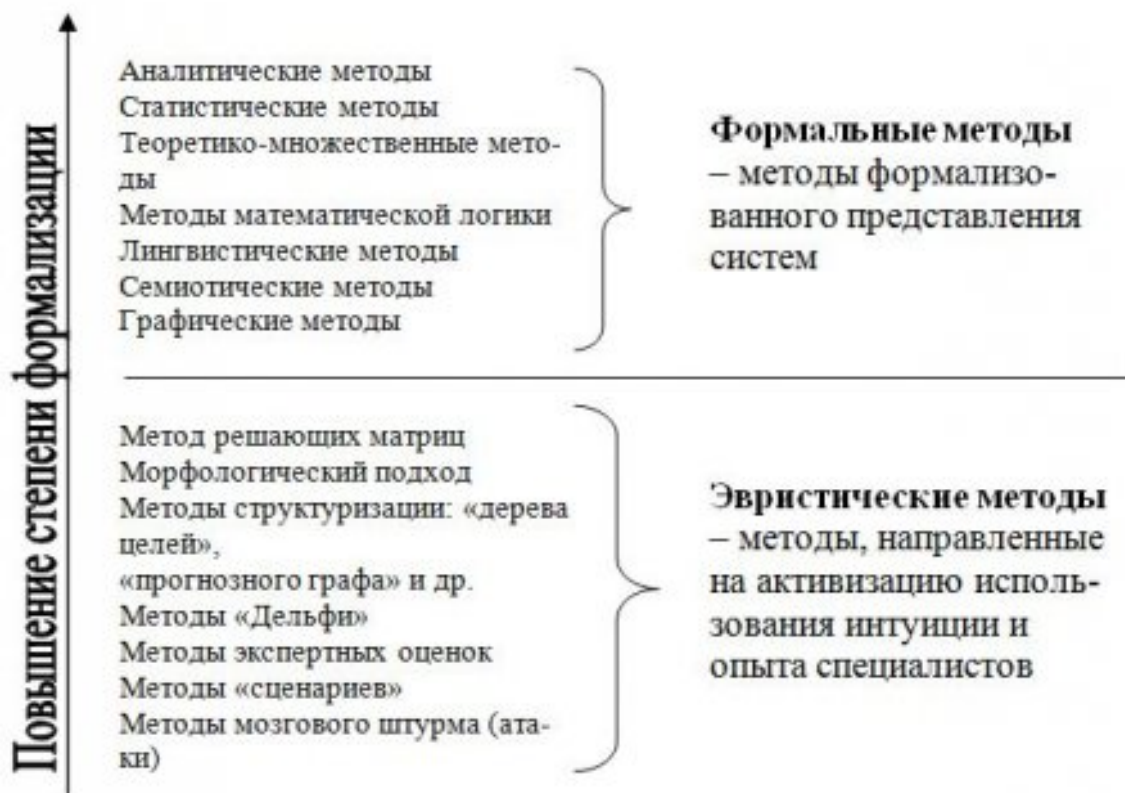


Рис. 2. Шкала методов.

Этот «спектр» методов разделяют примерно в середине на два больших класса:

- методы формализованного представления систем (для простоты будем называть их формальными методами);
- методы, направленные на активизацию использования интуиции и опыта специалистов (для простоты будем называть их эвристическими методами).

Необходимо отметить, что строгого деления на формальные и неформальные методы не существует. Можно говорить только о большей или меньшей степени формализованности или, напротив, большей или меньшей опоре на интуицию, «здравый смысл». (Системный анализ иногда определяют как «формализованный здравый смысл».) К тому же сам порядок расположения методов в виде вышеназванной шкалы является не бесспорным, однако любая классификация заведомо лучше ее отсутствия.

Серьезные проблемы возникают при построении моделей экономических объектов. Экономические системы слишком сложны, чтобы получить их полные адекватные модели.

И здесь следует согласиться с В.Н. Спицнаделем, что вербальная модель лучше, чем отсутствие модели; она лучше математической модели, которая «насаждает фальсифицированную реальность»; «вероятно лучше иметь сначала какую-то нематематическую модель со всеми ее недостатками, но охватывающую некоторый незамеченный ранее аспект исследуемой реальности, чем начинать со скороспелых математических моделей».

Рассмотрим краткий обзор методов моделирования (подробное описание сущности вышеназванных и других методов моделирования, применяемых в системных исследованиях, можно найти в книгах).

2.1. Методы формализованного представления систем  
Формальные методы можно разбить в соответствии с классификацией Ф.Е. Темника на следующие группы методов.

1. Аналитические методы:

- методы классической математики, включая интегро-дифференциальное исчисление, методы поиска экстремумов функций, вариационное исчисление и т. п.;

- методы математического программирования;

- первые работы по теории игр и т. п.

2. Статистические методы:

- теоретические разделы математики: теорию вероятностей, математическую статистику;

- направления прикладной математики, использующие стохастические представления: теорию массового обслуживания, методы статистических испытаний (основанные на методе Монте-Карло), методы выдвижения и проверки статистических гипотез А.

Вальда и другие методы статистического имитационного моделирования.

3. Методы дискретной математики: теоретико-множественные, логические, лингвистические, семиотические представления (методы);

4. Графические методы, включающие теорию графов и разного рода графические представления информации типа диаграмм, гистограмм и других графиков.

К графическим методам можно отнести методы структурного системного анализа и объектного моделирования.

2.2. Методы, направленные на активизацию использования интуиции и опыта специалистов

Эти методы активизируют выявление и обобщение мнений опытных специалистов — экспертов, которые вырабатывают экспертные оценки.

Эксперт - это квалифицированный специалист в исследуемой области.

Экспертные оценки — это количественные и качественные оценки процессов и явлений, выполняемые экспертами на основе суждений.

В теории систем был период, когда все неформальные методы называли эвристическими, отождествляя этот термин с термином «экспертные методы» в широком смысле.

Эвристика — это

а) совокупность логических приемов и методических правил теоретического исследования и отыскания истины, выведенных эмпирически, полезность которых обоснована лишь тем, что они во многих (хотя и не во всех) случаях приводят к успеху;

б) эмпирическое правило, упрощающее или ограничивающее поиск решений в (сложной) предметной области.

Эвристические методы — это методы решения задач, основанные на эвристике или эвристическом рассуждении, т. е. на использовании правил и приемов, обобщающих, прошлый опыт, и интуиции решающего.

Однако впоследствии для методов, которые используются как средства работы с экспертами, в качестве обобщающего названия был предложен термин «методы, направленные на активизацию интуиции и опыта специалистов». На сегодняшний день разработано довольно много таких методов, часть из них является расширением или дополнением некоторых «базовых» методов.

Как вариант классификации методов, направленных на активизацию интуиции и опыта специалистов, их можно сгруппировать таким образом:

- методы индивидуальной экспертизы;
- методы групповой экспертизы (метод номинальных групп, методы типа «мозговой атаки» или коллективной генерации идей, метод «635», метод критической атаки или «разносная» атака);
- методы выработки коллективных решений (экспертное фокусирование, метод комиссий, метод интеграции решений, «Консилиум», метод SWOT-анализа, метод анализа конкретных ситуаций, Балинтова сессия, метод «метаплан», метод «за — против», метод Дельбека, метод ролей, блочные методы, дискуссия с разделением интеллектуальных функций, методы типа «сценариев», методы типа «Дельфи», метод синектики);
- методы структуризации;
- морфологические методы (метод отрицания и конструирования, метод систематического покрытия поля, метод морфологического ящика и др.):

- методы организации сложных экспертиз (методика ПАТТЕРН, метод решающих матриц). Более подробно с указанными методами можно познакомиться в книге или в Интернете.

### 3. Математические модели

Рассмотрим постановку задачи и алгоритмы решения задач построения математических моделей аналитическими и статистическими методами.

#### 3.1. Постановка задачи построения математической модели

Рассмотрим задачи построения модели в следующей постановке. Пусть имеется некоторый объект с  $m$  входами  $X = (x_1, \dots, x_m)$  и одним выходом  $y$ , связанными некоторой функциональной зависимостью

$$y = F(X, A) + \varepsilon,$$

где  $A = (a_1, \dots, a_m)$  – вектор коэффициентов (параметров);  $\varepsilon$  – помехи.

Необходимо по выборке из  $k$  значений  $W = \{w^1, \dots, w^i, \dots, w^k\}$ , где  $w^i = \{y_j^i, X^i\}$ , найти такое функциональное преобразование, чтобы минимизировать некоторый критерий рассогласования модели

и объекта (критерий качества модели):  $D_F \rightarrow \min_{F \in f}$ , где  $F$  – функциональное преобразование (фактически структура математической модели),  $f$  – множество возможных преобразований (структур моделей).

#### 3.2. Проблемы построения модели

В задаче построения математической модели возникает ряд проблем, среди которых можно выделить следующие:

- выбор структуры модели (функции  $F(X, A)$ );
- оценивание вектора коэффициентов модели  $A$ ;
- выбор критерия оценки качества модели  $D$ .

Все эти задачи тесно связаны между собой: выбирая структуру модели, надо оценивать ее качество, а чтобы оценить качество модели, необходимо предварительно найти ее коэффициенты.

Выделяют следующие методы построения математических моделей:

- аналитический;
- статистический (экспериментальный);
- экспериментально-аналитический.

Аналитические модели (их иногда называют «физическими») строятся исходя из анализа объекта и известных законов (физики, химии, экономики и т.п.). Очень часто такие модели строят «за столом», т. е. даже не видя объекта исследования.

Экспериментальные модели строятся на основе экспериментальных данных, полученных с объекта исследования. Фактически используется метод «черного ящика.», при котором математические модели строятся на основании наблюдений за входными и выходными переменными.

Построение математических моделей по результатам наблюдения входных и выходных переменных объекта получило название "идентификация".

Первоначально термин «идентификация» использовался для задачи оценивания динамических характеристик по экспериментальным данным. Затем понятие идентификации было расширено и на определение статических характеристик. При этом определяются не только коэффициенты модели (идентификация в узком смысле), но и ее структура (структурная идентификация).

Однако, как показывает практика, ни тот ни другой подход не используется в чистом виде: при построении аналитических моделей приходится их подстраивать по данным эксперимента, а в

экспериментальных моделях закладываются некоторые априорные сведения об объекте (применяется так называемый метод «серого ящика»). Поэтому наиболее распространен экспериментально-аналитический подход, когда исходная структура модели строится на основании анализа процессов в системе, а коэффициенты определяются по экспериментальным данным.

### 3.3. Выбор структуры модели

Уточним постановку задачи структурной идентификации. Будем считать, что нам ничего не известно о структуре истинной зависимости  $F$ . Тогда при  $t$  входных переменных теоретически может существовать бесконечное количество структур  $F(X, A) \neq f$ . Поскольку нам не известна структура  $F^0$ , то, если даже мы найдем такую  $F$ , которая равна  $F^0$ , мы не узнаем об этом. Таким образом, задача напоминает поиск иголки в стоге сена, только... наш «стог сена» бесконечен по размерам и мы не знаем в лицо «иголку».

Решение любой задачи выбора состоит из двух подзадач: «генерация» альтернатив и формирование критерия выбора наилучшей из них. В отношении структуры модели эти подзадачи можно сформулировать как необходимость:

- разработать алгоритм «генерации» (перебора) структур;
- сформировать критерий оценки качества структуры (качества модели).

### 3.4. Методы и алгоритмы выбора структур моделей

Методы шаговой регрессии. Основная идея шаговой (иногда говорят пошаговой) регрессии заключается в гипотезе о том, что искомую структуру можно найти, трансформируя модель путем следующих последовательных действий:

- 1) добавления к модели наиболее значимых по некоторому критерию переменных (метод включения, или «присоединения»);

2) исключения незначимых по некоторому критерию переменных (метод исключения, или «удаления»);

3) добавления наиболее значимых переменных при одновременном исключении незначимых (метод добавления-исключения, или «присоединения-удаления»).

В качестве добавляемых (удаляемых) переменных могут выступать не только сами исходные переменные  $x_1, \dots, x_m$ , но и функции от них  $f_l(x_1, \dots, x_m), l = 1, 2, \dots$ , например:  $x^2, \ln(x), x_i x_j$ .

Частным случаем функций можно считать и функции вида:  $f_i(x_1, \dots, x_m) = x_i, i = 1, \dots, m$ . Таким образом, с помощью шаговой регрессии можно строить нелинейные (нелинейные по переменным, но линейные по параметрам) математические модели вида

$$y = a_0 + \sum_i a_i f_i(x_1, \dots, x_m).$$

1. Метод включения начинает свою работу с выбора наиболее значимой (по некоторому критерию) переменной (функции) из списка:  $f_l(\cdot), l = 1, \dots, L$ . Затем из оставшихся переменных выбирается наиболее значимая и включается в модель. И так до тех пор, пока улучшается качество модели. Качество последней во многом зависит от порядка вхождения переменных в модель, который, в свою очередь, определяется используемым критерием включения. Поскольку между переменными практически всегда имеется ненулевая корреляционная зависимость, то не выполняется правило аддитивности. В результате переменная, значимая на предыдущих шагах, может стать незначимой на последующих, и ее присутствие может препятствовать включению в модель другой, более значимой переменной. Эта особенность ограничивает возможность метода включения.

2. Метод исключения первоначально рассматривает модель, в которую включены все имеющиеся  $L$  входных переменных. Затем из них последовательно исключаются незначимые (по некоторому критерию) переменные до тех пор, пока улучшается качество модели. Структура конечной модели может совпадать со структурой, полученной по методу включения, но для сложных моделей это скорее исключение, чем правило. Данному методу присущ недостаток метода включения: исключенные на предыдущих шагах переменные могут оказаться значимыми после исключения других переменных. Кроме того, к недостаткам можно отнести и повышенные требования к вычислительным ресурсам при работе с массивами большого размера на первых шагах алгоритма, а при небольших выборках экспериментальных данных — алгоритм может вообще не работать (например, если  $k < L$ ).

3. Объединение вышеназванных методов дает метод включения-исключения, в основе которого лежит метод включения, но дополнительно на каждом шаге алгоритма происходит проверка переменных на значимость: незначимые переменные исключаются из модели. При кажущейся эффективности такого подхода метод не дает уверенности в оптимальности найденной структуры. В работе предложен алгоритм, автоматически выбирающий порог исключения переменных, что частично решает проблему выбора соответствующего критерия, но опять же не гарантирует нахождения глобального экстремума.

Метод эволюционной идентификации. Стохастической разновидностью шаговой регрессии является метод эволюционной идентификации, в котором переменные для включения в модель выбираются с помощью генератора случайных чисел с заданным законом распределения.

Рассмотрим работу метода на примере следующего алгоритма. С помощью генератора случайных чисел из множества исходных входных переменных  $X$  выбирается переменная  $x_j$  (с вероятностью,

равной  $w_j^x / \sum_{j=1}^m w_j^x$ , где  $w_j^x$  - вес  $q$ -й переменной). Веса  $w_j^x$  и  $w_q^p$

задаются в начале счета и в дальнейшем могут изменяться (адаптироваться) в зависимости от его промежуточных результатов. В

частности, при исключении функции  $f_q(x_j)$  из модели происходит

корректировка весов в сторону их уменьшения:

$$\begin{aligned} w_j^x &= w_j^x - \Delta w^x; \\ w_q^p &= w_q^p - \Delta w^p \end{aligned}$$

где  $\Delta w^x$  и  $\Delta w^p$  - заданные уровни «наказания». Таким образом, происходит адаптация весов к конкретным данным. В результате переменные и функциональные преобразования, имеющие большой вес, будут чаще участвовать в синтезе структуры модели.

Если образовавшаяся функция  $f_q(x_j)$  отсутствует в модели и ее включение улучшает критерий качества  $D$ , то она остается в модели. После этого производится поочередное исключение переменных из нее. В результате исключаются все переменные, отсутствие которых приводит к улучшению  $D$ .

Метод группового учета аргументов (МГУА). Сложно говорить о МГУА как о конкретном методе, поскольку начиная с 1968 г. разработаны десятки его разновидностей. В МГУА можно выделить два направления: комбинаторные и селективные (еще их называют многорядными) алгоритмы.

В комбинаторном алгоритме сначала рассматривается множество моделей от одной переменной:

$$y_r = a_0 + a_1 z_r, \text{ где } z_r \in \{x_i, x_i x_j : i, j = 1, \dots, m\}.$$

Затем рассматривается множество всех возможных моделей от двух переменных:

$$y_v = a_0 + a_1 z_r + a_2 z_v.$$

Далее от трех и так до тех пор, пока улучшается критерий D. Возможности комбинаторного алгоритма ограничены возможностями вычислительной техники, поскольку ввод одной дополнительной входной переменной увеличивает время счета примерно вдвое. В селективном алгоритме на первом шаге (ряду алгоритма) рассматриваются все возможные модели (так называемые частные описания) вида

$$y_r^1 = \varphi(z_1, \dots, z_l) = a_0 + a_1 z_i + a_2 z_j \text{ или } y_r^1 = a_0 + a_1 z_i + a_2 z_j + a_3 z_i z_j + a_4 z_j^2 + a_5 z_i^2.$$

Затем по некоторому критерию из них отбирается подмножество из V наиболее значимых частных описаний, которые в следующем ряду алгоритма играют роль входных переменных:

$y_v^2 = \varphi(y_1^1, \dots, y_r^1, \dots), v = 1, \dots, V$ , и так до тех пор, пока улучшается качество модели.

3.5. Выбор критерия оценки качества модели  
Различные алгоритмы порождают необходимость определиться с множеством различных критериев. В частности, необходимо выбрать критерий включения переменных в модель и их исключения, критерий останова алгоритма и критерий оценки окончательной модели.

Не вдаваясь в проблемы отдельных алгоритмов, рассмотрим вопрос останова шаговых процедур (все описанные выше методы имеют шаговую технологию). Общий принцип останова шаговых алгоритмов структурной идентификации следующий: расчеты надо прекращать, когда дальнейшая работа алгоритма не приводит к улучшению качества модели. Отсюда следует общность критериев останова и качества модели.

Что такое «хорошая модель»? В идеале следовало бы стремиться к близости операторов  $F$  и  $F^\circ$ , однако истинную функцию объекта  $F^\circ$  мы не знаем и, как правило, никогда не узнаем.

Как известно, критерий оценки качества модели зависит от ее назначения. Например, если предполагается использовать модель для управления или прогнозирования, то необходима высокая прогностическая способность модели — на одни и те же входные воздействия модель и объект должны давать близкие результаты на выходе. Если модель используется в системе измерений, то целью является минимум максимального отклонения значений модели и объекта. Если необходимо построить распознающую систему, то в качестве критерия берут ошибку распознавания — отношение правильных ответов к общему их числу.

Если ограничиться задачей управления, то в основу искомого критерия останова можно заложить требование близости значений выхода модели  $y^m$  и объекта  $y$  при одинаковых значениях входных переменных  $X^i \in X, i = 1, \dots, k$ , где  $X$  — рабочая область изменения входных переменных:

$$D(y, y^i) \rightarrow \min_{F \in f}.$$

Наиболее распространен следующий критерий оценки качества модели:

$$D(y, y^i) = \sum_{i=1}^k (y_i - y_i^i)^2.$$

В приведенном виде среднеквадратичная ошибка отклонения рассчитывается в процентах от среднего значения

$$\bar{y} : D = \frac{1}{y} \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (y_i - y_i^i)^2} \cdot 100\%.$$

Все критерии останова, алгоритмов структурной идентификации (они же критерии качества модели), за исключением

критерия достижения заданного числа входных переменных в модели и ему подобных, можно разбить на две группы: внутренние и внешние. Внутренние критерии вычисляются на основании данных, участвующих в построении модели, а внешние — на основании дополнительных данных.

К внутренним критериям, в первую очередь, следует отнести остаточную ошибку модели — сумму отклонений (абсолютных или квадратов разностей) значений выходных переменных объекта и модели. Далее следует назвать коэффициент детерминации (квадрат множественного коэффициента корреляции  $R^2$ ), приведенную остаточную ошибку, приведенный  $R^2$  и критерий Марллоуса  $C_p$ , а также другие критерии.

Более надежным представляется использование нескольких выборок данных: по одним выборкам строится модель, а по другим — оценивается ее качество. Идея использования дополнительных данных для оценки качества моделей высказывается давно и кажется даже очевидной. По этому поводу Р.Д. Спи (R.D. Snee) считает, что, «хотя эти идеи не являются новыми, им не уделено соответствующего внимания в статистической литературе». В ряде работ дополнительные экспериментальные данные (экзаменационные точки) предлагается применять для оценки качества готовых моделей.

Однако необходимость в дополнительной выборке данных возникает еще в процессе построения модели. Одним из первых применений дополнительной выборки в алгоритмах идентификации было введение так называемых проверочных точек в МГУА, которые использовались при выборе промежуточных частных моделей. Исследования МГУА и шаговой регрессии показали необходимость дополнительной независимой выборки данных. Такая выборка была названа контрольными точками и предназначалась для контроля за

процессом построения модели. Необходимость контрольных точек, в частности, подтверждается опасностью неустойчивости процесса структурной идентификации.

Таким образом, предлагается из множества экспериментальных данных выделять часть точек в качестве контрольных. Среднеквадратичная ошибка на этих точках может служить в качестве критерия останова алгоритмов структурной идентификации. Дело в том, что в шаговых алгоритмах по мере усложнения структуры модели она монотонно приближается к экспериментальным (обучающим) точкам  $(k_0b)$ , по которым оцениваются ее коэффициенты:  $y_t^i \rightarrow y^i, i=1, \dots, k_0b$ .

Если наблюдать поведение модели на дополнительных экспериментальных точках, то можно заметить, что, начиная с некоторого шага, модель начинает удаляться от этих точек (в случае неустойчивости это удаление начинается с первого же шага). Исходя из этого, предлагается определять момент останова алгоритма по ошибке на контрольных точках - расчеты прекращаются в момент достижения первого минимума ошибки по шагам алгоритма.

В силу независимости от конкретного алгоритма, в качестве критерия качества готовых моделей или для сравнения моделей, построенных с помощью различных алгоритмов, предлагается также использовать среднеквадратичную ошибку на контрольных точках.

### 3.6. Оценивание параметров модели

Будем считать, что нам известна структура модели (оператора  $F$ ), но не известны коэффициенты (параметры) этой модели. Какой бы точной ни была структура модели, практически всегда имеются параметры, которые необходимо найти или уточнить. Задача оценивания параметров модели ставится как задача оптимизации: необходимо найти такой вектор параметров  $A$  из области допустимых

значений  $\Omega$ , чтобы минимизировать некоторую функцию отклонения значений выхода модели ( $y^M$ ) от выхода объекта ( $y$ ) при одних и тех же значениях входных переменных:

$$D(y - y^M) \rightarrow \min_{A \in \Omega}.$$

Пример. Пусть известна структура модели:

$$y^M = a_0 + a_1 x.$$

Необходимо по  $k$  измерениям  $y$  и  $x$  найти параметры модели  $a_0$  и  $a_1$ .

Запишем критерий МНК:

$$D = \sum_{i=1}^k (y_i - y_i^M)^2 = \sum_{i=1}^k [y_i - (a_0 + a_1 x_i)]^2 \rightarrow \min_{a_0, a_1}.$$

Для нахождения  $a_0$  и  $a_1$ , приводящих к минимизации заданный критерий  $D$ , возьмем частные производные от  $D$  по  $a_0$  и  $a_1$  и приравняем их нулю (из математики известно, что в точках экстремума функции ее производная равна нулю):

$$\begin{cases} \frac{\partial D}{\partial a_0} = 0; \\ \frac{\partial D}{\partial a_1} = 0. \end{cases}$$

В результате получается система двух линейных уравнений с двумя неизвестными, решение которой и дает искомые значения параметров  $a_0$  и  $a_1$ :

$$a_1 = \frac{\sum_{i=1}^k (y_i x_i) - \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k y_i \sum_{i=1}^k x_i}{\sum_{i=1}^k x_i^2 - \frac{1}{k} (\sum_{i=1}^k x_i)^2}; \quad a_0 = \frac{1}{k} (\sum_{i=1}^k y_i - a_1 \sum_{i=1}^k x_i).$$

Однако для применения МНК предъявляются определенные требования к данным:

а) входные переменные модели должны быть линейно независимые, что выполняется;

б) помехи, действующие на систему, должны иметь нормальное распределение.

Эти требования, к сожалению, выполняются далеко не всегда, что может привести к ненадежным оценкам параметров модели. Для решения этой проблемы применяют так называемые устойчивые (робастные, гребневые или ридж) оценки параметров.

Другой проблемой является ограниченность имеющейся выборки данных (набор экспериментальных точек). Для параметров модели используется эмпирическое правило: для корректной, надежной оценки одного параметра необходимо 5-10 экспериментальных точек. Однако бывают ситуации, когда получение достаточного числа точек крайне затруднено или очень дорого.

## Вопрос №20

### Измерительные шкалы.

В основе любого наблюдения и анализа лежат измерения.

Измерение - это алгоритмическая операция, которая данному наблюдаемому состоянию объекта ставит в соответствие определенное обозначение: число, помер или символ. Обозначим через  $x_i$ ,  $i=1, \dots, m$  наблюдаемое состояние (свойство) объекта, а через  $y_i$ ,  $i = 1, \dots, m$  - обозначение для этого свойства. Чем теснее соответствие между состояниями и их обозначениями, тем больше информации можно извлечь в результате обработки данных. Менее очевидно, что степень этого соответствия зависит не только от организации измерений (т. е. от экспериментатора), но и от природы исследуемого явления, и что сама степень соответствия в свою очередь определяет допустимые (и недопустимые) способы обработки данных!

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

Измерительные шкалы в зависимости от допустимых на них операций различаются по их силе. Самые слабые - номинальные шкалы, а самые сильные - абсолютные.

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

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

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

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

Кроме того, выделяют следующие группы:

- неметрические или качественные шкалы, в которых отсутствуют единицы измерений (номинальная и порядковая шкалы);
- количественные или метрические (шкала интервалов, шкала отношений и абсолютная шкала).

### ***1. Шкала наименований***

Шкала наименований (номинальная или классификационная) представляет собой конечный набор обозначений для никак не связанных между собой состояний (свойств) объекта (рис. 1).

Здесь отсутствуют все главные атрибуты измерительных шкал, а именно упорядоченность, интервальность, нулевая точка.

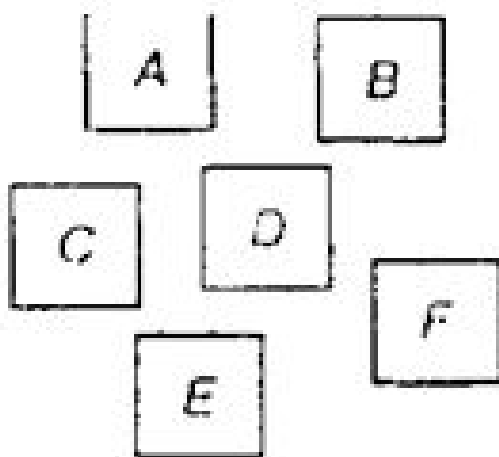


Рис. 1. Номинальная шкала.

Измерение будет состоять в том, чтобы, проведя эксперимент над объектом, определить принадлежность результата к тому или иному состоянию и записать это с помощью символа (набора символов), обозначающего данное состояние. Это самая простая шкала из тех, что могут рассматриваться как измерительные, хотя фактически эта шкала не ассоциируется с измерением и не связана с понятием «величина». Она используется только с целью отличить один объект от другого.

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

Для обозначения в номинальной шкале могут быть использованы:

- слова естественного языка (например, географические названия, собственные имена людей и т. д.);
- произвольные символы (гербы и флаги государств, эмблемы родов войск, всевозможные значки и т. д.);
- номера (регистрационные номера автомобилей, официальных документов, номера на майках спортсменов);
- их различные комбинации (например, почтовые адреса, экслибрисы личных библиотек, печати и пр.).

Однако необходимость классификации возникает и в тех случаях, когда классифицируемые состояния образуют непрерывное множество (или континуум). Задача сводится к предыдущей, если все множество разбить на конечное число подмножеств, искусственно образуя тем самым классы эквивалентности; тогда принадлежность состояния к какому-либо классу снова можно регистрировать в шкале наименований. Однако условность введенных классов (не их

шкальных обозначений, а самих классов) рано или поздно проявится на практике.

Примеры:

1. Например, возникают трудности точного перевода с одного языка на другой при описании цветовых оттенков: в английском языке голубой, лазоревый и синий цвета не различаются.

2. Названия болезней также образуют шкалу наименований. Психиатр, ставя больному диагноз «шизофрения», «паранойя», «маниакальная депрессия» или «психоневроз», использует номинальную шкалу; и все же иногда врачи не зря вспоминают, что «нужно лечить больного, а не болезнь»: название болезни лишь обозначает класс, внутри которого на самом деле имеются различия, так как эквивалентность внутри класса носит условный характер.

Необходимо понимать, что обозначения классов — это только символы, даже если для этого использованы номера. С этими номерами нельзя обращаться как с числами — это только цифры.

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

При обработке экспериментальных данных, зафиксированных в номинальной шкале, непосредственно с самими данными можно выполнять только операцию проверки их совпадения или несовпадения.

## ***2. Порядковые шкалы***

Следующей по силе за номинальной шкалой идет порядковая, шкала (ординальная, ранговая). Она применяется в тех случаях, когда наблюдаемый (измеряемый) признак состояния имеет природу, не только позволяющую отождествить состояния с одним из классов

эквивалентности, но и дающую возможность в каком-то отношении сравнивать разные классы.

Порядковая шкала не имеет определенной количественной меры. При этом присутствует упорядоченность, но отсутствуют атрибуты интервальности и нулевой точки.

Единственными типами отношений между неколичественными значениями шкалы могут быть:

- а) равенство одинаковых значений порядковых переменных величин, соответствующих объектам одной категории,
- б) неравенство разных значений переменных величин, соответствующих объектам одной категории;
- в) отношения «больше» или «меньше» между разными значениями переменных величин, соответствующих объектам одной категории.

Измерение в шкале порядка может применяться, например, в следующих ситуациях:

- когда необходимо упорядочить объекты во времени или пространстве. Это ситуация, когда интересуются не сравнением степени выраженности какого-либо их качества, а лишь взаимным пространственным или временным расположением этих объектов;
- когда нужно упорядочить объекты в соответствии с каким-либо качеством, но при этом не требуется производить его точное измерение;
- когда какое-либо качество в принципе измеримо, но в настоящий момент не может быть измерено по причинам практического или теоретического характера.

## 2.1. Типовые порядковые шкалы

Обозначив такие классы символами и установив между этими символами отношения порядка, мы получим шкалу простого порядка:  
 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F$ .

Примеры:

Нумерация очередности, наименование знания, призовые места в конкурсе, социально-экономический статус («низший класс», «средний класс», «высший класс»).

Разновидностью шкалы простого порядка являются оппозиционные шкалы. Они образуются из пар антонимов (например, сильный-слабый), стоящих на разных концах шкалы, где за середину берется позиция, соответствующая среднему значению наблюдаемой сущности. Как правило, остальные позиции никак не шкалируются. Иногда оказывается, что не каждую пару классов можно упорядочить по предпочтению: некоторые пары считаются равными — одновременно  $A \geq B$  и  $B \leq A$ , т. е.  $A = B$ .

Шкала, соответствующая такому случаю, называется шкалой слабого порядка.

Иная ситуация возникает, когда имеются пары классов, несравнимые между собой, т. е. ни  $A \geq B$ , ни  $B \leq A$ . В таком случае говорят о шкале частичного порядка. Шкалы частичного порядка часто возникают в социологических исследованиях субъективных предпочтений. Например, при изучении покупательского спроса субъект часто не в состоянии оценить, какой именно из двух разнородных товаров ему больше нравится (например, клетчатые носки или фруктовые консервы, велосипед или магнитофон и т. д.); затрудняется человек и упорядочить по предпочтению любимые занятия (чтение литературы, плавание, вкусная еда, слушание музыки).

Характерной особенностью порядковых шкал является то, что отношение порядка ничего не говорит о дистанции между сравниваемыми классами. Поэтому порядковые экспериментальные данные, даже если они изображены цифрами, нельзя рассматривать как числа. Например, нельзя вычислять выборочное среднее порядковых измерений.

Пример. Рассматривается испытание умственных способностей, при котором измеряется время, затрачиваемое испытуемым на решение тестовой задачи. В таких экспериментах время хотя и измеряется в числовой шкале, но как мера интеллекта принадлежит порядковой шкале.

Порядковые шкалы определяются только для заданного набора сравниваемых объектов, у этих шкал нет общепринятого, а тем более абсолютного стандарта.

Примеры:

1. При определенных условиях правомерно выражение «первый в мире, второй в Европе» - просто чемпион мира занял второе место на европейских соревнованиях.

2. Само расположение шкал является примером порядковой шкалы.

## 2.2. Модифицированные порядковые шкалы

Опыт работы с сильными числовыми шкалами и желание уменьшить относительность порядковых шкал, придать им хотя бы внешнюю независимость от измеряемых величин побуждают исследователей к различным модификациям, придающим порядковым шкалам некоторое (чаще всего кажущееся) усиление. Кроме того, многие величины, измеряемые в порядковых (принципиально дискретных) шкалах, имеют действительный или мыслимый непрерывный характер, что порождает попытки модификации

(усиления) таких шкал. При этом иногда с полученными данными начинают обращаться как с числами, что приводит к ошибкам, неправильным выводам и решениям.

Примеры:

1. В 1811 г. немецкий минералог Ф. Моос предложил установить стандартную шкалу твердости, постулируя только десять ее градаций. За эталоны приняты следующие минералы с возрастающей твердостью: 1 — тальк; 2 — гипс; 3 — кальций, 4 — флюорит, 5 — апа-тит, 6 — ортоклаз, 7 — кварц, 8 — топаз, 9 — корунд, 10 — алмаз. Из двух минералов тверже тот, который оставляет на другом царапины или вмятины при достаточно сильном соприкосновении. Однако номера градаций алмаза и апатита не дают основания утверждать, что алмаз в два раза тверже апатита.

2. В 1806 г. английский гидрограф и картограф адмирал Ф. Бофорт предложил балльную шкалу силы ветра, определяя ее по характеру волнения моря: 0 — штиль (безветрие), 4 — умеренный ветер, 6 — сильный ветер, 10 шторм (буря), 12 — ураган.

3. В 1935 г. американский сейсмолог Ч. Рихтер предложил 12-балльную шкалу для оценки энергии сейсмических волн в зависимости от последствий прохождения их по данной территории. Затем он развил метод оценки силы землетрясения в эпицентре по его магнитуде (условная величина, характеризующая общую энергию упругих колебаний, вызванных землетрясением или взрывами) на поверхности земли и глубине очага.

### ***3. Шкалы интервалов***

Следующая по силе шкала - шкала интервалов (интервальная шкала), которая в отличие от предыдущих, качественных, шкал уже является количественной шкалой. Эта шкала применяется, когда

упорядочивание значений измерений можно выполнить настолько точно, что известны интервалы между любыми двумя из них (рис. 2).

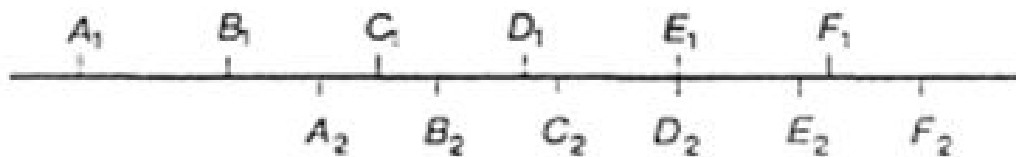


Рис. 2. Шкалы интервалов.

В шкале интервалов присутствуют упорядоченность и интервальность, но нет нулевой точки. Шкалы могут иметь произвольные начала отсчета, а связь между показаниями в таких шкалах является линейной:

$$y = ax + b,$$

где  $a > 0$ ;  $-\infty < b < \infty$ .

Для этой шкалы справедливо следующее свойство:

$$\frac{x_1 - x_2}{x_3 - x_4} = \frac{y_1 - y_2}{y_3 - y_4} = \text{const.}$$

Примеры:

1. Температура, время, высота местности — величины, которые по физической природе либо не имеют абсолютного нуля, либо допускают свободу выбора в установлении начала отсчета.

2. Часто можно услышать фразу: «Высота ... над уровнем моря». Какого моря? Ведь уровень морей и океанов разный, да и меняется со временем. В России высоты точек земной поверхности отсчитывают от среднегололетнего Уровня Балтийского моря в районе Кронштадта.

В этой шкале только интервалы имеют смысл настоящих чисел и только над интервалами следует выполнять арифметические операции. Если произвести арифметические операции над самими отсчетами по шкале, забыв об их относительности, то имеется риск получить бессмысленные результаты.

Пример. Нельзя сказать, что температура воды увеличилась в два раза при ее нагреве от 9 до 18° по шкале Цельсия, поскольку для того, кто привык пользоваться шкалой Фаренгейта, это будет звучать весьма странно, так как в этой шкале температура воды в том же опыте изменится от 37 до 42°.

#### ***4. Шкалы разностей***

Частным случаем интервальных шкал являются шкалы разностей: циклические (периодические) шкалы, шкалы, инвариантные к сдвигу. В такой шкале значение не изменяется при любом числе сдвигов.

$$y = x + nb,$$

$$n = 0, 1, 2, \dots$$

Постоянная  $b$  называется периодом шкалы.

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

Однако соглашение о хотя и произвольном, но едином для нас начале отсчета шкалы позволяет использовать показания в этой шкале как числа, применять к нему арифметические действия (до тех пор пока кто-нибудь не забудет об условности нуля, например при переходе на летнее время или обратно).

#### ***5. Шкалы отношений***

Следующей по силе шкалой является шкала отношений (подобий). Измерения в такой шкале являются «полноправными» числами, с ними можно выполнять любые арифметические действия, здесь присутствуют все атрибуты измерительных шкал: упорядоченность, интервальность, нулевая точка. Величины, измеряемые в шкале отношений, имеют естественный, абсолютный нуль, хотя остается свобода в выборе единиц (рис. 3):

$$y = ax,$$

где  $a \neq 0$

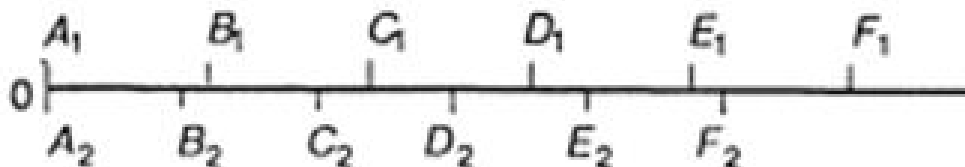


Рис. 3. Шкалы отношений

Примеры: Вес, длина, электрическое сопротивление, деньги — величина, природа которых соответствует шкале отношений. Из значений шкалы отношений видно, во сколько раз свойство одного объекта превосходит такое же свойство другого объекта.

#### **6. Абсолютная шкала**

Абсолютная (метрическая) шкала имеет и абсолютный нуль ( $b = 0$ ), и абсолютную единицу ( $a = 1$ ). В качестве шкальных значений при измерении количества объектов используются натуральные числа, когда объекты представлены целыми единицами, и действительные числа, если кроме целых единиц присутствуют и части объектов. Именно такими качествами обладает числовая ось, которую естественно называть абсолютной шкалой.

Важной особенностью абсолютной шкалы по сравнению со всеми остальными является отвлеченность (безразмерность) и абсолютность ее единицы. Указанная особенность позволяет производить над показаниями абсолютной шкалы такие операции, которые недопустимы для показаний других шкал, — употреблять эти показания в качестве показателя степени и аргумента логарифма.

Примеры:

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

Числовая ось используется как измерительная шкала в явной форме при счете предметов, а как вспомогательное средство присутствует во всех остальных шкалах.

## **7. Шкалирование**

Шкалирование представляет собой отображение какого-либо свойства объекта или явления в числовом множестве.

Можно сказать, что чем сильнее шкала, в которой производятся измерения, тем больше сведений об изучаемом объекте, явлении, процессе дают измерения. Поэтому так естественно стремление каждого исследователя провести измерения в возможно более сильной шкале. Однако важно иметь в виду, что выбор шкалы измерения должен ориентироваться на объективные отношения, которым подчинена наблюдаемая величина, и лучше всего производить измерения в той шкале, которая максимально согласована с этими отношениями. Можно измерять и в шкале более слабой, чем согласованная (это приведет к потере части полезной информации), но применять более сильную шкалу опасно: полученные данные на самом деле не будут иметь той силы, на которую ориентируется их обработка.

Иногда же исследователи усиливают шкалы; типичный случай — «оцифровка» качественных шкал: классам в номинальной или порядковой шкале присваиваются номера, с которыми дальше «работают» как с числами. Если в этой обработке не выходят за пределы допустимых преобразований, то «оцифровка» — это просто перекодировка в более удобную (например, для ЭВМ) форму. Однако применение других операций сопряжено с заблуждениями, ошибками, так как свойства, навязываемые подобным образом, на самом деле не имеют места.

По мере развития соответствующей области знания тип шкалы может меняться.

Пример. Температура сначала измерялась по порядковой шкале (холоднее — теплее), затем - по интервальным шкалам (Цельсия, Фаренгейта, Реомюра), а после открытия абсолютного нуля температур - по абсолютной шкале (Кельвина).

#### Резюме

1. В основе любого наблюдения и анализа лежат измерения, которые представляют собой алгоритмические операции: данному наблюдаемому состоянию объекта ставится в соответствие определенное обозначение: число, номер или символ. Множество таких обозначений, используемых для регистрации состояний наблюдаемого объекта, называется измерительной шкалой.

2. В зависимости от допустимых операций на измерительных шкалах их различают по их силе.

3. Самой слабой шкалой является номинальная шкала, представляющая собой конечный набор обозначений для никак не связанных между собой состояний (свойств) объекта.

4. Следующей по силе считается порядковая шкала, дающая возможность в каком-то отношении сравнивать разные классы наблюдаемых состояний объекта, выстраивая их в определенном порядке. Различают шкалы простого, слабого и частичного порядка. Численные значения порядковых шкал не должны вводить в заблуждение относительно допустимости математических операций над ними.

5. Еще более сильная шкала — шкала интервалов, в которой кроме упорядочивания обозначений, можно оценить интервал между ними и выполнять математические действия над этими интервалами.

Разновидностью шкалы интервалов является шкала разностей или циклическая.

6. Следующей по силе идет шкала отношений. Измерения в такой шкале являются «полноправными» числами, с ними можно выполнять любые арифметические действия (правда, при условии однотипности единиц измерения).

7. И, наконец, самая сильная шкала — абсолютная, с которой можно выполнять любые математические действия без каких-либо ограничений.

8. Отображение какого-либо свойства объекта или явления в числовом множестве называется шкалированием. Чем сильнее шкала, в которой производятся измерения, тем больше сведений об изучаемом объекте, явлении, процессе дают измерения. Однако применять более сильную шкалу опасно: полученные данные на самом деле не будут иметь той силы, на которую ориентируется их обработка. Лучше всего производить измерения в той шкале, которая максимально согласована с объективными отношениями, которым подчинена наблюдаемая величина. Можно измерять и в шкале, более слабой, чем согласованная, но это приведет к потере части полезной информации.

## **Вопрос №21**

### **Системный подход к прогнозированию.**

Слово «прогноз» происходит от греческого слова «prognosis» (предвидение, предсказание о развитии чего-либо, основанное на определенных данных). Прогнозирование широко используется во многих областях человеческой деятельности, особенно актуально прогнозирование в задачах управления.

Процесс разработки прогнозов называется прогнозированием.

Под методами прогнозирования подразумевают совокупность приемов мышления, способов, позволяющих на основе анализа информации о прогнозном объекте вынести относительно достоверное суждение о его будущем развитии. Тип применяемого метода зависит от типа объекта. Существует большое количество классификаций видов прогнозов по различным классификационным признакам.

#### **1. Постановка задачи прогнозирования.**

Прогнозирование означает предсказание состояния какого-либо объекта, процесса или явления в будущем. Фактически любое моделирование дает прогноз, т. е. отвечает на вопрос: «Что будет если...?», но здесь мы ограничимся прогнозированием в более узком смысле. Различают такие виды прогнозов, как прогноз погоды, предсказание хода болезни, научно-технический прогноз, прогноз экономический и т. д. В данной книге мы будем в основном говорить об экономическом прогнозе, который тесно связано с планированием и управлением.

Задачу прогнозирования в самом общем виде можно поставить следующим образом. Имеется некоторый прогнозируемый показатель

Р. Необходимо определить значение  $P_s$  этого показателя в некоторый заданный момент времени в будущем  $s$ .

По времени упреждения прогнозирование разделяется на текущее, краткосрочное, среднесрочное, долгосрочное и сверхдолгосрочное. В зависимости от характера и цели прогнозирования диапазон каждого из видов прогноза может простираться от долей секунды (например, в физике) до миллиардов лет (в космологии). В экономических и общественных науках рассматривают прогнозы: краткосрочные (1-2 года), среднесрочные (5-10 лет), долгосрочные (15-20 лет) и сверхдолгосрочные (30-100 лет). Существуют и другие классификации по срокам прогноза.

Наиболее распространен такой подход к прогнозированию. Анализируется временной ряд значений прогнозируемого показателя, устанавливается закономерность изменения показателя во времени, а затем эта закономерность экстраполируется на будущие моменты времени. Однако такой подход не всегда дает удовлетворительный прогноз, поскольку основан на учете только части причин, по которым происходит изменение прогнозируемого показателя. Для повышения точности прогноза необходимо провести системный анализ: определить факторы, действующие в объекте исследования, и оценить их влияние на прогнозируемый показатель. На основании результатов анализа можно выбирать методы прогнозирования, в наибольшей степени пригодные для решения конкретной задачи.

Основу прогнозирования составляют либо причинно-следственные связи между прогнозируемым показателем и факторами, на него влияющими, либо инерционные свойства объекта (в этом случае «причиной» является время).

Основой любого прогнозирования является гипотеза об инерционности объекта. Причем инерционность можно рассматривать

не только временную (в последующие моменты времени прогнозируемый показатель будет изменяться в том же направлении, что и сейчас), но и более широко — инерционность функциональную. В этом случае функциональная зависимость прогнозируемого показателя от факторов, на него влияющих (в частном случае это может быть и время), известная на некотором интервале изменения этих факторов, продолжается и за пределами интервала.

Примеры:

1. Последние несколько дней температура воздуха падала ежедневно на 1 °С. Можно предположить, что эта тенденция сохранится и ближайшие дни.

2. Цепка на сахар последние месяцы росла в среднем на 3 %. Можно прогнозировать сохранение этой тенденции и в последующие месяцы.

3. Пусть зависимость спроса на некоторый товар  $C_n$  от его цены  $C$  при изменении цены от 10 до 14 р. описывается моделью вида:

$$C_n = 1,3 + \frac{4,7}{C + 8,2}.$$

Можно предполагать, что при ценах, меньших 10 р. или больших 14 р., эта зависимость сохранится.

На инерционности построен метод научного исследования - экстраполяция (от лат. extra - сверх и polio - приглаживаю, выправляю).

Экстраполяция - это распространение результатов, полученных из наблюдений над одной частью явления, на другую его часть.

Экстраполяция закономерностей - это перенос закономерностей, выявленных на одном материале и одном классе задач, на другой материал и другой класс задач.

С математической точки зрения:

Экстраполяция - это приближенное определение значений функции  $F(x)$  в точках  $x$ , лежащих вне отрезка  $[x_0, x_n]$ , по ее значениями в точках  $x_0 < x_1 < \dots < x_n$ .

## 2. Причины изменения прогнозируемого показателя.

Если ставится задача прогнозирования значения некоторого показателя, то закономерно возникает вопрос о причинах его изменения. Такие причины можно разбить на две группы: внешние причины (по отношению к исследуемой системе) и внутренние.

К внешним причинам относятся изменения: возмущающих переменных - вектор  $X$ ; управляющих переменных - вектор  $U$ ; неконтролируемых переменных (шумов или помех) — вектор  $\varepsilon$ .

К внутренним причинам относятся такие свойства объекта, как динамичность (инерционность), нестационарность, целенаправленность (активность).

Рассмотрим влияние на прогнозируемый показатель каждой из причин в отдельности.

### 2.1. Влияние возмущающих и управляющих переменных

Если пренебречь остальными причинами, то влияние возмущающих и управляющих переменных (для простоты обозначим их векторы пока одной буквой  $X$ ) можно представить в виде следующей математической модели:

$$P = F(X) \quad (1)$$

Зная функцию  $F$  и значение входной перемен  $X_s$  в заданный момент времени в будущем  $s$ , можно вычислить значение прогнозируемого показателя  $P_s$ :

$$P_s = F(X_s).$$

### 2.2. Влияние неконтролируемых переменных

Если мы знаем, что ни возмущающие, ни управляющие переменные не изменятся к моменту времени  $s$ , а единственной

причиной изменения  $P$  являются шумы  $\varepsilon$ , то надо рассматривать такую модель:

$$P=F(\varepsilon) \quad (2)$$

К сожалению, в этом случае мы чаще всего не знаем причин и значений неконтролируемой переменной  $\varepsilon$ . Поэтому построение соответствующей математической модели типа (2) является проблематичным. Единственное, что можно сказать, так это то, что при нулевом среднем значении  $\varepsilon$  значение прогнозируемой переменной в среднем не изменится.

### 2.3. Влияние динамичности

Динамические системы, как правило, являются инерционными, т. е. даже при отсутствии наблюдаемых изменений входных переменных выходная переменная продолжает изменяться. Единственный «виновник» этого - время, т. е. если бы удалось остановить время, то выходная величина перестала бы изменяться.

Таким образом, если мы работаем с данными, относящимися к некоторому периоду времени, в пределах которого входные переменные можно считать неизменными, поведение прогнозируемого показателя можно описывать моделью

$$P(t) = F(t) \quad (3)$$

Это характерно для систем, содержащих инерционные, интегрирующие, реальные дифференцирующие и колебательные звенья.

### 2.4. Влияние нестационарности

В нестационарной системе происходит изменение ее структуры и/или параметров. В модели (1) прогнозируемый показатель зависит не только от входных переменных, но и от вектора параметров (коэффициентов)  $A$ . Тогда более точное представление модели (1) будет следующим:

$$P = F(X, A) \quad (4)$$

Если система стационарная, то при изменении входных воздействий модель (4) можно записать

$$P(t) = F(X(t), A).$$

Для нестационарной системы при неизменных внешних воздействиях на объект модель будет иметь вид:

$$P(t) = F(X, A(t)) \quad (5)$$

Или

$$P(t) = F(A(t)) \quad (5')$$

В этом случае задача прогнозирования показателя  $P$  столкнется с проблемой прогнозирования значения параметров  $A$ . Если она будет решена успешно (что чаще всего невозможно) и будет построена модель (5'), то можно надеяться и на решение основной задачи. Изменение параметров может быть монотонным, случайным или управляемым. В первом случае параметры являются функциями времени  $A(t)$ , что соответствует рассмотренной выше задаче построения динамической модели типа (3). Во втором - параметры изменяются случайным образом. Это можно рассматривать как влияние неконтролируемых переменных - модель типа (2).

При управляемом изменении параметров объект не является нестационарным и может описываться моделью типа (4).

## 2.5. Влияние целенаправленности (активности)

К целенаправленным объектам относятся объекты, элементам которых являются люди. В таких объектах каждый отдельный человек или группа людей способны поставить свои цели и действовать в соответствии с ними. В этом случае следует говорить о том, что структура зависимостей типа (1), (3) или (4) уже сама будет изменяться во времени, даже при неизменных  $X$ ,  $A$  или  $\varepsilon$ :

$$P(t) = F_t(\cdot).$$

Формальные методы прогнозирования здесь малопригодны - это поле деятельности в основном для психологов.

### 3. Выбор метода прогнозирования.

Всего известно около двухсот методов прогнозирования, которые базируются на трех основных подходах (классах методов):

1) экстраполяционный, когда единственной причиной изменения прогнозируемого показателя считается время (используется инерционность процессов во времени);

2) модельный, при котором ищется функциональная зависимость прогнозируемого показателя от факторов, на него влияющих;

3) экспертный - прогноз на основании мнений экспертов.

#### 3.1 Экстраполяционный подход к прогнозированию.

Этот подход заключается в установлении закономерности изменения прогнозируемого показателя за предыдущие моменты времени с последующей экстраполяцией этой закономерности на последующие моменты времени. При экстраполяционном подходе единственной причиной изменения прогнозируемого показателя считается время. Для определения закономерности изменения прогнозируемого показателя  $P$  во времени (другими словами, модели  $P = F(t)$ ) необходимо знать значения прогнозируемого показателя в предыдущие моменты времени. Прогнозирование в этом случае заключается в установлении закономерности изменения прогнозируемого показателя за предыдущие моменты времени с последующей экстраполяцией этой закономерности на следующие моменты времени. Таким образом, этот подход пригоден только для прогнозирования динамических процессов. Из-за простоты и наглядности это самый распространенный подход при

количественном прогнозировании в экономике, которая по своей сути представляет собой совокупность динамических процессов.

Тенденции развития экономических показателей. Статистическое описание движения экономических явлений осуществляется с помощью динамических (временных) рядов. Поведение динамического ряда, характеризующего развитие экономического явления, традиционно рассматривают как сумму четырех компонент, которые непосредственно не могут быть измерены (ненаблюдаемые компоненты): вековой уровень (или тренд), циклическая составляющая, сезонная составляющая и случайные колебания.

При анализе динамических рядов наибольший интерес вызывает тенденция развития изучаемой системы. Понятие тенденции развития не имеет достаточно четкого определения - под ней понимают некоторое общее направление развития, долговременную эволюцию. Обычно тенденцию развития стремятся представить в виде более или менее гладкой траектории, которую можно формализовать в виде некоторой функции от времени. Такую функцию называют трендом, он описывает фактическую, усредненную для периода наблюдения тенденцию изучаемого процесса во времени.

Наиболее распространенным и простым путем выявления тренда является сглаживание, в частности, скользящим средним. К недостатку скользящих средних можно отнести то, что зачастую они сглаживают (читай, уничтожают) важные мелкие волны и изгибы в тренде!

Изобразив в осях координат «прогнозируемый показатель - время» временной ряд значений  $P$ , после сглаживания можно графически решить задачу прогнозирования путем продолжения выявленной тенденции развития для последующих моментов времени.

Кривые роста. Графическое решение задачи прогнозирования является приближенным и носит субъективный характер. Более точный прогноз можно получить с помощью аналитического выравнивания динамических рядов — нахождения модели  $P = F(t)$ . При построении этой модели возникают те же проблемы, что и при построении любой другой: выбор структуры модели, оценивание ее параметров (коэффициентов) и оценка точности модели. Рассмотрим первую проблему. При выборе структуры модели приходится определять, какие входные переменные войдут в модель и в каком виде. Здесь мы имеем только одну входную переменную  $t$ , поэтому задача сужается до поиска функции одной переменной.

Функции, описывающие закономерности развития явления во времени, полученные путем аналитического выравнивания динамических рядов, получили название кривые роста. Вопрос о выборе типа кривой является основным; ошибка этого этапа более значима по своим последствиям, чем ошибка в оценивании параметров. Многолетние исследования временных рядов в экономике, социологии, политике, демографии и других экономико-общественных науках позволили выявить ряд наиболее распространенных кривых роста, описывающих соответствующие явления в этих науках.

Наиболее часто применяют такие простые функции, как:

- 1) многочлены (полиномы);
- 2) различного рода экспоненты;
- 3) логистические кривые.

Многочлены. Для выравнивания временных рядов используются многочлены:

- первой степени:  $p_t = a_0 + a_1t$ ,
- второй степени:  $p_t = a_0 + a_1t + a_2t^2$ ,

- n-й степени:  $p_t = a_0 + a_1t + a_2t^2 + \dots + a_nt^n$ .

При этом коэффициент  $a_1$  можно трактовать как скорость роста,  $a_2$  - ускорение роста,  $a_3$  - изменение ускорения роста. Многочлены первой степени предполагают постоянство приращения ординат для процессов, равномерно развивающихся во времени. Парабола второй степени описывает движение с равномерным изменением прироста, т. е. равноускоренных процессов.

Обоснованием применения полиномов при выборе структуры модели может быть теорема Вейерштрасса, из которой следует, что любую непрерывную функцию на заданном отрезке можно сколь угодно точно описать многочленом.

Экспоненты. Самая простая экспоненциальная (показательная) кривая имеет вид  $P_t = AB^t$ . Если это уравнение прологарифмировать, то в полулогарифмических координатах получим уравнение прямой

$$\log P = \log a + t \log b.$$

Более сложную зависимость можно описать логарифмической параболой

$$P_t = ab^t c^{t^2}$$

Рассмотренные выше кривые, соответствующие многочленам, не имеют асимптот, их рост ничем не ограничен. В отличие от них экспоненциальная кривая и логарифмическая парабола имеют асимптоты, но только в области  $P_T = 0$ . Однако есть много процессов, имеющих асимптоту, отличающуюся от нуля. Наиболее простым представителем семейства кривых, имеющих такую асимптоту, является кривая, получившая в статистике название модифицированной экспоненты:

$$P_t = k + ab^t.$$

Кривая Гомперца и логистическая кривая. В страховых и некоторых демографических расчетах нашла себе применение S-образная кривая, получившая название кривой Гомперца:

$$P = ka^{b^t}.$$

Также для описания S-образных кривых применяется логистическая кривая:

$$\frac{1}{P_t} = k + ab^t.$$

Экспоненциальные кривые роста хорошо описывают процессы, имеющие так называемый лавинообразный характер, а именно, когда прирост зависит в основном от уже достигнутого уровня.

Если же на процесс все время воздействует ограничивающий фактор, то хорошее описание этого процесса можно получить с помощью модифицированной экспоненты. Если же ограничивающий фактор начинает влиять только после некоторого момента времени (точка перегиба), то наилучшее приближение дают S-образные кривые, которые описывают два встречных лавинообразных процессам один с ускорением развития, другой - с замедлением.

### 3.2. Модельный подход к прогнозированию

Рассматривая задачу прогнозирования, мы предполагали, что прогнозируемая величина является функцией времени. Однако, часто это слишком упрощенный подход. Конечно, например, радиоактивный распад можно считать зависимым только от времени, но большинство прогнозируемых показателей все же зависит от других факторов. Например, прогнозирование числа больных в данном населенном пункте зависит не от времени как такового, а от числа жителей, экологической обстановки и т.п. И если в следующем году число жителей резко сократится или возрастет, то во столько же раз изменится потенциальное число больных.

При модельном подходе ищется функциональная зависимость прогнозируемого показателя от факторов, на него влияющих. Модельный подход потенциально дает самый точный прогноз, но является наиболее сложным и наукоемким.

Вернемся к причинам изменения прогнозируемого показателя и оценим пригодность тех или иных подходов к прогнозированию.

1. Если изменение прогнозируемого показателя связано только с динамическими процессами (а точнее, процесс изменения  $P(t)$  является частью переходного процесса), то наиболее эффективным будет применение экстраполяционного подхода.

При этом причинами изменения  $P$  могут быть:

- переходные процессы, происходящие в объекте; динамические процессы в объекте, приводящие к изменению его параметров  $A(t)$  (можно рассматривать и динамические процессы в психике людей, входящих в качестве элементов исследуемого объекта);
- динамические процессы, протекающие вне объекта, следствием чего могут быть изменения возмущающих и неконтролируемых переменных -  $X(t)$  и  $\varepsilon(t)$ .

В общем виде это можно описать такой моделью:

$$P(t) = F(X(t), A(t), \varepsilon(t), t) \quad (6)$$

При этом, если мы не можем построить модель типа (6), прогнозная модель будет строиться на основании временных рядов и описывать зависимость прогнозируемого показателя только как функцию времени.

2. Другим подходом к прогнозированию динамических процессов можно назвать модельный авторегрессионный подход, когда строится модель, связывающая значения прогнозируемого

показателя в некоторый момент времени  $s$  со значениями этого же показателя в предыдущие моменты времени:

$$P(s) = F[P(s-1), P(s-2), \dots].$$

Авторегрессионная модель является попыткой описать динамический процесс алгебраическим уравнением вместо дифференциального.

3. Если изменение прогнозируемого показателя нельзя объяснить только как функцию времени (т. е. объяснить только динамическими процессами), то применяется модельный подход, при котором в модели учитываются возмущающие и управляющие переменные.

Такой подход предполагает, что прогнозируемая величина является выходной переменной исследуемого объекта (процесса или явления)  $P = y$  и, в первую очередь, зависит от множества различных повременных факторов  $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ .

Строятся как простейшие модели типа (1) так и более сложные, учитывающие запаздывающие переменные и время:

$$P(t) = F[X(t), X(t-1), X(t-2), \dots, t],$$

а также авторегрессионные составляющие:

$$P(t) = F[P(t-1), P(t-2), \dots, X(t), X(t-1), X(t-2), \dots, t].$$

Построение таких моделей связано с серьезными трудностями. Хотя следует сказать, что такая полная модель никогда и не используется для прогнозирования, но всегда можно допускать присутствие ее членов в прогностической модели. Здесь мы сталкиваемся с серьезной задачей выбора структуры модели, а именно, отбора значимых членов модели. Во-первых, довольно сложно выбрать структуру модели; второй проблемой является ограниченное количество экспериментальных данных, что не

позволяет получить статистически значимые оценки параметров модели.

### 3.3. Оценивание точности прогнозных моделей

В предыдущем разделе рассматривался вопрос выбора структуры прогнозных моделей. Что касается оценивания параметров этих моделей, то здесь нет никаких отличий от традиционной задачи построения моделей, и обычно применяется метод наименьших квадратов.

Особую проблему представляет вопрос оценки качества прогнозной модели. Выше говорилось, что критерий качества модели должен определяться той целью, для которой строится модель. Прогнозная модель строится с целью предсказания значения выходной переменной в будущие моменты времени, т. е. нам надо проверить, правильно ли модель предсказывает. Но если мы предсказываем либо на год или больше вперед, то только через этот срок сможем узнать, хороша ли наша модель. Это, безусловно, нас не устраивает. Остается единственный выход — «спрятать» одно или несколько ( $k$ ) последних по времени известных значений прогнозируемой величины, построить прогнозную модель по оставшимся значениям и попытаться спрогнозировать известные значения ( $p_i^m$ ,  $i = 1, \dots, k$ ). Из множества прогнозных моделей лучшей будем считать ту, которая имеет минимальное значение следующего критерия:

$$D = \sum_{i=1}^k (p_i^M - p_i)^2.$$

Вообще же точность прогноза определяют несколько факторов.

1. Объем статистики (длина предыстории) - чем данных больше, тем надежнее прогноз. Это верно, к сожалению, только с позиций математической статистики - «чем больше, тем лучше». При

прогнозировании социально-экономических и политических процессов часто имеют дело с резкими изломами тенденций изменения прогнозируемых показателей. В этом случае в выборке могут присутствовать разные тенденции. Обработка таких данных приведет к получению некой усредненной тенденции («средней температуре по больнице»), по которой можно получить «среднее» значение прогнозируемого показателя.

2. Неизменность тенденции изменения прогнозируемого показателя - важно, чтобы в выборке данных для прогнозирования присутствовали только данные, относящиеся к текущей тенденции. Иногда таких данных бывает крайне мало, что не позволяет сделать надежный прогноз.

3. Глубина (интервал) прогноза - чем он больше, тем сильнее возрастает ошибка прогноза. Есть эмпирическое правило - длина предыстории должна как минимум вдвое превышать интервал прогноза.

Пример. Пусть нам необходимо спрогнозировать цену на хлеб в следующем месяце. Можно взять ряд данных о цене на хлеб за прошедшие 100 лет, Умножив на 12 месяцев, получаем 1200 «точек» для построения прогнозных моделей. Эта огромная выборка даст нам усредненную тенденцию за сто лет, которая с крайне малой вероятностью будет соответствовать тенденции изменения цены на хлеб «завтра». Если же мы возьмем выборку, отражающую тенденцию последних месяцев, и экстраполируем полученную тенденцию на сто лет вперед, то достоверность такого прогноза тоже будет чрезвычайно низкой, поскольку очень мала вероятность сохранения современной тенденции изменения цены на хлеб.

### 3.4. Экспертный подход

Экспертный подход основывается на экспертных оценках специалистов в своей области.

Экспертные оценки - это неформальный прогноз, основанный на опыте и интуиции специалистов-экспертов.

Такой прогноз обычно применяют в тех случаях, когда либо прогнозируемый показатель и/или факторы, на него влияющие, измеряются в качественных шкалах, либо по ним отсутствует репрезентативная (достаточная) статистика. Экспертные оценки вытекают из анализа и обобщения процессов, происходивших в прошлом и происходящих и настоящем.

Сущность экспертных методов прогнозирования заключается в построении рациональной процедуры интуитивно-логического мышления человека в сочетании с количественными методами оценки и обработки полученных результатов.

Метод экспертных оценок базируется на предположении, что на основе мнений экспертов возможно построить адекватную модель будущего развития системы. Исходной информацией при этом служат мнения специалистов, занимающихся исследованиями и разработками в прогнозируемой области. Экспертные оценки разделяют на индивидуальные и коллективные в зависимости от того, разрабатывается ли прогноз на основе суждений одного эксперта или группы их.

Индивидуальные экспертные оценки бывают двух типов: оценки типа «интервью» и аналитические. Оценка типа «интервью» это беседа прогнозиста с экспертом, в ходе которой прогнозист, в соответствии с заранее разработанной программой, ставит перед экспертом вопросы относительно перспектив развития прогнозируемого объекта. Процесс аналитической экспертной оценки заключается в самостоятельной работе эксперта, направленной на

анализ тенденций и оценку будущего состояния и путей развития прогнозируемого объекта.

Применение коллективных экспертных оценок позволяет повысить точность прогноза. Методы коллективных экспертных оценок разделяются на метод комиссий, метод отнесенной оценки и дельфийский метод.

Метод комиссий - это проведение группой экспертов дискуссии с целью выработки общей по-зиции по вопросам будущего развития прогнозируемого объекта. Недостатком этого метода является взаимное влияние экспертов, экспертам часто бывает трудно отказаться от публично высказанного мнения.

Частично эту проблему решает метод отнесенной оценки (метод «мозгового штурма»), при котором эксперты сначала высказывают любые оценки без права их критики другими и только потом анализируют эти оценки и по ним делают выводы. При этом в качестве экспертов могут привлекаться не только специалисты по данной проблеме, но и специалисты в других областях.

Дальнейшим развитием методов коллективной экспертной оценки является дельфийский метод (по названию древнегреческого города Дельфы). Этот метод предполагает отказ от прямых коллективных суждений. Дебаты заменяются индивидуальными опросами в форме заполнения таблиц экспертной оценки. Ответы экспертов обобщают и вместе с новой дополнительной информацией и обобщенными аргументами передают в распоряжение экспертов, после чего они уточняют свои первоначальные ответы. Такая процедура повторяется несколько раз до достижения приемлемой сходимости высказанных мнений.

Дельфийский метод дает надежные прогнозы на период 1—3 года и более отдаленный период. В зависимости от цели прогноза привлекают от 10 до 100 экспертов.

Достоинством экспертных методов является их относительная простота и применимость для прогнозирования практически любых ситуаций, в том числе и в условиях неполной информации, а недостатком - субъективизм экспертов и невысокая точность прогноза опять же в условиях неполной информации («из ничего нельзя получить ничего»).

#### Резюме

1. Процесс разработки прогнозов называется прогнозированием. Прогнозирование означает предсказание состояния какого-либо объекта, процесса или явления в будущем. Фактически любое моделирование дает прогноз, т. е. отвечает на вопрос: «Что будет, если...?»

2. По времени упреждения прогнозирование разделяется на текущее, краткосрочное, среднесрочное, долгосрочное и сверхдолгосрочное. В зависимости от характера и цели прогнозирования диапазон каждого из видов прогноза может простираться от долей секунды (например, в физике) до миллиардов лет (в космологии).

3. Основой любого прогнозирования является гипотеза об инерционности объекта. Причем инерционность можно рассматривать не только временную, но и более широко - инерционность функциональную, когда функциональная зависимость прогнозируемого показателя от факторов, на него влияющих, известная на некотором интервале изменения этих факторов, продолжается и за пределами интервала. На инерционности построен метод научного исследования - экстраполяция - распространение

результатов, полученных из наблюдений над одной частью явления, на другую его часть.

4. Причины изменения прогнозируемого показателя можно разбить на две группы: внешние причины (возмущения, управление и помехи) и внутренние (нестационарность, активность и динамичность).

5. Можно выделить следующие основные подходы к прогнозированию: экстраполяционный (единственной причиной изменения прогнозируемого показателя считается время), модельный (ищется функциональная зависимость прогнозируемого показателя от факто-ров, на него влияющих) и экспертный (прогноз на основании мнений экспертов).

6. Одной из проблем прогнозирования является вопрос оценки качества прогнозной модели.

7. Важной проблемой построения прогнозных моделей является ограниченность количества данных предыстории (длина предыстории должна как минимум вдвое превышать интервал прогноза), что затрудняет применение таких моделей в условиях частой смены тенденций изменения системы.

## **Вопрос №22**

### **Методология системного анализа.**

Любая научная, исследовательская и практическая деятельность проводится на базе методов, методик и методологий.

Метод — это прием или способ действия.

Методика — это совокупность методов, приемов проведения какой-либо работы.

Методология — это совокупность методов, правила распределения и назначения методов, а также шаги работы и их последовательность.

Имеются свои методы, методики и методологии и у системного анализа. Однако, в отличие от классических наук, системный анализ находится в стадии развития и еще не имеет устоявшегося, общепризнанного «инструментария».

Кроме того, каждая наука имеет свою методологию, поэтому дадим еще одно определение.

Методология — это совокупность методов, применяемых в какой-либо науке.

В каком-то смысле можно говорить и о методологии системного анализа, хотя это пока еще очень рыхлая, «сырая» методология.

#### ***1. Системность***

Прежде чем рассматривать системную методологию, надо разобраться с понятием «системный». Сегодня широко используются такие понятия как «системный анализ», «системный подход», «теория систем», «принцип системности» и др. При этом их не всегда различают и часто применяют как синонимы.

Наиболее общим понятием, которое обозначает все возможные проявления систем, является «системность». Ю.П. Сурмин предлагает рассматривать структуру системности в трех аспектах (рис. 1): системная теория, системный подход и системный метод.



Рис. 1. Структура системности и составляющие её функции.

1. Системная теория (теория систем) реализует объясняющую и систематизирующую функции: дает строгое научное знание о мире систем; объясняет происхождение, устройство, функционирование и развитие систем различной природы.

2. Системный подход следует рассматривать как некоторый методологический подход человека к действительности, представляющий собой некоторую общность принципов, системное мировоззрение.

Подход — это совокупность приемов, способов воздействия на кого-нибудь, в изучении чего-нибудь, ведении дела и т. д.

Принцип - а) основное, исходное положение какой-либо теории; б) наиболее общее правило деятельности, которое обеспечивает его правильность, но не гарантирует однозначность и успех.

Итак, подход — это некоторая обобщенная система представлений о том, как должна выполняться та или иная деятельность (но не детальный алгоритм действия), а принцип

деятельности — множество некоторых обобщенных приемов и правил.

Кратко суть системного подхода можно определить так: Системный подход — это методология научного познания и практической деятельности, а также объяснительный принцип, в основе которых лежит рассмотрение объекта как системы.

Системный подход заключается в отказе от односторонне аналитических, линейно-причинных методов исследования. Основной акцент при его применении делается на анализе целостных свойств объекта, выявлении его различных связей и структуры, особенностей функционирования и развития. Системный подход представляется достаточно универсальным подходом при анализе, исследовании, проектировании и управлении любых сложных технических, экономических, социальных, экологических, политических, биологических и других систем.

Назначение системного подхода заключается в том, что он направляет человека на системное видение действительности. Он заставляет рассматривать мир с системных позиций, точнее — с позиций его системного устройства.

Таким образом, системный подход, будучи принципом познания, выполняет ориентационную и мировоззренческую функции, обеспечивая не только видение мира, но и ориентацию в нем.

3. Системный метод реализует познавательную и методологическую функции. Он выступает как некоторая интегральная совокупность относительно простых методов и приемов познания, а также преобразования действительности.

Конечная цель любой системной деятельности заключается в выработке решений, как на стадии проектирования систем, так и при

управлении ими. В этом контексте системный анализ можно считать сплавом методологии общей теории систем, системного подхода и системных методов обоснования и принятия решений.

## ***2. Естественнаучная методология и системный подход***

Системный анализ не является чем-то принципиально новым в исследовании окружающего мира и его проблем — он базируется на естественнонаучном подходе, корни которого уходят в прошлые века.

Центральное место в исследовании занимают два противоположных подхода: анализ и синтез.

Анализ предусматривает процесс разделения целого на части. Он весьма полезен в том случае, если требуется выяснить, из каких частей (элементов, подсистем) состоит система. Посредством анализа приобретаются знания. Однако при этом нельзя понять свойства системы в целом.

Задача синтеза — построение целого из частей. Посредством синтеза достигается понимание.

В исследовании любой проблемы можно указать несколько главных этапов:

- 1) постановка цели исследования;
- 2) выделение проблемы (выделение системы): выделить главное, существенное, отбросив малозначимое, несущественное;
- 3) описание: выразить на едином языке (уровне формализации) разнородные по своей природе явления и факторы;
- 4) установление критериев: определить, что значит «хорошо» и «плохо» для оценивания полученной информации и сравнения альтернатив;
- 5) идеализация (концептуальное моделирование): ввести рациональную идеализацию проблемы, упростить ее до допустимого предела;

6) декомпозиция (анализ): разделить целое на части, не теряя свойств целого;

7) композиция (синтез): объединить части в целое, не теряя свойств частей;

8) решение: найти решение проблемы.

В отличие от традиционного подхода, при котором проблема решается в строгой последовательности вышеприведенных этапов (или в другом порядке), системный подход состоит в многосвязности процесса решения: этапы рассматриваются совместно, во взаимосвязи и диалектическом единстве. При этом возможен переход к любому этапу, в том числе и возврат к постановке цели исследования.

Главным признаком системного подхода является наличие доминирующей роли сложного, а не простого, целого, а не составляющих элементов. Если при традиционном подходе к исследованию мысль движется от простого к сложному, от частей — к целому, от элементов — к системе, то в системном подходе, наоборот, мысль движется от сложного к простому, от целого к составным частям, от системы к элементам. При этом эффективность системного подхода тем выше, чем к более сложной системе он применяется.

### ***3. Системная деятельность***

Всякий раз, когда ставится вопрос о технологиях системного анализа, сразу же возникают непреодолимые трудности, связанные с тем, что устоявшихся технологий системного анализа в практике нет. Системный анализ в настоящее время представляет собой слабосвязанную совокупность приемов и методов неформального и формального характера. В системном мышлении пока чаще господствует интуиция.

Ситуация усугубляется еще и тем, что, несмотря на полувековую историю развития системных идей, нет однозначности в

понимании самого системного анализа. Ю.П. Сурминым выделяются следующие варианты понимания сущности системного анализа:

- Отождествление технологии системного анализа с технологией научного исследования. При этом для самого системного анализа в этой технологии практически не находится места.

- Сведение системного анализа к системному конструированию. По сути, системно-аналитическая деятельность отождествляется с системотехнической деятельностью.

- Очень узкое понимание системного анализа, сведение его к одной из его составляющих, например к структурно-функциональному анализу.

- Отождествление системного анализа с системным подходом в аналитической деятельности.

- Понимание системного анализа как исследования системных закономерностей.

- В узком смысле под системным анализом довольно часто понимают совокупность математических методов исследования систем.

- Сведение системного анализа к совокупности методологических средств, которые используются для подготовки, обоснования и осуществления решений по сложным проблемам.

Таким образом, то, что называют системным анализом, представляет собой недостаточно интегрированный массив методов и приемов системной деятельности.

Сегодня упоминание о системном анализе можно найти во многих работах, связанных с управлением, решением проблем. И хотя его вполне справедливо рассматривают как эффективный метод изучения объектов и процессов управления, методики системной аналитики в решении конкретных управленческих задач практически

отсутствуют. Как пишет Ю.П. Сурмин: «Системный анализ в управлении представляет ныне не развитую практику, а нарастающие ментальные декларации, не имеющие какого-либо серьезного технологического обеспечения».

#### ***4. Подходы к анализу и проектированию систем***

При анализе и проектировании действующих систем различных специалистов могут интересовать разные аспекты: от внутреннего устройства системы до организации управления в ней. В связи с этим условно выделяют следующие подходы к анализу и проектированию: 1) системно-элементный, 2) системно-структурный, 3) системно-функциональный, 4) системно-генетический, 5) системно-коммуникативный, 6) системно-управленческий и 7) системно-информационный.

1. Системно-элементный подход. Непременной принадлежностью систем являются их компоненты, части, именно то, из чего образовано целое и без чего оно невозможно.

Системно-элементный подход отвечает на вопрос, из чего (каких элементов) образована система.

Этот подход иногда называли "перечислением" системы. Его вначале пытались применить для исследования сложных систем. Однако первые же попытки применить такой подход к исследованию систем управления предприятиями и организациями показали, что «перечислить» сложную систему практически невозможно.

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

2. Системно-структурный подход. Компоненты системы являются собой не набор случайных бессвязных объектов. Они интегрированы системой, являются компонентами именно данной системы.

Системно-структурный подход направлен на выявление компонентного состава системы и связей между ними, обеспечивающих целенаправленное функционирование.

При структурном исследовании предметом исследований, как правило, являются состав, структура, конфигурация, топология и т. п.

3. Системно-функциональный подход. Цель выступает в системе как один из важных системообразующих факторов. Но цель требует действий, направленных на ее достижение, которые есть не что иное, как ее функции. Функции по отношению к цели выступают как способы ее достижения.

Системно-функциональный подход направлен на рассмотрение системы с точки зрения ее поведения в среде для достижения целей.

При функциональном исследовании рассматриваются: динамические характеристики, устойчивость, живучесть, эффективность, т. е. все то, что при неизменной структуре системы зависит от свойств ее элементов и их отношений.

4. Системно-генетический подход. Любая система не является неизменной, раз и навсегда заданной. Она не абсолютна, не вечна главным образом потому, что ей присущи внутренние противоречия. Каждая система не только функционирует, но и движется, развивается; она имеет свое начало, переживает время своего зарождения и становления, развития и расцвета, упадка и гибели. А это значит, что время является непрямым атрибутом системы, что любая система исторична.

Системно-генетический (или системно-исторический) подход направлен на изучение системы с точки зрения ее развития во времени.

Системно-генетический подход определяет генезис — возникновение, происхождение и становление объекта как системы.

5. Системно-коммуникативный подход. Каждая система всегда является элементом (подсистемой) другой, более высокого уровня, системы, и сама, в свою очередь, образована из подсистем более низкого уровня. Иначе говоря, система связана множеством отношений (коммуникаций) с самыми различными системными и несистемными образованиями.

Системно-коммуникативный подход направлен на изучение системы с точки зрения ее отношений с другими, внешними по отношению к ней, системами.

6. Системно-управленческий подход. Система постоянно испытывает на себе возмущающие воздействия. Это - прежде всего внутренние возмущения, являющиеся результатом внутренней противоречивости любой системы. Это и внешние возмущения, которые далеко не всегда благоприятны: недостаток ресурсов, жесткие ограничения и т. д. Между тем система живет, функционирует, развивается. Значит, наряду со специфическим набором компонентов, внутренней организацией (структурой) и т. д., есть и другие системообразующие, системосохраняющие факторы. Эти факторы обеспечения устойчивости жизнедеятельности системы называют управлением.

Системно-управленческий подход направлен на изучение системы с точки зрения обеспечения ее целенаправленного функционирования в условиях внутренних и внешних возмущений.

7. Системно-информационный подход. Управление в системе немислимо без передачи, получения, хранения и обработки информации. Информация — это способ связи компонентов системы друг с другом, каждого из компонентов с системой в целом, а системы в целом — со средой. В силу сказанного, нельзя раскрыть сущность системности без изучения ее информационного аспекта.

Системно-информационный подход направлен на изучение системы с точки зрения передачи, получения, хранения и обработки данных внутри системы и в связи со средой.

### ***5. Методики системного анализа***

Методология системного анализа представляет собой довольно сложную и пеструю совокупность принципов, подходов, концепций и конкретных методов, а также методик. Наиболее важную часть методологии системного анализа составляют ее методы и методики (для простоты в дальнейшем обобщенно будем говорить о методиках).

#### **5.1. Обзор методик системного анализа**

Имеющиеся методики системного анализа еще не получили достаточно убедительной классификации, которая была бы принята единогласно всеми специалистами. Например, Ю. И. Черняк делит методы системного исследования на четыре группы: неформальные, графические, количественные, и моделирование. Достаточно глубокий анализ методик различных авторов представлен в работах В.Н. Волковой, а также Ю.П. Сурмина.

В качестве простейшего варианта методики системного анализа можно рассматривать такую последовательность:

- 1) постановка задачи;
- 2) структуризация системы;
- 3) построение модели;

4) исследование модели.

Другие примеры и анализ этапов первых методик системного анализа приведены в книге, где рассматриваются методики ведущих специалистов системного анализа 70-х и 80-х годов прошлого столетия: С. Оптнера, Э. Квейда, С. Янга, Е.П. Голубкова. Ю.Н. Черняка.

Примеры: Этапы методик системного анализа по С. Оптнеру:

1. Идентификация симптомов.
  2. Определение актуальности проблемы.
  3. Определение цели.
  4. Вскрытие структуры системы и ее дефектных элементов.
  5. Определение структуры возможностей.
  6. Нахождение альтернатив.
  7. Оценка альтернатив.
  8. Выбор альтернативы.
  9. Составление решения.
  10. Признание решения коллективом исполнителей и руководителей.
  11. Запуск процесса реализации решения
  12. Управление процессом реализации решения.
  13. Оценка реализации и ее последствий.
- Этапы методик системного анализа по С. Янгу:
1. Определение цели системы.
  2. Выявление проблем организации.
  3. Исследование проблем и постановка диагноза
  4. Поиск решения проблемы.
  5. Оценка всех альтернатив и выбор наилучшей из них.
  6. Согласование решений в организации.
  - 7 Утверждение решения.

8. Подготовка к вводу.
9. Управление применением решения.
10. Проверка эффективности решения.

Этапы методик системного анализа по Ю.И. Черняку:

1. Анализ проблемы.
2. Определение системы.
3. Анализ структуры системы.
4. Формирование общей цели и критерия.
5. Декомпозиция цели и выявление потребности в ресурсах и процессах.
6. Выявление ресурсов и процессов — композиция целей.
7. Прогноз и анализ будущих условий.
8. Оценка целей и средств.
9. Отбор вариантов.
10. Диагноз существующей системы.
11. Построение комплексной программы развития.
12. Проектирование организации для достижения целей.

Из анализа и сопоставления этих методик видно, что в них в той или иной форме представлены такие этапы:

- выявление проблем и постановки целей;
- разработка вариантов и модели принятия решения;
- оценка альтернатив и поиска решения;
- реализация решения.

Кроме того, в некоторых методиках имеются этапы оценки эффективности решений. В наиболее полной методике Ю.И. Черняка особо предусмотрен этап проектирования организации для достижения цели.

При этом различные авторы акцентируют свое внимание на разных этапах, соответственно более подробно их детализируя. В частности, основное внимание уделяется следующим этапам:

- разработке и исследованию альтернатив принятия решений (С. Оптнер, Э. Квейд), выбору решения (С. Оптнер);
- обоснованию цели и критериев, структуризации цели (Ю.И. Черняк, С. Оптнер, С. Янг);
- управлению процессом реализации уже принятого решения (С. Оптнер, С. Янг).

Поскольку выполнение отдельных этапов может занимать достаточно много времени, возникает необходимость большей их детализации, разделения на подэтапы и более четкого определения конечных результатов выполнения подэтапов. В частности, в методике Ю.И. Черняка каждый из 12 этапов разделен на подэтапы, которых в общей сложности — 72.

Из других авторов методик системного анализа можно назвать Э.А. Капитонова и Ю.М. Плотницкого.

Примеры: Э.А. Капитонов выделяет следующие последовательные этапы системного анализа.

1. Постановка целей и основных задач исследования.
2. Определение границ системы с целью отделения объекта от внешней среды, разграничения его внутренних и внешних связей.
3. Выявление сути целостности.

Близкий подход использует и Ю. М. Плотницкий, который рассматривает системный анализ как совокупность шагов по реализации методологии системного подхода в целях получения информации о системе. Он выделяет в системном анализе 11 этапов.

1. Формулировка основных целей и задач исследования.

2. Определение границ системы, отделение ее от внешней среды.

3. . Составление списка элементов системы (подсистем, факторов, переменных и т. д.).

4. Выявление сути целостности системы.

5. Анализ взаимосвязанных элементов системы.

6. Построение структуры системы.

7. Установление функций системы и ее подсистем.

8. Согласование целей системы и каждой подсистемы.

9. Уточнение границ системы и каждой подсистемы.

10. Анализ явлений эмерджентности.

11. Конструирование системной модели.

5.2. Разработка методик системного анализа

Конечная цель системного анализа — оказать помощь в понимании и решении имеющейся проблемы, что сводится к поиску и выбору варианта решения проблемы. Результатом будет выбранная альтернатива либо в виде управленческого решения, либо в виде создания новой системы (в частности, системы управления) или реорганизации старой, что опять же является управленческим решением.

Неполнота информации о проблемной ситуации затрудняет выбор методов ее формализованного представления и не позволяет сформировать математическую модель. В этом случае возникает необходимость в разработке методик проведения системного анализа.

Необходимо определить последовательность этапов системного анализа, рекомендовать методы для выполнения этих этапов, предусмотреть при необходимости возврат к предыдущим этапам. Такая последовательность определенным образом выделенных и упорядоченных этапов и подэтапов в сочетании с рекомендованными

методам и приемами их выполнения представляет собой структуру методики системного анализа.

Практики видят в методиках важный инструмент для решения проблем своей предметной области. И хотя к сегодняшнему дню накоплен большой их арсенал, но, к сожалению, следует признать, что разработка универсальных методов и методик не представляется возможной. В каждой предметной области, для различных типов решаемых проблем системному аналитику приходится разрабатывать свою методику системного анализа на базе множества принципов, идей, гипотез, методов и методик, накопленных в области теории систем и системного анализа.

Авторы книги рекомендуют при разработке методики системного анализа прежде всего определить тип решаемой задачи (проблемы). Затем, если проблема охватывает несколько областей: выбор целей, совершенствование оргструктуры, организацию процесса принятия и реализации решения, выделить в ней эти задачи и разработать методики для каждой из них.

### 5.3. Пример методики системного анализа предприятия

В качестве примера современной методики системного анализа рассмотрим некую обобщенную методику анализа предприятия.

Предлагается следующий перечень процедур системного анализа, который может быть рекомендован менеджерам и специалистам по экономическим информационным системам.

1. Определить границы исследуемой системы (см. выделение системы из окружающей среды).
2. Определить все подсистемы, в которые входит исследуемая система в качестве части.

Если выясняется воздействие на предприятие экономической среды, именно она и будет той надсистемой, в которой следует

рассматривать его функции (см. иерархичность). Исходя из взаимосвязанности всех сфер жизни современного общества, любой объект, в частности, предприятие, следует изучать в качестве составной части многих систем — экономических, политических, государственных, региональных, социальных, экологических, международных. Каждая из этих надсистем, например экономическая, в свою очередь имеет немало компонентов, с которыми связано предприятие: поставщики, потребители, конкуренты, партнеры, банки и т. д. Эти же компоненты входят одновременно и в другие надсистемы — социокультурную, экологическую и т. п. А если еще учесть, что каждая из этих систем, а также каждый из их компонентов имеют свои специфические цели, противоречащие друг другу, то становится ясной необходимость сознательного изучения среды, окружающей предприятие (см. расширение проблемы до проблематики). В противном случае вся совокупность многочисленных влияний, оказываемых надсистемами на предприятие, будет казаться хаотичной и непредсказуемой, исключая возможность разумного управления им.

3. Определить основные черты и направления развития всех надсистем, которым принадлежит данная система в частности, сформулировать их цели и противоречия между ними.

4. Определить роль исследуемой системы в каждой надсистеме, рассматривая эту роль как средство достижения целей надсистемы.

Следует рассмотреть при этом два аспекта:

- идеализированную, ожидаемую роль системы с точки зрения надсистемы, т. е. те функции, которые следовало бы выполнять, чтобы реализовать цели надсистемы;
- реальную роль системы в достижении целей надсистемы.

Например, с одной стороны, оценка потребностей покупателей в конкретном виде товаров, их качестве и количестве, а с другой — оценка параметров товаров, реально выпускаемых конкретным предприятием.

Определение ожидаемой роли предприятия в потребительской среде и его реальной роли, а также их сравнение, позволяют понять многие причины успеха или неудачи компании, особенности его работы, предвидеть реальные черты ее будущего развития.

5. Выявить состав системы, т. е. определить части, из которых она состоит.

6. Определить структуру системы, представляющую собой совокупность связей между ее компонентами.

7. Определить функции активных элементов системы, их «вклад» в реализацию роли системы в целом.

Принципиально важным является гармоническое, непротиворечивое сочетание функций разных элементов системы. Эта проблема особенно актуальна для подразделений, цехов крупных предприятий, чьи функции часто во многом «не состыкованы», недостаточно подчинены общему замыслу.

8. Выявить причины, объединяющие отдельные части в систему, в целостность.

Они носят название интегрирующих факторов, к которым в первую очередь относится человеческая деятельность. В ходе деятельности человек осознает свои интересы, определяет цели, осуществляет практические действия, формируя системы средств для достижения целей. Исходным, первичным интегрирующим фактором является цель.

Цель в любой сфере деятельности представляет собой сложное сочетание различных противоречивых интересов. В пересечении

подобных интересов, в своеобразной их комбинации заключается истинная цель. Всестороннее познание ее позволяет судить о степени устойчивости системы, о ее непротиворечивости, целостности, предвидеть характер ее дальнейшего развития.

9. Определить все возможные связи, коммуникации системы с внешней средой.

Для действительно глубокого, всестороннего изучения системы недостаточно выявить ее связи со всеми подсистемами, которым она принадлежит. Необходимо еще познать такие системы во внешней среде, которым принадлежат компоненты исследуемой системы. Так, следует определить все системы, которым принадлежат работники предприятия — профсоюзы, политические партии, семьи, системы социокультурных ценностей и этических норм, этнические группы и г. д. Необходимо также хорошо знать связи структурных подразделений и работников предприятия с системами интересов и целей потребителей, конкурентов, поставщиков, зарубежных партнеров и пр. Нужно также видеть связь между используемыми на предприятии технологиями и «пространством» научно-технического процесса и т. и. Осознание органического, хотя и противоречивого единства всех систем, окружающих предприятие, позволяет понимать причины его целостности, предотвращать процессы, ведущие к дезинтеграции.

10. Рассмотреть исследуемую систему в динамике, в развитии.

Для глубокого понимания любой системы нельзя ограничиваться рассмотрением коротких промежутков времени ее существования и развития. Целесообразно по возможности исследовать всю ее историю, выявить причины, побудившие создать эту систему, определить иные системы, из которых она выросла и строилась. Также важно изучать не только историю системы или

динамику ее нынешнего состояния, но и попытаться, используя специальные приемы, увидеть развитие системы в будущем, т. е. прогнозировать ее будущие состояния, проблемы, возможности.

Необходимость динамического подхода к исследованию систем легко проиллюстрировать сравнением двух предприятий, у которых в какой-то момент времени совпали значения одного из параметров, например, объем продаж. Из этого совпадения совсем не вытекает, что предприятия занимают на рынке одинаковое положение: одно из них может набирать силу, двигаться к расцвету, а другое, наоборот, переживать спад. Поэтому судить о любой системе, в частности, о предприятии нельзя лишь по «моментальной фотографии» по одному значению какого-либо параметра; необходимо исследовать изменения параметров, рассмотрев их в динамике.

Изложенная здесь последовательность процедур системного анализа не является обязательной и закономерной. Обязательным является скорее сам перечень процедур, чем их последовательность. Единственное правило заключается в целесообразности многократного возвращения в ходе исследования к каждой из описанных процедур. Только это является залогом глубокого и всестороннего изучения любой системы.

### Резюме

1. Любая научная, исследовательская и практическая деятельность проводится на базе методов (приемов или способов действия), методик (совокупности методов и приемов проведения какой-либо работы) и методологий (совокупности методов, правил распределения и назначения методов, а также шагов работы и их последовательности).

2. Наиболее общим понятием, которое обозначает все возможные проявления систем, является «системность», которую предлагается рассматривать в трех аспектах:

а) системная теория дает строгое научное знание о мире систем и объясняет происхождение, устройство, функционирование и развитие систем различной природы;

б) системный подход - выполняет ориентационную и мировоззренческую функции, обеспечивает не только видение мира, но и ориентацию в нем;

в) системный метод — реализует познавательную и методологическую функции.

3. Системный анализ не является чем-то принципиально новым в исследовании окружающего мира и его проблем — он базируется на естественнонаучном подходе. В отличие от традиционного подхода, при котором проблема решается в строгой последовательности вышеприведенных этапов (или в другом порядке), системный подход состоит в многосвязности процесса решения.

4. Главным признаком системного подхода является наличие доминирующей роли сложного, а не простого, целого, а не составляющих элементов. Если при традиционном подходе к исследованию мысль движется от простого к сложному, от частей — к целому, от элементов — к системе, то при системном подходе, наоборот, мысль движется от сложного к простому, от, целого к составным частям, от системы к элементам.

5. При анализе и проектировании действующих систем различных специалистов могут интересовать разные аспекты — от внутреннего устройства системы до организации управления, в ней, что порождает следующие подходы к анализу и проектированию; системно-элементный, системно-структурный, системно-

функциональный, системно-генетический, системно-коммуникативный, системно-управленческий и системно-информационный.

6. Методология системного анализа представляет совокупность принципов, подходов, концепций и конкретных методов, а также методик.

## Ответы на некоторые контрольные вопросы по теории систем и системному анализу.

### *1. Дайте определение модели «черный ящик».*

«Черный ящик» - термин, который обозначает систему или механизм работы, которой очень сложен, неизвестен или неважен в рамках данной задачи. Такие системы обычно имеют некий «вход» для ввода информации и «выход» для отображения результатов работы. Состояние выходов обычно функционально зависит от состояния входов. В модель включается то, что существенно для достижения цели (целевое назначение модели).

Модель «черного ящика» - модель системы, представляющая собой структуру с известными выходными и входными параметрами и неизвестным внутренним устройством. Исследуя известные параметры, с помощью такой модели можно получить представление о внутреннем устройстве.



### *2. Приведите примеры:*

- а) системы, предназначенной для выполнения определенной цели, но которую можно использовать и для других целей;
- б) системы, спроектированной специально для реализации нескольких различных целей;

Система – совокупность объектов, обладающих интегративным свойством.

Интегративные свойства системы:

Самолёт предназначен для воздушных перевозок, но не может совершать подводные плавания. Результат действия – перемещение по воздуху.

Лопата предназначена только для копания сыпучих материалов, но не для обработки драгоценных камней. Результат действия – перенос сыпучих материалов.

а) Например, можно привести ситуацию 90-х годов в России, когда произошла конверсия военного производства - перевод предприятий, выпускающих военную продукцию, на производство гражданской, мирной продукции, а также использование их научно-технических разработок в мирных целях. Например, Красногорский завод имени С.А. Зверева, выпускавший военно-техническую оптику, так же начали выпуск бытовой оптики «Зенит».

б) Корпорация Sony - производитель аудио и видео техники, но отличается тем, что она не только производит телевизоры, видеокамеры и музыкальные центры, но и ведет огромную научно-исследовательскую работу. Специализируется не только на электронной технике, но и на производстве аккумулярующих устройств, необходимых к электронной технике аксессуаров и ведет научно-исследовательские работы в сфере микроэлектроники и кибернетики.

***3. Сформулируйте цель работы вашего направления так, чтобы она не была общей для других направлений, в том числе для родственных факультетов других вузов.***

Характерной чертой новой экономики информационного общества как раз и является то, что она все больше основывается на

инновациях, информационных продуктах и знаниях, а не только на расширяющемся потреблении невозполнимых природных ресурсов. Основной задачей факультета информатики является подготовка квалифицированных кадров, способных разрабатывать и внедрять сложные информационные и интеллектуально-аналитические системы в бизнесе и государственном секторе управления. Выпускники факультета информатики готовы к профессиональной деятельности в качестве разработчиков ИС в экономике и менеджменте, специалистов по управлению корпоративными информационными системами и информационными ресурсами организации, разработчиков информационных технологий электронного бизнеса, когнитивных и системных бизнес-аналитиков, специалистов по технологиям управления знаниями организации, IT-консультантов.

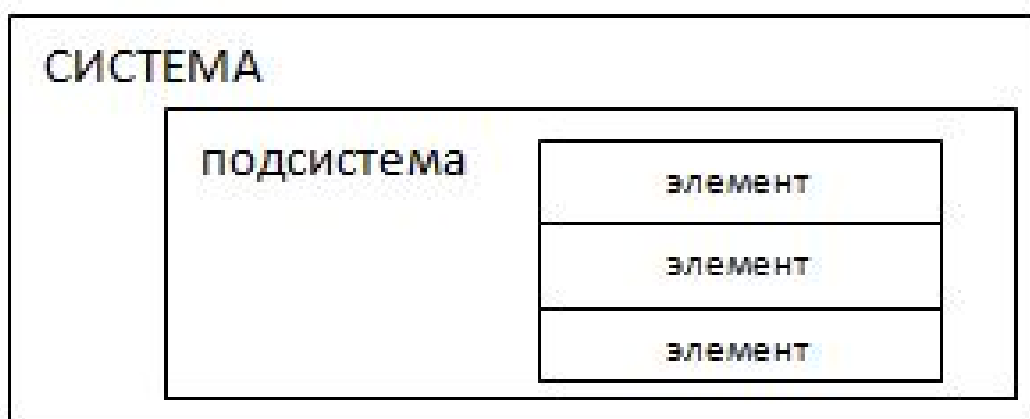
***4. Приведите пример, когда модель «черного ящика» оказывается единственно применимой.***

Модель «черного ящика» часто оказывается не только очень полезной, но в ряде случаев единственно применимой при изучении систем. Например, при исследовании психики человека или влияния лекарства на живой организм мы лишены возможности вмешательства в систему иначе, как только через ее входы, и выводы делаем только на основании наблюдения за ее выходами. Это вообще относится к таким исследованиям, в результате проведения которых нужно получить данные о системе в обычной для нее обстановке, где следует специально заботиться о том, чтобы измерения как можно меньше влияли на саму систему. Другая причина того, что приходится ограничиваться только моделью "черного ящика", - действительное отсутствие данных о внутреннем устройстве системы. Например, мы не знаем, как "устроен" электрон, но знаем, как он взаимодействует с

электрическими и магнитными полями, с гравитационным полем. Это и есть описание электрона на уровне модели «черного ящика».

### ***5. Дайте определения модели состава.***

Модель состава системы - более детальный анализ системы, разбив её на части, которые могут быть, в свою очередь, разбиты на составные части и т.д, где элемент системы - неделимые части системы, а подсистема - часть системы, состоящая более чем из одного элемента.



Пример: Система – семья. Подсистема – члены семьи, имущество семьи. Элементы – [муж, жена, дети, родственники и т.д.], [общее жилье и хозяйство, личная собственность и т.д.].

### ***6. Причины множественности вариантов модели состава системы.***

Поскольку границы системы не имеют абсолютного характера и если разным экспертам дать задание определить состав одной и той же системы, то результат их работы будет различаться из-за различия знаний о системе и понятием элементарности.

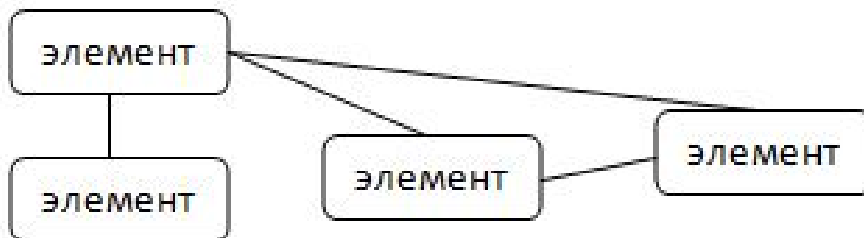
1. Понятие элемента, элементарности можно определить по-разному.

2. Как и любые модели, модель состава является целевой, и для различных целей модель состава будет разной.

3. Всякое разделение целого на части является в определенной степени условным. Другими словами, границы между подсистемами условны, относительны. То же можно сказать о границах самой системы с окружающей средой.

**7. Сформулируйте определение для структурной модели системы.**

Структурная модель системы - установление определенных связей между подсистемами и элементами - отношений. Совокупность необходимых и достаточных для достижения цели отношений между элементами называется структурой системы.



**8. Может ли число элементов системы превышать число связей между ними?**

Возможно, если структура системы имеет линейный вид. Но возможен случай, когда количество связей превышают количество элементов (иерархические структуры), так как такие структурные связи обладают относительной независимостью от элементов системы.

**9. Дайте определение безинерционной системы.**

Безинерционная система - контролируемая система, имеющая признак, что через какое время система отреагирует на сигнал, который изменится только во время влияния над ней.

**10. В чем основная сложность моделирования систем с запаздыванием?**

Система с запаздыванием - такая система, в структуре которой есть хотя бы один элемент, в котором содержится неизменное

запаздывание во времени изменения выходной координаты (степени свободы) после начала изменения входной.

На входе системы сигнал (данные) на выходе системы начинает изменяться только спустя некоторое время (поэтапный запуск системы). Это время называется временем запаздывания, которое обусловлено собственной конечной скоростью распространения сигнала.

### ***11. Экономическая интерпретация понятия «степень свободы».***

Разность между числом независимых уравнений и числом неизвестных в системе. Если число степеней свободы равно нулю, то система имеет единственное решение. В экономических исследованиях каждую степень свободы связывают с количественно измеряемой характеристикой системы.

### ***12. Какие методики используются для системного анализа экономических структур? Почему существует проблема выбора методов исследования?***

Поскольку в каждой методике типы моделей являются формальными (не относятся к конкретной системе) и для каждой такой модели придать конкретное содержание, т.е. решить какие характеристики реальной системы нужно «вписать» в формальную модель избранного типа и какие нет, можно считать, что есть проблема выбора метода исследования в системном анализе.

Методика системного анализа - разрабатывается и применяется в тех случаях, когда у лиц, принимающих решения, на начальном этапе нет достаточных сведений о системе или проблемной ситуации, позволяющих выбрать метод формализованного представления, сформировать математическую модель или применить один из новых

подходов к моделированию, сочетающих качественные и количественные методы.

Методика структуризации целей и функций - последовательность этапов и средств их реализации, облегчающих формирование, оценку и анализ целей и функций систем управления. При разработке методики необходимо иметь представление о понятии цели, неоднозначности его использования, о закономерностях целеобразования, играющих важную роль при формировании и анализе структур целей. Методика структуризации целей и функций, основанная на концепции системы, учитывающей среду и целеполагание - базируется на определении системы В.Н. Саратовского, где учитываются понятия цели, среды и интервала времени периода существования системы, влияющего на процесс целеобразования.

### ***13. Содержание системного анализа на этапе формулировки проблемы?***

Формулировку проблемы осуществляет инициатор системных исследований (заказчик, руководитель, исследователь). Чаще всего она только обозначает сферу интересов. Когда первоначальная формулировка проблемы внешне имеет вполне конкретный характер, это не значит, что так же будет звучать и постановка задачи. Это обусловлено следующими причинами:

Во-первых, проблемосодержащая система не является изолированной. Она связана с другими системами своего уровня, может входить составной частью в некую надсистему или включать в себя другие системы в качестве подсистем. Т.е. при решении проблемы нужно учитывать как результаты решения скажутся на окружении проблемосодержащей системы.

Во-вторых, формируемая заказчиком постановка задачи является его представлением или моделью реальной проблемной ситуации. Обычно это представление имеет приблизительный характер и в процессе проверки на адекватность требует уточнения, дополнения и расширения. Указанное обязывает аналитика считать любую исходную формулировку проблемы лишь «нулевым приближением» постановки задачи на проведение системного исследования.

***14. В чем заключается смысловое содержание понятия «проблематика в системном анализе»?***

Проблематика в системном анализе определяется как сплетение, комплекс проблем, которые неразрывно связаны с проблемой, подлежащей разрешению. Формулировка проблематики заключается в том, чтобы дать развернутую картину того, кто из ближайшего окружения системы и в чем заинтересован, какие изменения они хотят привнести в решение проблемы.

***15. Содержание результатов системного анализа на этапе формирования проблематики?***

Результатом формирования проблематики является всестороннее описание проблемы. Это достигается путем охвата всего круга участников:

1) Участников, принимающих решения, т.е. тех, от полномочий которых непосредственно зависит решение проблемы (руководителей образовательных учреждений, работников органов управления образованием и т.д.).

2) Активных участников, чьи действия (содействия) потребуются при решении проблемы.

3) Пассивных по отношению к решаемой проблеме участников, на ком скажутся (положительным или отрицательным образом) последствия решения проблемы.

4) Участников с возможным негативным отношением к решению проблемы, которые могут предпринять враждебные действия.

4. Что представляет собой конфигуратор проблемы?

Конфигуратор проблемы - совокупность всех языков, на которых будет описываться решаемая проблема (задание структуры подсистемы, построенной на имеющейся проблематике (проблематической надсистемой)).

***16. В чем заключается содержание системного анализа на этапе постановки задачи?***

К постановке задачи можно приступить, располагая первоначальной формулировкой подлежащей решению проблемы, ее проблематикой и конфигурацией. На этом этапе необходимо перевести существующую проблему в приемлемую постановку задачи принятия решения, реализация которой позволит устранить (или ослабить) проблему.

***17. В чем заключается содержание системного анализа на этапе определения целей?***

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. Стремление удовлетворить все заинтересованные стороны при решении проблемы для этапа «Определение целей» имеет следствием множественность целей. Сформулированные цели по мере проведения системного анализа изменяются или отменяются совсем. Поэтому целеполагание

должно предусматривать возможности уточнения, расширения и даже замены первоначальных целей системного анализа. На данном этапе системного анализа следует понимать, что определить правильную цель важнее, чем найти наилучшую альтернативу.

### ***18. Для чего нужны критерии в системном анализе?***

Наиболее широко в настоящее время в системном анализе используются критерии. Часто по результатам работы с критериями приходится пересматривать список альтернатив до тех пор, пока значения важнейших характеристик не попадут в требуемый диапазон, или менять цели, отказываясь от реализации второстепенных до более благоприятного времени. Эти критерии можно использовать поочередно, причем после вычисления их значений среди нескольких вариантов приходится произвольным образом выделять некоторое окончательное решение. Что позволяет, во-первых, лучше проникнуть во все внутренние связи проблемы принятия решений и, во-вторых, ослабить влияние субъективного фактора.

### ***19. Как соотносятся понятия "цель" и "критерии"?***

Задание целей, поиск путей их достижения и выбор критериев оценки альтернатив достижения целей всегда взаимосвязаны. Цель является главным звеном в принятии решений, а критерии — исходящим из цели. Критерий — это признак, основание, мерило оценки чего-либо, необходимо для обозначения видов связи суждений.

### ***20. В чем заключается содержание системного анализа на этапе генерирования альтернатив?***

Генерирование альтернатив (создание множества возможных способов достижения сформулированной цели) — творческий этап системного анализа, во многом определяющий окончательный результат. Для генерирования альтернатив применяют различные

приемы и методы: мозговой штурм, поиск аналогий, разработка сценариев, морфологический анализ, деловые зрелище и др. конечная цель системного анализа состоит в выборе наилучшей альтернативы на заданном множестве и в обосновании этого выбора. 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 на первый взгляд даже самые нереализуемые.

***21. В чем заключается содержание системного анализа на этапе моделирования?***

Моделирование – один из методов, которые используются при проектировании и исследовании больших систем. Моделирование осуществляется через эксперимент-процедуру организации и наблюдения каких-нибудь явлений, которые осуществляются в условиях, близким к действительным, или имитируют их. Основная общая цель моделирования заключается в наблюдении за системой, подверженной воздействию внешних или внутренних факторов при достижении системой определенного состояния, которое может быть как задано, так и неизвестно, из-за отсутствия информации или по каким либо иным причинам. Моделирование позволяет определить сможет ли система функционировать при таких условиях или нет, во время этого перехода. В зависимости от реальной модели и цели расширяются и конкретизируются.

***22. На каких этапах системного анализа используются системные диаграммы, и каким образом?***

На этапе моделирования используются системные диаграммы. С помощью системных диаграмм легко изобразить взаимосвязи, труднопередаваемые словами: непоследовательные, нелинейные,

непостоянные во времени взаимоотношения, осуществляемые с задержками и учитывающие субъективный фактор. Этот графический язык отлично подходит и для того, чтобы выразить системные взаимосвязи, характерные для какой-либо ситуации

**Курс лекций составлен по материалам следующих изданий:**

1. Качала В.В. Основы теории систем и системного анализа. Учебное пособие для вузов. М.: Горячая линия – Телеком, 2007. 216 с.
2. Лернер А.Я. Начала кибернетики. — М.: Наука, 1967. — 400 с.
3. Мантуров О.В. и др. Толковый словарь математических терминов. — М.: Просвещение, 1965. — 539 с.
4. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Введение в системный анализ. — М Высш. шк., 1989. — 367 с.
5. Системный анализ и структуры управления Г. Шорина
6. Философский словарь. / под ред. М.М. Розенталя. — М.: Политиздание 1972. — 496 с.
7. Анфилатов В.С., Емельянов А.А., Кукушкин А.А. Системный анализ в управлении. - М.: Финансы и статистика, 2003. - 368 с.
8. Вир Ст. Кибернетика и управление производством. - М.: Наука, 1965. - 391 с.
9. Вир Ст. Мозг фирмы. - М.: УРСС. 2005 - 416 с
10. Боулдинг К. Общая теории систем - скелет науки // Исследования по общей теории систем М. - М.: Прогресс, 1969. – С. 106-124.
11. Васильев В. И., Романов Л. Г., Червонный А. А. Основы теории систем: Конспект лекций. - М.: МГТУ ГА. 1994. - 104 с
12. Волкова В. И., Денисов А. А. Основы теории управления и системного анализа. - СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. - 510 с
13. Гуд Г.Х., Макол Р. З. Системотехника. Введение в проектирование больших систем - М.: Сов. радио. 1962. - 383 с.

14. Дружинин В.В., Конторов Д.С. Проблемы системологии (проблемы теории сложных систем). - М.: Сов. радио. 1970. - 296.
15. Карташев В.А. Система систем. Очерки общей теории и методологии - М.: Прогресс-академия, 1995. - 416 с.
16. Качала В.В. Основы системного анализа. Мурманск: Изд-во МГТУ, 2004. - 104 с.
17. Ковалевский В. П. Проблемы теории и методологии проектирования регионального университетского комплекса // Университетское управление: практика и анализ. 2003. № 2(25). С. 25-30.
18. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Введение в системный анализ - М.: Высш. шк. 1980. - 367с.
19. Могиленский В.Д. Методология систем. - М.: Экономика, 1999. - 251 с.
20. Методологические проблемы кибернетики: В 2-х т. - М.: МГУ. 1970. Т. 1. - 350 с. Т. 2. - 289 с.
21. О'Конор Д., Мак-Дермот Я. Искусство системного мышления. Творческий подход к решению проблем и его основные стратегии. Киев: София, 2001. - 304 с.
22. Поваров В.М. Об уровнях сложности систем // Методологические проблемы кибернетики: материалы к Всесоюзн. конф. - М.: МГУ, 1970. Т. 2. - С 176-179.
23. Прангишвили И.В. Системный подход и общесистемные закономерности - М.: СИН-ТЕГ, 2000. - 528 с.
24. Прангишвили И.В. Энтропийные и другие системные закономерности: Вопросы управления сложными системами. - М.: Наука, 2003. - 128 с.
25. Разум побеждает. Рассказывают ученые/Сост. Е. В. Дубровский. - М.: Политиздат, 1979 - 352 с.

26. Системный анализ в экономике и организации производства / С.А. Валуев, В.Н. Волкова, А.П. Градов и др. - Л.: Политехника, 1991. - 398 с.

27. Системный анализ и принятие решений: Словарь-справочник: Учебное пособие для вузов / Под ред. В.Н. Волковой. В. Н. Козлова. - М.: Высш. шк. 2004. - 616 с.

28. Сурмин Ю.П. Теория систем и системный анализ: Учеб. пособие.- Киев: МЛУП, 2003. - 368 с.

29. Теория систем и методы системного анализа в управлении и связи. / В.Н. Волкова, В.А. Во-ронков, А.А. Денисов и др. - М.: Радио и связь, 1983

30. Черняк Ю.И. Анализ и синтез систем в экономике. - М.: Экономика, 1970. - 151 с.

31. Черняк Ю.И. Системный анализ в управлении экономикой. - М.: Экономика, 1975. - 191 с.

32. Флейшман Б. С. Элементы теории потенциальной эффективности сложных систем. - М.: Сов. радио, 1971. - 225 с.

33. Фон Нейман Дж.: Общая и логическая теория автоматов // Тьюринг А. Может ли машина мыслить? - М.: ИЛ, 1960. - С. 59-102.

34. Энциклопедия кибернетики. В 2-х т. - Киев: Главная редакция УСЭ 1974. Т. 2. - 619 с

35. Эшби У.Р. Введение в кибернетику. - М.: Изд-во иностранной литературы. 1959 - 432 с

36. Берталанфи Л. Общая теория систем: Критический обзор // Исследования по общей теории систем. - М.: Прогресс, 1969. - С. 23-82.

37. Волкова В.Н. Концепции современного естествознания: Учебное пособие. - СПб.: Изд-во Политехи, ун-та, 2006. - 200 с.

38. Волкова В.Н., Денисов А.А. Основы теории управления и системного анализа. - СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. - 510 с.