

Конспект лекций по дисциплине

«Теория систем и системный анализ»

для специальности «Прикладная информатика»
заочная форма обучения

1. Лекция: История, предмет, цели системного анализа

Рассматриваются история развития и предмет системного анализа, системные ресурсы общества, предметная область системного анализа, системные процедуры и методы, системное мышление.

Цель лекции: введение в краткую историю, предмет и значение системного анализа как методологии, научной области, технологической дисциплины и принципа мышления.

Можно говорить о наступлении этапа научного, системно-междисциплинарного подхода к проблемам науки, образования, техники и технологии, этапа, концентрирующего внимание не только на вещественно-энергетических, но и на системно-междисциплинарных аспектах, построении и исследовании системно-информационной картины мира, о наступлении этапа системных парадигм.

Системный анализ, чьи основы являются достаточно древними, - все же сравнительно молодая наука (сравнима по возрасту, например, с кибернетикой). Хотя она и активно развивается, ее определяющие понятия и термины недостаточно формализованы (если это вообще возможно осуществить). Системный анализ применяется в любой предметной области, включая в себя как частные, так и общие методы и процедуры исследования.

Эта наука, как и любая другая, ставит своей целью исследование новых связей и отношений объектов и явлений. Но, тем не менее, основной проблемой нашей науки является исследование связей и отношений таким образом, чтобы изучаемые объекты стали бы более управляемыми, изучаемыми, а "вскрытый" в результате исследования механизм взаимодействия этих объектов - более применимым к другим объектам и явлениям. Задачи и принципы системного подхода не зависят от природы объектов и явлений.

При изложении основ анализа, синтеза и моделирования систем возможны два основных подхода: формальный и понятийно-содержательный. Формальный подход использует формальный математический аппарат различного уровня строгости и общности (от простых соотношений до операторов, функторов, категорий, алгебр). Понятийно-содержательный подход - концентрируется на основных понятиях, идеях, подходе, концепциях, возможностях, на основных методологических принципах, использует "полуформальное" введение в суть рассматриваемых идей и понятий. Многие идеи и принципы системного анализа, хотя и более точны, строги на формальном языке изложения, тем не менее, сохраняют свою силу, актуальность, возможность эффективного использования и на содержательном языке. Необходимо отметить, что часто один удачный понятный пример имеет большее значение для понимания этих принципов, чем строгие математические определения. Кроме того, фактор неопределенности в системном анализе ограничивает применимость строгих математических формулировок и выводов. Мы ниже будем придерживаться, в основном, содержательно-понятийного подхода, применяя там, где это будет признано необходимым, формальные определения и положения, хотя отчетливо осознаем, что для изложения основ науки, претендующей на роль методологической, необходима высокая степень формализации, вплоть до создания

аксиом. Таким подходом мы хотим расширить и круг читателей, которым будет доступен и полезен этот курс лекций. Несмотря на содержательные формулировки и алгоритмические процедуры некоторых приводимых основных положений и фактов, они имеют в основе достаточно формальный фундамент.

Слово "система" (организм, строй, союз, целое, составленное из частей) возникло в Древней Греции около 2000 лет назад. Древние ученые (Аристотель, Демокрит, Платон и другие) рассматривали сложные тела, процессы и мифы мироздания как составленные из различных систем (например, атомов, метафор). Развитие астрономии (Коперник, Галилей, Ньютон и другие) позволило перейти к гелиоцентрической системе мира, к категориям типа "вещь и свойства", "целое и часть", "субстанция и атрибуты", "сходство и различие" и др. Далее развитие системного анализа происходит под влиянием различных философских воззрений, теорий о структуре познания и возможности предсказания (Бэкон, Гегель, Ламберт, Кант, Фихте и другие). В результате такого развития системный анализ выходит на позиции методологической науки. Естествоиспытатели XIX-XX вв. (Богданов, Бергаланфи, Винер, Эшби, Цвикки и другие) не только актуализировали роль модельного мышления и моделей в естествознании, но и сформировали основные системообразующие принципы, принципы системности научного знания, "соединили" теорию открытых систем, философские принципы и достижения естествознания. Современное развитие теории систем, системный анализ получили под влиянием достижений как классических областей науки (математика, физика, химия, биология, история и др.), так и неклассических областей (синергетика, информатика, когнитология, теории нелинейной динамики и динамического хаоса, катастроф, нейроматематика, нейроинформатика и др.). Необходимо особо подчеркнуть влияние техники (с древнейших времен) и технологии (современности) на развитие системного анализа, в частности, на ее прикладную ветвь - системотехнику, на методологию проектирования сложных технических систем. Это влияние - взаимное: развитие техники и технологии обогащает системный анализ новыми методами, моделями, средами.

Эпоха зарождения основ системного анализа была характерна рассмотрением чаще всего систем физического или философского (гносеологического) происхождения. При этом постулат (Аристотеля): "Важность целого превышает важности его составляющих" сменился позже на новый постулат (Галилея): "Целое объясняется свойствами его составляющих".

Наибольший вклад в зарождение и развитие системного анализа, системного мышления внесли такие ученые, как Р. Декарт, Ф. Бэкон, И. Кант, И. Ньютон, Ф. Энгельс, А.И. Берг, А.А. Богданов, Н. Винер, Л. Бергаланфи, Ч. Дарвин, И. Пригожин, Э. Эшби, А.А. Ляпунов, Н.Н. Моисеев и другие. Идеи системного анализа развивали также А. Аверьянов, Р. Акофф, В. Афанасьев, Р. Абдеев, И. Блауберг, Н. Белов, Л. Бриллюэн, Н. Бусленко, В. Волкова, Д. Гвишиани, В. Геодакян, К. Гэйн, Дж. ван Гиг, А. Денисов, Е. Дубровский, В. Завадский, Ю. Климонтович, Д. Колесников, Э. Квейд, В. Кузьмин, О. Ланге, Е. Луценко, В. Лекторский, В. Лефевр, Ю. Либих, А. Малиновский, М. Месарович, В. Могилевский, К. Негойце, Н. Овчинников, С. Оптнер, Дж. Патерсон, Ф. Перегудов, Д. Поспелов, А. Рапопорт, Л. Растринг, С. Родин, Л. Розенблют, В. Садовский, В. Сегал, В. Симанков, Б. Советов, В. Солодовников, Ф. Тарасенко, К. Тимирязев, А. Уемов, Ю. Черняк, Г. Хакен, Дж. Холдейн, Г. Шустер, А. Шилейко, Г. Щедровицкий, Э. Юдин, С. Яковлев, С. Янг и многие другие.

Предметная область - раздел науки, изучающий предметные аспекты системных процессов и системные аспекты предметных процессов и явлений. Это определение можно считать системным определением предметной области.

Системный анализ - совокупность понятий, методов, процедур и технологий для изучения, описания, реализации явлений и процессов различной природы и характера, междисциплинарных проблем; это совокупность общих законов, методов, приемов исследования таких систем.

Системный анализ - методология исследования сложных, часто не вполне определенных проблем теории и практики.

Строго говоря, различают три ветви науки, изучающей системы:

1. системологию (теорию систем) которая изучает теоретические аспекты и использует теоретические методы (теория информации, теория вероятностей, теория игр и др.);

2. системный анализ (методологию, теорию и практику исследования систем), который исследует методологические, а часто и практические аспекты и использует практические методы (математическая статистика, исследование операций, программирование и др.);

3. системотехнику, системотехнологику (практику и технологию проектирования и исследования систем).

За термин системотехнологика ответственность несет автор. Такое деление достаточно условно.

Общим у всех этих ветвей является системный подход, системный принцип исследования - рассмотрение изучаемой совокупности не как простой суммы составляющих (линейно взаимодействующих объектов), а как совокупности нелинейных и многоуровневых взаимодействующих объектов.

Любую предметную область также можно определить как системную.

Пример. Информатика - наука, изучающая информационно-логические и алгоритмические аспекты системных процессов, системные аспекты информационных процессов. Это определение можно считать системным определением информатики.

Системный анализ тесно связан с синергетикой. Синергетика - междисциплинарная наука, исследующая общие идеи, методы и закономерности организации (изменения структуры, ее пространственно-временного усложнения) различных объектов и процессов, инварианты (неизменные сущности) этих процессов. "Синергический" в переводе означает "совместный, согласованно действующий". Это теория возникновения новых качественных свойств, структур на макроскопическом уровне.

Системный анализ тесно связан и с философией. Философия дает общие методы содержательного анализа, а системный анализ - общие методы формального, межпредметного анализа предметных областей, выявления и описания, изучения их системных инвариантов. Можно дать и философское определение системного анализа: системный анализ - это прикладная диалектика.

Системный анализ предоставляет к использованию в различных науках, системах следующие системные методы и процедуры:

1. абстрагирование и конкретизация;
2. анализ и синтез, индукция и дедукция;
3. формализация и конкретизация;
4. композиция и декомпозиция;
5. линеаризация и выделение нелинейных составляющих;
6. структурирование и реструктурирование;
7. макетирование;
8. реинжиниринг;
9. алгоритмизация;
10. моделирование и эксперимент;
11. программное управление и регулирование;
12. распознавание и идентификация;
13. кластеризация и классификация;
14. экспертное оценивание и тестирование;
15. верификация
16. и другие методы и процедуры.

Имеются следующие основные типы ресурсов в природе и в обществе.

1. Вещество - наиболее хорошо изученный ресурс, который в основном представлен таблицей Д.И. Менделеева достаточно полно и пополняется не так часто. Вещество выступает как отражение постоянства материи в природе, как мера однородности материи.

2. Энергия - не полностью изученный тип ресурсов, например, мы не владеем управляемой термоядерной реакцией. Энергия выступает как отражение изменчивости материи, переходов из одного вида в другой, как мера необратимости материи.

3. Информация - мало изученный тип ресурсов. Информация выступает как отражение порядка, структурированности материи, как мера порядка, самоорганизации материи (и социума). Сейчас этим понятием мы обозначаем некоторые сообщения; ниже этому понятию мы посвятим более детальное обсуждение.

4. Человек - выступает как носитель интеллекта высшего уровня и является в экономическом, социальном, гуманитарном смысле важнейшим и уникальным ресурсом общества, рассматривается как мера разума, интеллекта и целенаправленного действия, мера социального начала, высшей формы отражения материи (сознания).

5. Организация (или организованность) выступает как форма ресурсов в социуме, группе, которая определяет его структуру, включая институты человеческого общества, его надстройки, применяется как мера упорядоченности ресурсов. Организация системы связана с наличием некоторых причинно-следственных связей в этой системе. Организация системы может иметь различные формы, например, биологическую, информационную, экологическую, экономическую, социальную, временную, пространственную, и она определяется причинно-следственными связями в материи и социуме.

6. Пространство - мера протяженности материи (события), распределения ее (его) в окружающей среде.

7. Время - мера обратимости (необратимости) материи, событий. Время неразрывно связано с изменениями действительности.

Можно говорить о различных полях, в которые "помещен" человек, - материальном, энергетическом, информационном, социальном, об их пространственных, ресурсных (материя, энергия, информация) и временных характеристиках.

Пример. Рассмотрим простую задачу - пойти утром на занятия в вуз. Эта часто решаемая студентом задача имеет все аспекты:

1. материальный, физический аспект - студенту необходимо переместить некоторую массу, например, учебников и тетрадей на нужное расстояние;

2. энергетический аспект - студенту необходимо иметь и затратить конкретное количество энергии на перемещение;

3. информационный аспект - необходима информация о маршруте движения и месторасположении вуза и ее нужно обрабатывать по пути своего движения;

4. человеческий аспект - перемещение, в частности, передвижение на автобусе невозможно без человека, например, без водителя автобуса;

5. организационный аспект - необходимы подходящие транспортные сети и маршруты, остановки и т.д.;

6. пространственный аспект - перемещение на определенное расстояние;

7. временной аспект - на данное перемещение будет затрачено время (за которое произойдут соответствующие необратимые изменения в среде, в отношениях, в связях).

Все типы ресурсов тесно связаны и сплетены. Более того, они невозможны друг без друга, актуализация одного из них ведет к актуализации другого.

Пример. При сжигании дров в печке выделяется тепловая энергия, тепловая энергия используется для приготовления пищи, пища используется для получения биологической энергии организма, биологическая энергия используется для получения информации (например, решения некоторой задачи), перемещения во времени и в пространстве. Человек и во время сна расходует свою биологическую энергию на поддержание информационных процессов в организме; более того, сон - продукт таких процессов.

Социальная организация и активность людей совершенствует информационные ресурсы, процессы в обществе, последние, в свою очередь, совершенствуют производственные отношения.

Если классическое естествознание объясняет мир исходя из движения, взаимопревращений вещества и энергии, то сейчас реальный мир, объективная реальность могут быть объяснены лишь с учетом сопутствующих системных, и особенно системно-информационных и синергетических процессов.

Особый тип мышления - системный, присущий аналитику, который хочет не только понять суть процесса, явления, но и управлять им. Иногда его отождествляют с аналитическим мышлением, но это отождествление не полное. Аналитическим может быть склад ума, а системный подход есть методология, основанная на теории систем.

Предметное (предметно-ориентированное) мышление - это метод (принцип), с помощью которого можно целенаправленно (как правило, с целью изучения) выявить и актуализировать, познать причинно-следственные связи и закономерности в ряду частных и общих событий и явлений. Часто это методика и технология исследования систем.

Системное (системно-ориентированное) мышление - это метод (принцип), с помощью которого можно целенаправленно (как правило, с целью управления) выявить и актуализировать, познать причинно-следственные связи и закономерности в ряду общих и всеобщих событий и явлений. Часто это методология исследования систем.

При системном мышлении совокупность событий, явлений (которые могут состоять из различных составляющих элементов) актуализируется, исследуется как целое, как одно организованное по общим правилам событие, явление, поведение которого можно предсказать, прогнозировать (как правило) без выяснения не только поведения составляющих элементов, но и качества и количества их самих. Пока не будет понятно, как функционирует или развивается система как целое, никакие знания о ее частях не дадут полной картины этого развития.

Пример. В соответствии с принципом системного мышления общество состоит из людей (и, разумеется, из общественных институтов). Каждый человек - также система (физиологическая, например). У человека, в свою очередь, существуют присущие ему как организму системы, например, система кровообращения. Когда люди взаимодействуют с другими людьми, образуются новые системы - семья, этнос и др. Это взаимодействие может происходить на уровне общественных институтов, отдельных людей (например, социальные взаимодействия) и даже отдельных систем кровообращения (например, при прямом переливании крови).

В соответствии с принципом системного подхода, каждая система влияет на другую систему. Весь окружающий мир - взаимодействующие системы. Цель системного анализа - выяснить эти взаимодействия, их потенциал и "направить их на службу человека".

Предметный аналитик (предметно-ориентированный или просто аналитик) - человек, профессионал, изучающий, описывающий некоторую предметную область, проблему в соответствии с принципами и методами, технологиями этой области. Это не означает "узкое" рассмотрение этой проблемы, хотя подобное часто встречается.

Системный (системно-ориентированный) аналитик - человек, профессионал высокого уровня (эксперт), изучающий, описывающий системы в соответствии с принципами системного подхода, анализа, т.е. изучающий проблему комплексно. Ему присущ особый склад ума, базирующийся на мультизнаниях, достаточно большом кругозоре и опыте, высоком уровне интуиции предвидения, умении принимать

целесообразные ресурсообеспеченные решения. Его основная задача - помочь предметному аналитику принять правильное (сообразующееся с другими системами, не "ухудшающее" их) решение при решении предметных проблем, выявление и изучение критериев эффективности их решения.

Необходимые атрибуты системного анализа как научного знания:

1. наличие предметной сферы - системы и системные процедуры;
2. выявление, систематизация, описание общих свойств и атрибутов систем;
3. выявление и описание закономерностей и инвариантов в этих системах;
4. актуализация закономерностей для изучения систем, их поведения и связей с окружающей средой;
5. накопление, хранение, актуализация знаний о системах (коммуникативная функция).

Системный анализ базируется на ряде общих принципов, среди которых:

1. принцип дедуктивной последовательности - последовательного рассмотрения системы по этапам: от окружения и связей с целым до связей частей целого (см. этапы системного анализа подробнее ниже);
2. принцип интегрированного рассмотрения - каждая система должна быть неразъемна как целое даже при рассмотрении лишь отдельных подсистем системы;
3. принцип согласования ресурсов и целей рассмотрения, актуализации системы;
4. принцип бесконфликтности - отсутствия конфликтов между частями целого, приводящих к конфликту целей целого и части.

Системно в мире все: практика и практические действия, знание и процесс познания, окружающая среда и связи с ней (в ней). Системный анализ как методология научного познания структурирует все это, позволяя исследовать и выявлять инварианты (особенно скрытые) объектов, явлений и процессов различной природы, рассматривая их общее и различное, сложное и простое, целое и части.

Любая человеческая интеллектуальная деятельность обязана быть по своей сути системной деятельностью, предусматривающей использование совокупности взаимосвязанных системных процедур на пути от постановки задачи, целей, планирования ресурсов к нахождению и использованию решений.

Пример. Любое экономическое решение должно базироваться на фундаментальных принципах системного анализа, экономики, информатики, управления и учитывать поведение человека в социально-экономической среде, т.е. должно базироваться на рациональных, социально и экономически обоснованных нормах поведения в этой среде.

Неиспользование системного анализа не позволяет знаниям (закладываемым традиционным образованием) превращаться в умения и навыки их применения, в навыки ведения системной деятельности (построения и реализации целенаправленных, структурированных, обеспеченных ресурсами конструктивных процедур решения проблем). Системно мыслящий и действующий человек, как правило, прогнозирует и считается с результатами своей деятельности, соизмеряет свои желания (цели) и свои возможности (ресурсы) учитывает интересы окружающей среды, развивает интеллект, вырабатывает верное мировоззрение и правильное поведение в человеческих коллективах.

Окружающий нас мир бесконечен в пространстве и во времени; человек существует конечное время, располагая при реализации цели конечными ресурсами (материальными, энергетическими, информационными, людскими, организационными, пространственными и временными).

Противоречия между неограниченностью желания человека познать мир и ограниченной (ресурсами, неопределенностью) возможностью сделать это, между бесконечностью природы и конечностью ресурсов человечества, имеют много важных последствий, в том числе - и для самого процесса познания человеком окружающего мира. Одна из таких особенностей познания, которая позволяет постепенно, поэтапно разрешать

эти противоречия: использование аналитического и синтетического образа мышления, т.е. разделения целого на части и представления сложного в виде совокупности более простых компонент, и наоборот, соединения простых и построения, таким образом, сложного. Это также относится и к индивидуальному мышлению, и к общественному сознанию, и ко всему знанию людей, и к самому процессу познания.

Пример. Аналитичность человеческого знания проявляется и в существовании различных наук, и в дифференциации наук, и в более глубоком изучении все более узких вопросов, каждый из которых сам по себе и интересен, и важен, и необходим. Вместе с тем, столь же необходим и обратный процесс синтеза знаний. Так возникают "пограничные" науки - бионика, биохимия, синергетика и другие. Однако это лишь одна из форм синтеза. Другая, более высокая форма синтетических знаний реализуется в науках о самых общих свойствах природы. Философия выявляет и описывает общие свойства всех форм материи; математика изучает некоторые, но также всеобщие отношения. К числу синтетических наук относятся системный анализ, информатика, кибернетика и др., соединяющие формальные, технические, гуманитарные и прочие знания.

Итак, расчлененность мышления на анализ, синтез и взаимосвязь этих частей является очевидным признаком системности познания.

Процесс познания структурирует системы, окружающий нас мир. Все, что не познано в данный момент времени, образует "хаос в системе", который, будучи необъясним в рамках рассматриваемой теории, заставляет искать новые структуры, новую информацию, новые формы представления и описания знаний, приводит к появлению новых ветвей знания; этот хаос также дает стимул и для развития умений и навыков исследователя.

Системный подход к исследованию проблем, системный анализ - следствие научно-технической революции, а также необходимости решения ее проблем с помощью одинаковых подходов, методов, технологий. Такие проблемы возникают и в экономике, и в информатике, и в биологии, и в политике и т.д.

2. Лекция: Описания, базовые структуры и этапы анализа систем

Рассматриваются основные понятия системного анализа, признаки системы, типы топологии систем, различные формы описания систем, этапы системного анализа.

Цель лекции: введение основного понятийного аппарата системного анализа, теории систем.

Дадим вначале интуитивное определение системы и подсистемы.

Система - объект или процесс, в котором элементы-участники связаны некоторыми связями и отношениями.

Подсистема - часть системы с некоторыми связями и отношениями.

Любая система состоит из подсистем, подсистема любой системы может быть сама рассмотрена как система. Границы рассматриваемой системы определяются доступными ресурсами и окружением.

Пример. Наука - система, обеспечивающая получение, проверку, фиксацию (хранение), актуализацию знаний общества. Наука имеет подсистемы: математика, информатика, физика, экономика и др. Любое знание существует лишь в форме систем (систематизированное знание). Теория - наиболее развитая система их организации, позволяющая не только описывать, но и объяснять, прогнозировать события, процессы.

Определим основные понятия системного анализа, необходимые далее.

Состояние системы - фиксация совокупности доступных системе ресурсов (материальных, энергетических, информационных, пространственных, временных, людских, организационных), определяющих ее отношение к ожидаемому результату или

его образу. Это "фотография" механизма преобразования входных данных системы в выходные данные.

Цель - образ несуществующего, но желаемого, с точки зрения задачи или рассматриваемой проблемы, состояния среды, т.е. такого состояния, которое позволяет решать проблему при данных ресурсах. Это описание, представление некоторого наиболее предпочтительного (с точки зрения поставленной цели и доступных ресурсов) состояния системы.

Пример. Основные социально-экономические цели общества: экономический рост; полная трудовая занятость населения; экономическая эффективность производства; стабильный уровень цен; экономическая свобода производителей и потребителей; справедливое распределение ресурсов и благ; социально-экономическая обеспеченность и защищенность; торговый баланс на рынке; справедливая налоговая политика.

Задача - некоторое множество исходных посылок (входных данных к задаче), описание цели, определенной над множеством этих данных, и, может быть, описание возможных стратегий достижения этой цели или возможных промежуточных состояний исследуемого объекта.

Решить задачу означает определить четко ресурсы и пути достижения указанной цели при исходных посылках. Решение задачи - описание, представление состояния системы, при котором достигается указанная цель; решением задачи называют и сам процесс нахождения этого состояния.

Понятие проблемы в системном анализе - шире, чем понятие задачи, и состоит обычно из ряда взаимосвязанных задач.

Проблема - описание, хотя бы содержательное, ситуации, в которой определены: цель, достигаемые (достижимые, желательные) результаты и, возможно, ресурсы и стратегия достижения цели (решения). Проблема проявляется поведением системы.

Описание (спецификация) системы - это идентификация ее определяющих элементов и подсистем, их взаимосвязей, целей, функций и ресурсов, т.е. описание допустимых состояний системы.

Если входные посылки, цель, условие задачи, решение или, возможно, даже само понятие решения плохо (частично) описываемы, формализуемы, то эти задачи называются плохо формализуемыми. Поэтому при решении таких задач приходится рассматривать целый комплекс формализованных задач, с помощью которых можно исследовать эту плохо формализованную задачу. Сложность их исследования заключается в необходимости учета различных, а часто и противоречивых критериев определения, оценки решения задачи.

Пример. Плохо формализуемыми будут, например, задачи восстановления "размытых" текстов, изображений, составления учебного расписания в любом большом вузе, составления "формулы измерения интеллекта", описания функционирования мозга, социума, перевода текстов с одного языка на другой с помощью ЭВМ и др.

Определим, пока не формализованно, понятие структуры системы.

Структура - все то, что вносит порядок во множество объектов, т.е. совокупность связей и отношений между частями целого, необходимых для достижения цели.

Пример. Примеры структур: извилины мозга, факультет, государственное устройство, кристаллическая решетка вещества, микросхема. Кристаллическая решетка алмаза - структура неживой природы; пчелиные соты и полосы зебры - структуры живой природы; озеро - структура экологической природы; партия (общественная, политическая) - структура социальной природы, и т.д.

Базовые топологии структур (систем) приведены на [рис. 2.1-2.4](#).

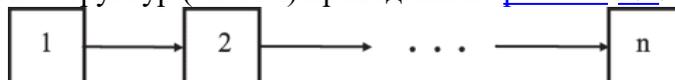


Рис. 2.1. Структура линейного типа

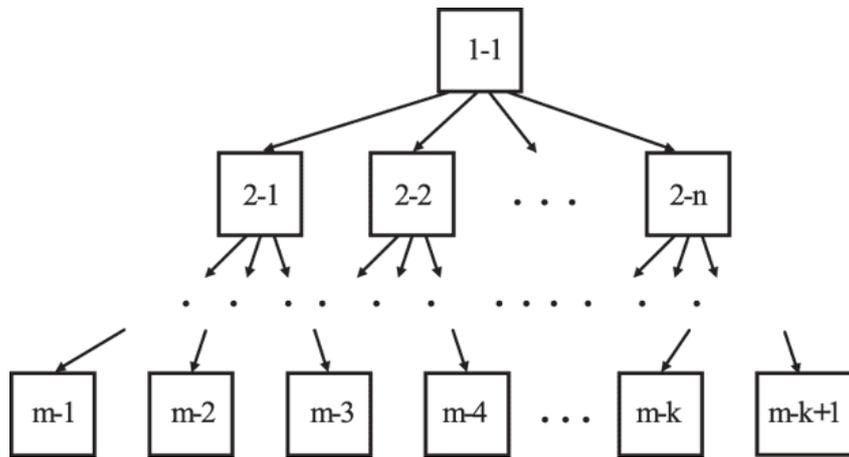


Рис. 2.2. Структура иерархического типа (первая цифра - номер уровня)

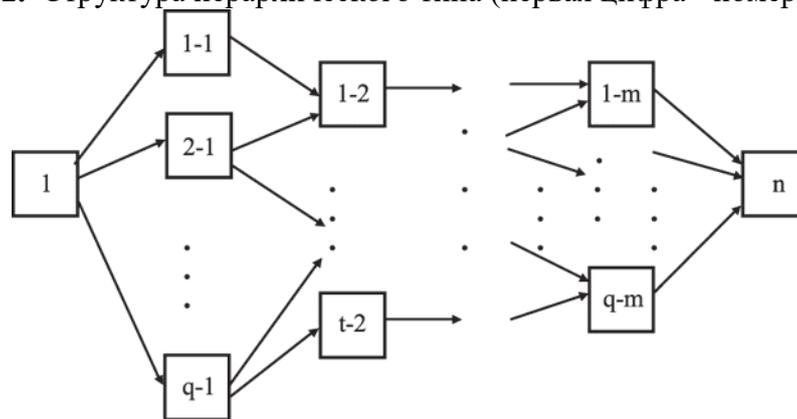


Рис. 2.3. Структура сетевого типа (вторая цифра - номер в пути)

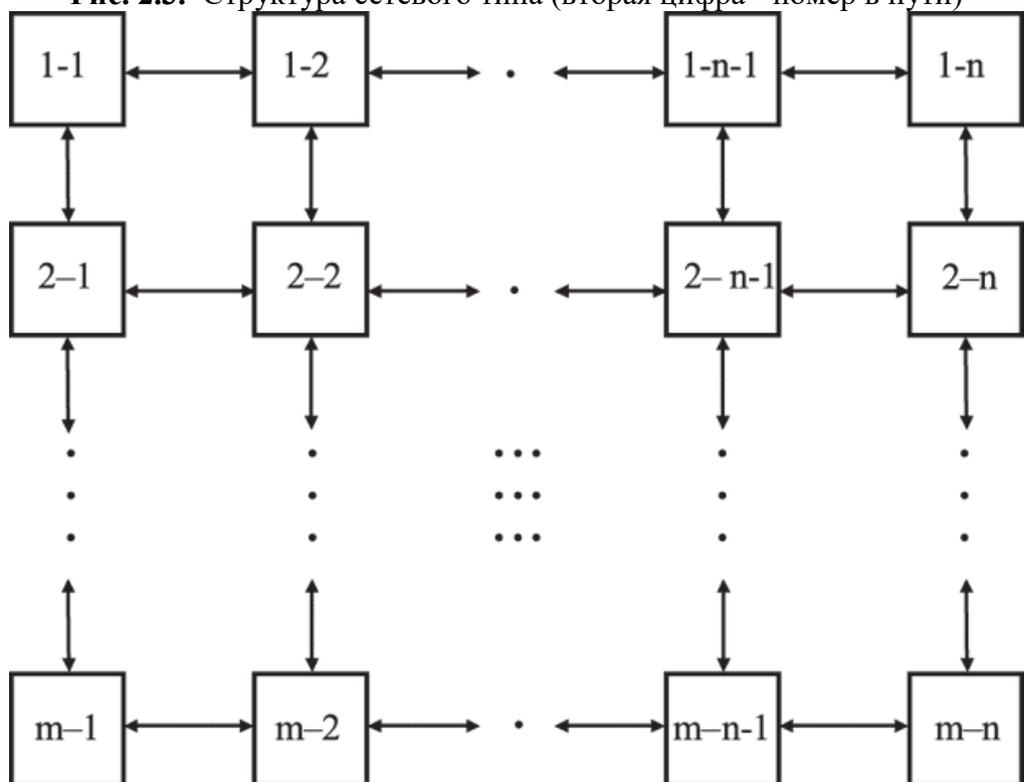


Рис. 2.4. Структура матричного типа

Пример. Примером линейной структуры является структура станций метро на одной (не кольцевой) линии в одном направлении. Примером иерархической структуры может служить структура управления вузом: "Ректор - Проректор - Декан - Заведующий кафедрой, подразделением - Преподаватель кафедры, сотрудник подразделения". Пример сетевой структуры - структура организации работ при строительстве дома: некоторые

работы, например, монтаж стен, благоустройство территории и др. можно выполнять параллельно. Пример матричной структуры - структура работников отдела НИИ, выполняющих работы по одной и той же теме.

Кроме указанных основных типов структур, используются и другие, образующиеся с помощью их корректных комбинаций - соединений и вложений.

Пример. Из комбинаций "плоскостных временных" матричных структур можно получить матричную "пространственную (время-возрастную)" структуру. Комбинация сетевых структур может вновь дать сетевую структуру. Комбинация иерархической и линейной структур может привести как к иерархической ("навешивая" древовидную структуру на древовидную), так и к неопределенной ("навешивая" древовидную структуру на линейную). Смешанную структуру могут иметь системы открытого акционерного типа, корпорации на рынке с дистрибьютерской сетью и другие.

Из одинаковых элементов можно получать структуры различного типа.

Пример. Макромолекулы различных силикатов получают из одних и тех же элементов (Si, O). Это пример связей вещества и структуры (см. [рис. 2.5](#)).

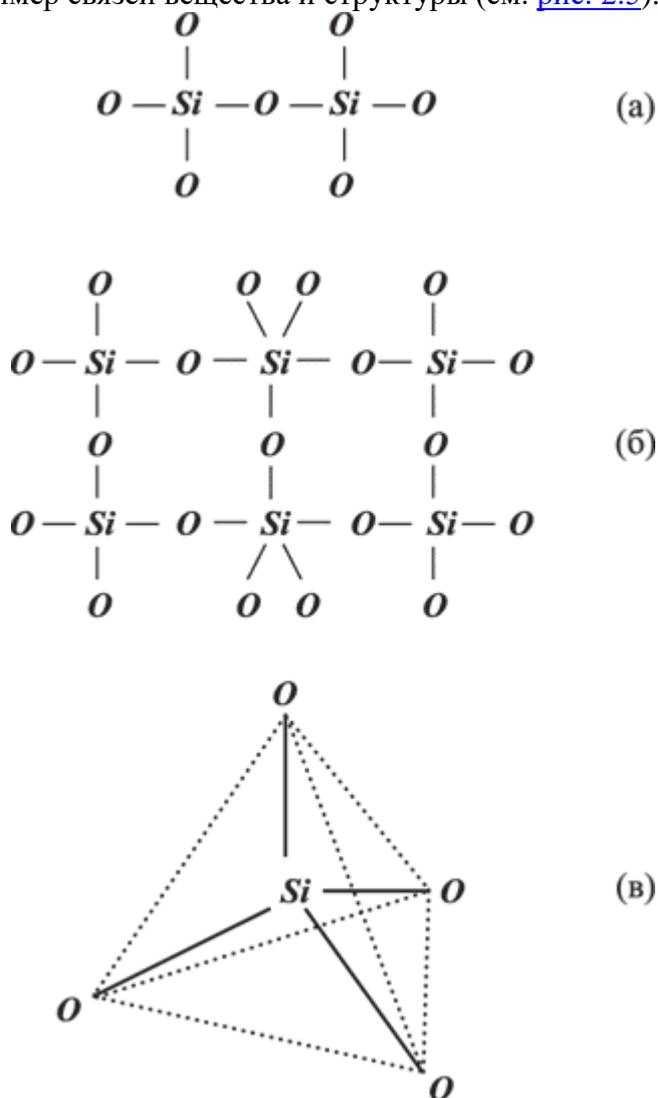


Рис. 2.5. Структуры макромолекул из кремния и кислорода (а, б, в)

Пример. Из одних и тех же составляющих рынка (ресурсы, товары, потребители, продавцы) можно образовывать рыночные структуры различного типа: ОАО, ООО, ЗАО и др. При этом структура объединения может определять свойства, характеристики системы.

В современных компьютерных архитектурах, компьютерных системах и сетях важно правильно выбрать эффективную структуру и топологию.

Пример. Последовательная структура используется при организации конвейерных вычислений на суперкомпьютерах (конвейерных вычислительных структурах). Сетевая структура (в частности, типа "бабочка") используется для организации вычислений специализированных структур, в частности, для быстрого преобразования Фурье, которое используется для обработки спутниковой информации и во многих других отраслях. Древоподобные сети подвержены влиянию переменных задержек, когда данные из всех узлов одного поддерева должны быть переданы на другое поддерево. Двумерные решетки (матрицы) часто применяются для обработки изображений. Матрично-матричная структура - гиперкуб используется для связи каждого из 2^n узлов с каждым, который отличен в одном двоичном разряде, и организации их независимой работы по выполнению отдельных частей большой программы (задачи); в частности, компьютер такой архитектуры эффективно играл с Г.Каспаровым в шахматы.

Структура является **связной**, если возможен обмен ресурсами между любыми двумя подсистемами системы (предполагается, что если есть обмен i -й подсистемы с j -й подсистемой, то есть и обмен j -й подсистемы с i -й).

Если структура или элементы системы плохо (частично) описываемы или определяемы, то такое множество объектов называется плохо или слабо структурируемым (структурированным).

Таково большинство социально-экономических систем, обладающих рядом специфических черт плохо структурируемых систем, а именно:

1. мультиаспектностью и взаимосвязанностью происходящих в них процессов (экономических, социальных и т.п.), невозможностью их структурирования, так как все происходящие в них явления должны рассматриваться в совокупности;
2. отсутствием достаточной информации (как правило, количественной) о динамике процессов и применимостью лишь качественного анализа;
3. изменчивостью и многовариантностью динамики процессов и т.д.

Пример. Плохо структурируемы будут проблемы описания многих исторических эпох, проблем микромира, общественных и экономических явлений, например, динамики курса валют на рынке, поведения толпы и др.

Плохо формализуемые и плохо структурируемые проблемы (системы) наиболее часто возникают на стыке различных наук, при исследовании синергетических процессов и систем.

"Система" в переводе с греческого означает "целое, составленное из частей". Это одна из абстракций системного анализа, которую можно конкретизировать, выразить в конкретных формах.

Можно теперь дать и следующее, более полное определение системы.

Система - это средство достижения цели или все то, что необходимо для достижения цели (элементы, отношения, структура, работа, ресурсы) в некотором заданном множестве объектов (операционной среде).

ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

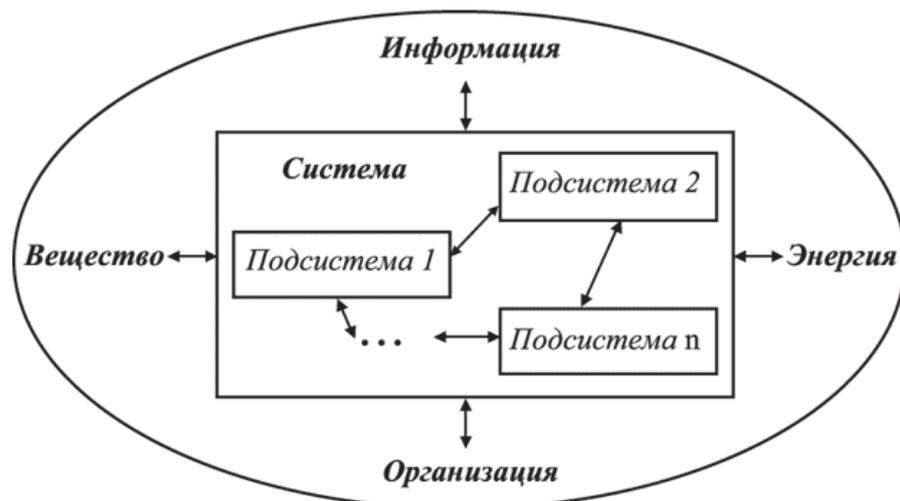


Рис. 2.6. Структура системы

Для описания системы важно знать, какие она имеет структуру (строение), функции (работу) и связи (ресурсы) с окружением.

Совокупность элементов и связей между ними позволяет судить о структуре системы.

Любая система имеет внутренние состояния, внутренний механизм преобразования входных данных в выходные (внутреннее описание), а также имеет внешние проявления (внешнее описание).

Внутреннее описание дает информацию о поведении системы, о соответствии (несоответствии) внутренней структуры системы целям, подсистемам (элементам) и ресурсам в системе, внешнее описание - о взаимоотношениях с другими системами, с целями и ресурсами других систем (см. [рис. 2.6](#)).

Внешнее описание системы определяется ее внутренним описанием.

Пример. Банк есть система. Внешняя среда банка - система инвестиций, финансирования, трудовых ресурсов, нормативов и т.д. Входные воздействия - характеристики (параметры) этой системы. Внутренние состояния системы - характеристики финансового состояния. Выходные воздействия - потоки кредитов, услуг, вложений и т.д. Функции системы - банковские операции, например, кредитование. Функции системы также зависят от характера взаимодействий системы и внешней среды. Множество выполняемых банком (системой) функций зависят от внешних и внутренних функций, которые могут быть описаны (представлены) некоторыми числовыми и/или нечисловыми, например, качественными, характеристиками или характеристиками смешанного, качественно-количественного характера.

Морфологическое (структурное или топологическое) описание системы - это описание строения или структуры системы или описание совокупности A элементов этой системы и необходимого для достижения цели набора отношений R между этими элементами системы.

Функциональное описание системы - это описание законов функционирования, эволюции системы, алгоритмов ее поведения, "работы".

Информационное (информационно-логическое или инфологическое) описание системы - это описание информационных связей как системы с окружающей средой, так и подсистем системы.

Раньше информационное описание системы называли кибернетическим.

Пример. Морфологическое описание экосистемы может включать структуру обитающих в ней хищников и жертв, их трофическую структуру (структуру питания), их свойства, связи. Трофическую структуру типа "хищники и жертвы" образуют две непересекающиеся совокупности X и Y со свойствами $S(X)$ и $S(Y)$. Возьмем в качестве

языка морфологического описания русский язык с элементами алгебры. Тогда можно предложить следующее упрощенное модельное морфологическое описание этой системы:

$$S = \langle A, B, R, V, Q \rangle$$

$A = \{\text{человек, тигр, коршун, щука, баран, газель, пшеница, кабан, клевер, полевая мышь (полевка), змея, желудь, карась}\}$,

$X = \{\text{человек, тигр, коршун, щука, кабан, змея, баран}\}$,

$Y = \{\text{газель, пшеница, клевер, полевка, желудь, карась}\}$,

$S(X) = \{\text{пресмыкающееся, двуногое, четырехногое, плавающее, летающее}\}$,

$S(Y) = \{\text{живое существо, зерно, трава, орех}\}$,

$B = \{\text{обитатель суши, обитатель воды, растительность}\}$,

$R = \{\text{хищник, жертва}\}$.

Трофическую структуру ("х поедает у") такой экосистемы можно описать следующей [таблицей 2.1](#):

Таблица 2.1. Трофическая структура экосистемы

Y \ X	Человек	Тигр	Коршун	Щука	Змея	Кабан	Баран
Газель	1	1	0	0	0	0	0
Пшеница	1	0	0	0	0	1	0
Клевер	0	0	0	0	0	0	1
Полевка	0	0	1	0	1	0	0
Желудь	0	0	0	0	0	1	0
Карась	1	0	0	1	0	0	0

Информационное описание системы с помощью графа представлено на [рис. 2.7](#)

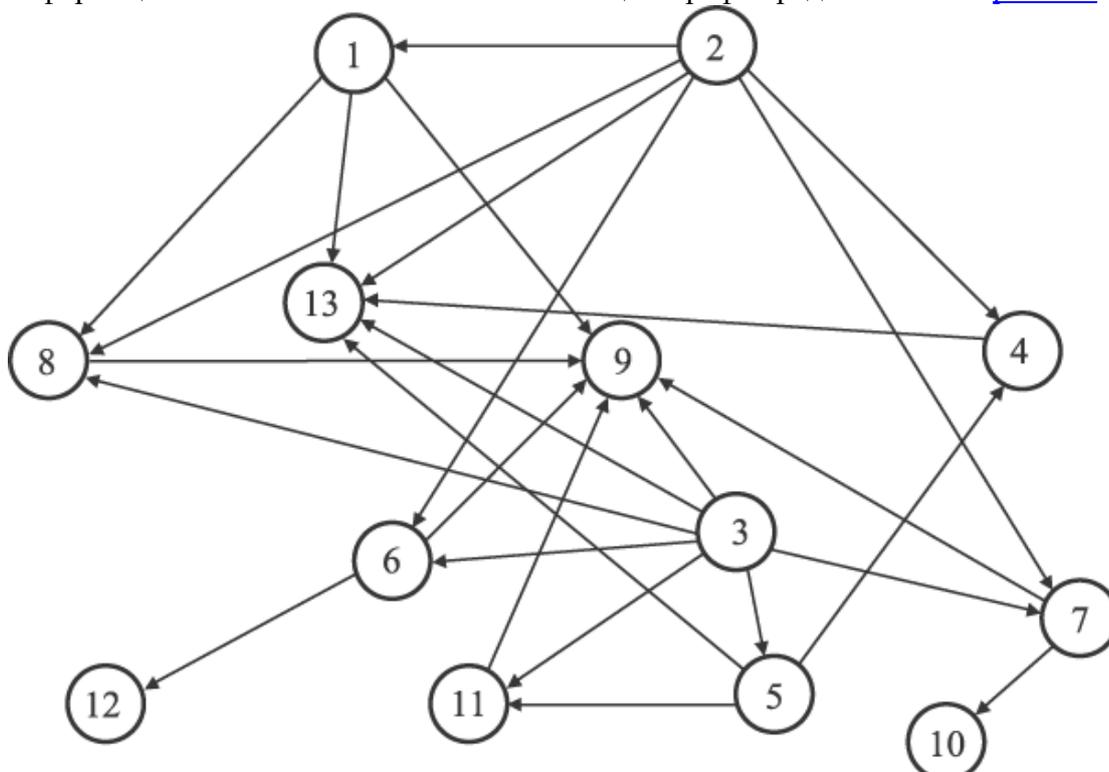


Рис. 2.7. Граф информационного описания: 1 - человек, 2 - тигр, 3 - коршун, 4 - щука, 5 - змея, 6 - кабан, 7 - баран, 8 - газель, 9 - пшеница, 10 - клевер, 11 - полевка, 12 - желудь, 13 - карась

Если использовать результаты популяционной динамики, то можно, используя приведенное морфологическое описание системы, записать адекватное функциональное описание системы. В частности, динамику взаимоотношений в данной системе можно записать в виде уравнений Лотка-Вольтерра:

$$x_i'(t) = x_i(t)(a_i - \sum_{j=1}^7 b_{ij} x_j(t)), \quad x_i(0) = x_{i0}, \quad i = 1, 2, \dots, 6$$

где $x_i(t)$ - численность (плотность) i -й популяции, b_{ij} - коэффициент поедания i -го вида жертв j -ым видом хищников (прожорливости), a_i - коэффициент рождаемости i -го вида.

Пример. Рассмотрим систему "Информационный центр". Входная, выходная и внутрисистемная информация представляется документами, графическими, аудио- и видеофайлами, программами и т.д. Системные функции: предоставление машинного времени, обработка данных, поиск информации, создание и обработка архивов и баз данных. Системные цели: внедрение новых информационных технологий, внедрение новых методов обучения персонала и пользователей, повышение эффективности поиска, получения, обработки и хранения информации. Описание системы: $x(t+1) = x(t) - a(t)x(t) + b(t)x(t)$, где $x(t)$ - эффективность методов работы с информацией в момент времени t ; $a(t)$ - коэффициент компьютерной неграмотности пользователей; $b(t)$ - коэффициент, показывающий степень внедрения новых аппаратно-программных средств.

Пример. Система "Корпоративная сеть", $S = \langle A, B, R, V, Q \rangle$, $A = \{\text{Терминал, Файловый Сервер, Почтовый Сервер, Концентратор, Маршрутизатор, Сетевой Принтер}\}$, $B = \{\text{Рабочая станция, Серверная станция, Устройства передачи пакетов из одной подсети в другую}\}$, $R = \{\text{Клиент, Сервер}\}$.

С точки зрения морфологического описания, система может быть:

- гетерогенной системой - содержащей элементы разного типа, происхождения (подсистемы, не детализируемые на элементы с точки зрения выбранного подхода морфологического описания);
- гомогенной системой - т.е. содержать элементы только одного типа, происхождения;
- смешанной системой - с гетерогенными и гомогенными подсистемами.

Морфологическое описание системы зависит от учитываемых связей, их глубины (связи между главными подсистемами, между второстепенными подсистемами, между элементами), структуры (линейная, иерархическая, сетевая, матричная, смешанная), типа (прямая связь, обратная связь), характера (позитивная, негативная).

Пример. Морфологическое описание автомата для производства некоторого изделия может включать геометрическое определение изделия, программу (задание последовательности действий по обработке заготовки), изложение операционной обстановки (маршрут обработки, ограничения действий и др.). Описание зависит от типа, глубины связей, структуры изделия и др.

Основные признаки системы:

- целостность, связность или относительная независимость от среды и систем (наиболее существенная количественная характеристика системы). С исчезновением связности исчезает и система, хотя элементы системы и даже некоторые отношения между ними могут быть сохранены;
- наличие подсистем и связей между ними или наличие структуры системы (наиболее существенная качественная характеристика системы). С исчезновением подсистем или связей между ними может исчезнуть и сама система;
- возможность обособления или абстрагирования от окружающей среды, т.е. относительная обособленность от тех факторов среды, которые в достаточной мере не влияют на достижение цели;
- связи с окружающей средой по обмену ресурсами;
- подчиненность всей организации системы некоторой цели (как это, впрочем, следует из определения системы);
- эмерджентность или несводимость свойств системы к свойствам элементов.

Целое всегда есть система, а целостность всегда присуща системе, проявляясь в системе в виде симметрии, повторяемости (цикличности), адаптируемости и саморегуляции, наличии и сохранении инвариантов.

"В организованной системе каждая часть или сторона дополняет собой другие и в этом смысле нужна для них как орган целого, имеющий особое значение" (Богданов А.А.).

При системном анализе объектов, процессов, явлений необходимо пройти (в указанном порядке) следующие этапы системного анализа:

1. Обнаружение проблемы (задачи).
2. Оценка актуальности проблемы.
3. Формулировка целей, их приоритетов и проблем исследования.
4. Определение и уточнение ресурсов исследования.
5. Выделение системы (из окружающей среды) с помощью ресурсов.
6. Описание подсистем (вскрытие их структуры), их целостности (связей), элементов (вскрытие структуры системы), анализ взаимосвязей подсистем.
7. Построение (описание, формализация) структуры системы.
8. Установление (описание, формализация) функций системы и ее подсистем.
9. Согласование целей системы с целями подсистем.
10. Анализ (испытание) целостности системы.
11. Анализ и оценка эмерджентности системы.
12. Испытание, верификация системы (системной модели), ее функционирования.
13. Анализ обратных связей в результате испытаний системы.
14. Уточнение, корректировка результатов предыдущих пунктов.

3. Лекция: Функционирование и развитие системы

Рассматриваются основные понятия, касающиеся поведения систем - функционирование и развитие (эволюция), а также саморазвитие систем, необходимые для их изучения понятия теории отношений и порядка.

Цель лекции: введение в основы деятельности систем - функционирование и развитие, саморазвитие, необходимый математический аппарат для их рассмотрения - алгебру отношений.

Деятельность (работа) системы может происходить в двух основных режимах: развитие (эволюция) и функционирование.

Функционированием называется деятельность, работа системы без смены (главной) цели системы. Это проявление функции системы во времени.

Развитием называется деятельность системы со сменой цели системы.

При функционировании системы явно не происходит качественного изменения инфраструктуры системы; при развитии системы ее инфраструктура качественно изменяется.

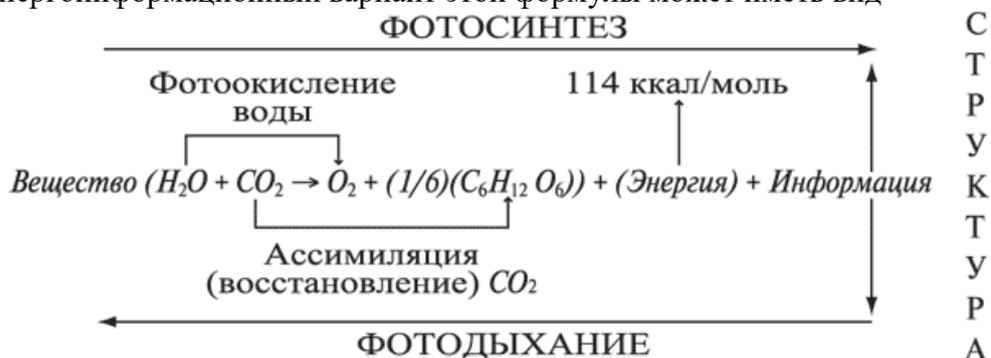
Развитие - борьба организации и дезорганизации в системе, она связана с накоплением и усложнением информации, ее организации.

Пример. Информатизация страны в ее наивысшей стадии - всемерное использование различных баз знаний, экспертных систем, когнитивных методов и средств, моделирования, коммуникационных средств, сетей связи, обеспечение информационной а, следовательно, любой безопасности и др.; это революционное изменение, развитие общества. Компьютеризация общества, региона, организации без постановки новых актуальных проблем, т.е. "навешивание компьютеров на старые методы и технологии обработки информации" - это функционирование, а не развитие. Упадок моральных и этических ценностей в обществе, потеря цели в жизни могут также привести к "функционированию" не только отдельных людей, но и социальных слоев.

Любая актуализация информации связана с актуализацией вещества, энергии и наоборот.

Пример. Химическое развитие, химические реакции, энергия этих реакций в организмах людей приводят к биологическому росту, движению, накоплению биологической энергии; эта энергия - основа информационного развития, информационной энергии; последняя определяет энергетику социального движения и организации в обществе.

Пример. Классически принято считать, что в процессе фотосинтеза выделяется кислород и поглощается углекислота (в растениях, водорослях и некоторых микроорганизмах) и одновременно под воздействием света выделяется углекислота и поглощается кислород, - происходит дыхание (или, точнее, фотодыхание). Биоэнергетическое уравнение фотосинтеза и дыхания растений (организмов) имеет вид



Такая интерпретация не только учитывает, но и помогает лучше понять биоэнергоинформационное развитие системы и сложные информационные процессы, происходящие в биологической системе с энергетическими потоками.

Пример. При высокой освещенности и наличии кислорода в растении запускается внутренний механизм поглощения углекислоты (т.е. управление передается программе "Поглощение углекислоты"), который уже после запуска может происходить и в темноте, приводя к поглощению углекислоты или снижению фотосинтеза (программа "Выделение кислорода" переходит в "фоновый режим"). Соответствующая информация по подсистемам системы "Растение" передается при этом по волокнам растений.

Если в системе количественные изменения характеристик элементов и их отношений приводит к качественным изменениям, то такие системы называются развивающимися системами. Развивающиеся системы имеют ряд отличительных сторон, например, могут самопроизвольно изменять свое состояние, в результате взаимодействия с окружающей средой (как детерминированно, так и случайно). В развивающихся системах количественный рост элементов и подсистем, связей системы приводит к качественным изменениям (системы, структуры), а жизнеспособность (устойчивость) системы зависит от изменения связей между элементами (подсистемами) системы.

Пример. Развитие языка как системы зависит от развития и связей составных элементов - слова, понятия, смысла и т.д. Формула для чисел Фибоначчи: $x_n = x_{n-1} + x_{n-2}$, $n > 2$, $x_1 = 1$, $x_2 = 1$ однозначно определяет развивающуюся систему чисел. Если же рассматривать числа: 1, 1, 2, 5, 29, ..., то нетрудно заметить, что начальный отрезок похож на ряд Фибоначчи, но это впечатление обманчиво. На самом деле, каждый член ряда (с третьего) получается не сложением двух предыдущих, а сложением их квадратов. Математически

этот закон записывается совсем в другом виде: $x_n = (x_{n-1})^2 + (x_{n-2})^2$, $n=3, 4, \dots$. В "числовой записи" ряда, в отличие от аналитической, таким образом, имелась некоторая неустойчивость, так как задание лишь первых четырех членов этого ряда могло привести к неверным выводам о поведении системы.

Основные признаки развивающихся систем:

- самопроизвольное изменение состояния системы;
- противодействие (реакция) влиянию окружающей среды (другим системам), приводящее к изменению первоначального состояния среды;
- постоянный поток ресурсов (постоянная работа по их перетоку "среда-система"), направленный против уравнивания их потока с окружающей средой.

Если развивающаяся система эволюционирует за счет собственных материальных, энергетических, информационных, человеческих или организационных ресурсов внутри самой системы, то такие системы называются саморазвивающимися (самодостаточно развивающимися). Это форма развития системы - "самая желанная" (для поставленной цели).

Пример. Если на рынке труда повысится спрос на квалифицированный труд, то появится стремление к росту квалификации, образования, что приведет к появлению новых образовательных услуг, качественно новых форм повышения квалификации, например, дистанционных. Развитие фирмы, появление сети филиалов может привести к новым организационным формам, в частности, к компьютеризованному офису, более того, - к высшей стадии развития автоматизированного офиса - виртуальному офису или же виртуальной корпорации. Нехватка времени для шоппинга, например, у занятых и компьютерно грамотных молодых людей с достаточным заработком ("яппи") повлияло на возникновение и развитие интернет-торговли.

Для оценки развития, развиваемости системы часто используют не только качественные, но и количественные оценки, а также оценки смешанного типа.

Пример. В системе ООН для оценки социально-экономического развития стран используют индекс HDI (Human Development Index - индекс человеческого развития, потенциала), который учитывает 4 основных параметра, изменяемых от минимальных до максимальных своих значений:

- 1.ожидаемая продолжительность жизни населения (25-85 лет);
- 2.уровень неграмотности взрослого населения (0-100 %);
- 3.средняя продолжительность обучения населения в школе (0-15 лет);
- 4.годовой доход на душу населения (200-40000 \$).

Эти сведения приводятся к общему значению HDI, по которому все страны делятся ООН на высокоразвитые, среднеразвитые и низкоразвитые. Страны с развивающимися (саморазвивающимися) экономическими, правовыми, политическими, социальными, образовательными институтами характерны высоким уровнем HDI. В свою очередь, изменение уровня HDI (параметров, от которых он зависит) влияет на саморазвиваемость указанных институтов, в первую очередь - экономических, в частности, саморегулируемость спроса и предложения, отношений производителя и потребителя, товара и стоимости, обучения и стоимости обучения. Уровень HDI, наоборот, также может привести к переходу страны из одной категории (развитости по данному критерию) в другую, в частности, если в 1994 году Россия стояла на 34 месте в мире (из 200 стран), то в 1996 году - уже на 57-м месте; это приводит к изменениям и во взаимоотношениях с окружающей средой (в данном случае - в политике).

Гибкость системы будем понимать как способность к структурной адаптации системы в ответ на воздействия окружающей среды.

Пример. Гибкость экономической системы - способность к структурной адаптации к изменяющимся социально-экономическим условиям, способность к регулированию, к изменениям экономических характеристик и условий.

Траектория системы определяется ее структурой, элементами, окружением. Для простых систем (будем понимать такие системы как системы не свободные в выборе поведения) траекторию можно изменить, лишь изменив элементы, структуру, окружение. Для непростых (сложных - ниже о них подробнее идет речь) систем изменение траектории может произойти и по другим причинам.

Под регулированием (системы, поведения системы, траектории системы) понимается коррекция управляющих параметров по наблюдениям за траекторией поведения системы с целью возвращения системы в нужное состояние, на нужную траекторию поведения. Под траекторией системы понимается последовательность принимаемых при функционировании системы состояний, которые рассматриваются как некоторые точки во множестве состояний системы. Для физических, биологических и других систем - это фазовое пространство.

Для формализации фактов в системном анализе (как и в математике, информатике и других науках) используется понятия "отношение" и "алгебраическая структура".

Отношение r , определенное над элементами заданного множества X , - это некоторое правило, по которому каждый элемент $x \in X$ связывается с другим элементом (или другими элементами) $y \in X$. Отношение r называется n -рным отношением, если оно связывает n различных элементов X . Множество пар (x, y) , которые находятся в бинарном (2-рном) отношении друг к другу, - подмножество декартового множества $X \times Y$.

Отношение r элементов $x \in X, y \in Y$ обозначают как $x \xrightarrow{r} y$, $r(x, y)$ или $r(X, Y)$.

Пример. Рассмотрим классическую схему ЭВМ из устройств: 1 - ввода, 2 - логико-арифметическое, 3 - управления, 4 - запоминающее, 5 - вывода. Отношение "информационный обмен" определим так: устройство i находится в отношении r с устройством j , если из устройства i в устройство j поступает информация. Тогда можно это отношение определить матрицей R отношений (наличие r на пересечении строки i и столбца j свидетельствует о том, что устройство i находится в этом отношении с устройством j , а наличие \emptyset - об отсутствии между ними этого отношения):

$$\begin{pmatrix} \emptyset & r & r & r & \emptyset \\ \emptyset & \emptyset & r & r & r \end{pmatrix}$$

$$R = \begin{matrix} r & r & \emptyset & r & r \\ \emptyset & r & r & \emptyset & r \\ \emptyset & \emptyset & r & \emptyset & \emptyset \end{matrix}$$

Отношение, задаваемое фразой "для каждого $x \in X$ " обозначается $\forall x \in X$ и называется квантором общности, а отношение "существует $x \in X$ " имеет обозначение $\exists x \in X$ и называется квантором существования. Факт того, что элементы $x \in X$ связаны, выделены некоторым отношением r , обозначают как $X = \{x: r\}$ или $X = \{x|r\}$.

Композиция (произведение) $r = r_1 \circ r_2$ отношений r_1 и r_2 , заданных над одним и тем же множеством X , - это третье отношение r , определяемое правилом:

$$x \xrightarrow{r} y \Leftrightarrow \left((\exists z \in X) : (x \xrightarrow{r_1} z), (z \xrightarrow{r_2} y) \right)$$

Отношение r называется отношением 1) тождества; 2) рефлексивным; 3) транзитивным; 4) симметричным; 5) обратным к отношению s , если, выполнены, соответственно, условия

$$\begin{matrix} 1. & x \xrightarrow{r} y \Leftrightarrow (x = y) \\ 2. & ((\forall x \in X): x \xrightarrow{r} x) \end{matrix}$$

$$3. ((x \xrightarrow{r} y), (y \xrightarrow{r} z)) \Rightarrow (x \xrightarrow{r} z)$$

$$4. (x \xrightarrow{r} y) \Rightarrow (y \xrightarrow{r} x)$$

$$5. (x \xrightarrow{s} y) \Leftrightarrow (y \xrightarrow{r} x)$$

Пример. Бинарное отношение равенства чисел "=" - рефлексивное (так как $x=x$), симметричное (так как $x=y \Rightarrow y=x$), транзитивное (так как $x \Rightarrow y, y \Rightarrow z \Rightarrow x \Rightarrow z$). Бинарное отношение "иметь общий делитель" - рефлексивное, симметричное, транзитивное (проверить). Бинарное отношение вложенности множеств " \subseteq " - рефлексивное, антисимметричное, транзитивное (проверить).

Частично упорядоченной по отношению r системой X называется система, для которой (т.е. для любых элементов которой) задано отношение $r(X)$, являющееся транзитивным, несимметричным, рефлексивным.

Упорядоченная по отношению $r(X)$ система - система X , такая, что $\forall x, y \in X$, либо $x \xrightarrow{r} y$, либо $y \xrightarrow{r} x$.

Система с заданным на ней (на определяющем ее множестве элементов) отношением частичного упорядочивания называется системой с порядком, а система с заданным отношением упорядочивания - системой с полным порядком.

Пример. Пусть N - множество натуральных чисел. Отношение $r(x,y)$: "x кратно y" определенное на N , как легко проверить, является отношением частичного порядка. Отношение $r(x,y)$: " $x \leq y$ " определенное на множестве действительных чисел R , - отношение частичного порядка и полного порядка. Отношение $r(x,y)$: " $x < y$ " определенное на R не является отношением полного порядка (не рефлексивно). Отношение вложенности множеств " $x \subseteq y$ " - отношение частичного упорядочивания множеств, определенное на множестве всех множеств, но оно не является отношением полного порядка (не для любых двух множеств имеет место включение в ту или иную сторону).

Теперь можно дать и формализованное определение понятия структуры.

Структурой, определенной над множеством (или на множестве) X называется некоторое отношение над X типа упорядочивания. Более формальное, математическое определение: структура (решетка) - частично упорядоченное множество X , для которого любое двухэлементное подмножество $\{x,y\}$ из X имеет наибольший или наименьший элемент (супремум или инфимум).

Таким образом, систему можно понимать как целостный комплекс (кортеж) объектов $S = \langle A, R \rangle$, $A = \{a\}$, $R = \{r\}$, где r - отношение над A , A - произвольное множество элементов. Такая система называется замкнутой системой. В замкнутых системах важная характеристика функционирования системы - внутренняя структура системы. Замкнутые системы - абстрактный продукт, продукт мышления, логического построения. Они ограничены ("замкнуты") уровнем их теоретического рассмотрения.

Если Y - множество элементов внешней (по отношению к A) среды C , а в C определены отношения r над C , то тогда кортеж $S = \langle A, Y, R \rangle$ задает, определяет открытую систему. В открытых системах важной характеристикой функционирования является обмен системы ресурсами (одного или нескольких типов) с другими системами, с окружающей средой, а также характер этого обмена.

Транзитивное, рефлексивное, симметричное отношение называется отношением эквивалентности. Отношение эквивалентности $r(X)$ разбивает множество систем X на классы или классы эквивалентности - непустые и непересекающиеся множества систем, каждое из которых вместе с любым своим элементом содержит также все элементы X , эквивалентные ему по отношению $r(X)$, и не содержит других $x \in X$.

Теорема. Два класса эквивалентности над одним и тем же множеством не пересекаются. Если два элемента $x, y \in X$ не связаны отношением эквивалентности $r(x,y)$, определенным на X , то классы эквивалентности по этим элементам не пересекаются. Если

на множестве X задано отношение эквивалентности $r(x,y)$, $x,y \in X$, а X_x, X_y - классы эквивалентности по x, y соответственно, то $X_x = X_y$.

Пример. Отношение между x, y , выражаемое равенством $x = y+ka$, $x, y, k, a \in \mathbb{Z}$, называется отношением сравнения x и y по модулю a и записывается как $x = y \pmod{a}$. Это отношение является отношением эквивалентности:

1. $x = x \pmod{a}$, $k=0$ (рефлексивность);
2. $x = y \pmod{a} \Rightarrow x = y+ka \Rightarrow y = x+(-k)a \Rightarrow y = x \pmod{a}$ (симметричность);
3. $x = y \pmod{a}$, $y = z \pmod{a} \Rightarrow x = y+ka$, $y = z+ma \Rightarrow x = z+(k+m)a \Rightarrow x = z \pmod{a}$ (транзитивность).

Множество целых чисел \mathbb{Z} разбивается этим отношением на k классов:

$$X_0 = \{x: x=ka, k, a \in \mathbb{Z}\},$$

$$X_1 = \{x: x=1+ka, k, a \in \mathbb{Z}\},$$

$$X_2 = \{x: x=2+ka, k, a \in \mathbb{Z}\},$$

...

$$X_{k-1} = \{x: x=k-1+ka, k, a \in \mathbb{Z}\}.$$

В частности, при $k=2$ происходит разбиение множества \mathbb{Z} на множество X_0 - четных и множество X_1 - нечетных чисел; при $k=3$ - множество \mathbb{Z} разбивается на классы X_0 - кратные 3, X_1 - дающие при делении на 3 остаток 1, X_2 - дающие при делении на 3 остаток 2.

Две системы назовем эквивалентными, если они имеют одинаковые цели, составляющие элементы, структуру. Между такими системами можно установить отношение (строго говоря, эквивалентности) некоторым конструктивным образом.

Можно также говорить об "ослабленном" типе эквивалентности - эквивалентности по цели (элементам, структуре).

Пусть даны две эквивалентные системы X и Y и система X обладает структурой (или свойством, величиной) I . Если из этого следует, что и система Y обладает этой структурой (или свойством, величиной) I , то I называется инвариантом систем X и Y . Можно говорить об инвариантном содержании двух и более систем или об инвариантном погружении одной системы в другую. Инвариантность двух и более систем предполагает наличие такого инварианта.

Пример. Если рассматривать процесс познания в любой предметной области, познания любой системы, то глобальным инвариантом этого процесса является его спиралевидность. Следовательно, спираль познания - это инвариант любого процесса познания, независимый от внешних условий и состояний (хотя параметры спирали и его развертывание, например, скорость и крутизна развертывания зависят от этих условий). Цена - инвариант экономических отношений, экономической системы; она может определять и деньги, и стоимость, и затраты. Понятие "система" - инвариант всех областей знания.

Соответствие S - бинарное отношение r над множеством $X \times Y$:

$$S = \{(x, y) : (x \xrightarrow{r} y), (x, y) \in X \times Y\}$$

Обратное соответствие к r - это соответствие $S^{-1} \in Y \times X$ вида

$$S^{-1} = \{(y, x) : (x \xrightarrow{r} y), (x, y) \in X \times Y\}$$

Отношения часто используются при организации и формализации систем. При этом для них (над ними) вводятся следующие основные операции:

1. объединение двух отношений $r_1(x_1, x_2, \dots, x_n)$, $r_2(x_1, x_2, \dots, x_n)$, заданных над множеством X , есть третье отношение $r_3(X) = r_1 \cup r_2$ получаемое как теоретико-множественное объединение всех элементов X , для которых справедливо r_1 или r_2 ;

2.пересечение - $r_3(X)=r_1 \cap r_2$ - теоретико-множественное пересечение всех элементов из X , для которых справедливы r_1 и r_2 ;

3.проекция отношения $r_1(X)$ размерности k , т.е. отношения $r_1=r_1(x_1, x_2, \dots, x_k)$, связывающего элементы $x_1, x_2, \dots, x_k \in X$ (это могут быть и не первые k элементов), - это отношение r_2 размерности $m < k$, т.е. оно использует некоторые из аргументов (параметров) исходного отношения;

4.разность двух отношений $r_1(x_1, x_2, \dots, x_k), r_2(x_1, x_2, \dots, x_k)$ - это отношение $r_3=r_1 - r_2$, состоящее из всех тех элементов X , для которых справедливо отношение r_1 , но не справедливо отношение r_2 ;

5.декартово произведение двух отношений $r_2(x_1, x_2, \dots, x_k)$ и $r_1(x_{n+1}, x_{n+2}, \dots, x_{n+m})$ - отношение $r_3=r_1 \times r_2$, составленное всевозможными комбинациями всех элементов X , для которых справедливы отношения r_1, r_2 ; первые n компонентов отношения r_3 образуют элементы, для которых справедливо отношение r_1 , а для последних m элементов справедливо отношение r_2 ;

6.селекция (отбор, выборка) по критерию q компонентов, принадлежащих отношению r ; критерий q - некоторый предикат.

Алгебры отношений часто называют реляционными алгебрами.

В связи с употреблением интуитивно известного понятия "алгебра" уточним эту структуру, так она часто используется как основной аппарат наиболее формализованного описания систем. Алгебра - наиболее адекватный математический аппарат описания действий с буквами, поэтому алгебраические методы наилучшим образом подходят для описания и формализации различных информационных систем.

Алгеброй $A=\langle X, f \rangle$ называется некоторая совокупность определенных элементов X , с заданными над ними определенными операциями f (часто определяемые по сходству с операциями сложения и умножения чисел), которые удовлетворяют определенным свойствам - аксиомам алгебры.

Операция f называется n -местной, если она связывает n операндов (объектов - участников этой операции).

Совокупность $F=\{f\}$ операций алгебры A называется ее сигнатурой, а совокупность элементов $X=\{x\}$ - носителем алгебры.

Алгеброй Буля называется алгебра с введенными в ней двумя двухместными операциями, которые поименованы, по аналогии с арифметикой чисел, сложением и умножением, и одной одноместной операцией, называемой штрих-операцией или инверсией, причем эти операции удовлетворяют аксиомам (законам) алгебры Буля:

1.коммутативности - $x+y = y+x, xy = yx$;

2.ассоциативности - $(x+y)+z = x+(y+z), (xy)z = x(yz)$;

3.идемпотентности - $x+x = x, xx = x$;

4.дистрибутивности - $(x+y)z = xz+yz, xy+z = (x+z)(y+z)$;

5.инволюции (двойной инверсии) - $\bar{\bar{x}} = x$;

6.поглощения - $x(x+y) = x, x+xy = x$;

7.де Моргана - $\overline{x+y} = \bar{x}\bar{y}, \overline{xy} = \bar{x}+\bar{y}$

8.нейтральности: $x(y+y) = x, x+yy = x$.

9.существования двух особых элементов (называемых "единица -1" и "нуль-0"), причем $0 = 1, 1 = 0, x+x = 1, xx = 0$.

Группоид - алгебра $A=\langle X, f \rangle$ с одной двухместной операцией f .

Полугруппа - группоид, в системе аксиом которой есть аксиома ассоциативности.

Поэтому она называется ассоциативным группоидом.

Пример. Пусть $X=\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ - некоторый алфавит. Тогда он образует полугруппу относительно операции конкатенации слов из $S(X)$. В таких (называемых свободными) полугруппах рассматривается одна из важнейших алгебраических проблем информатики в полугруппах - проблема тождества слов: указать конструктивный процесс

установления совпадения двух слов из полугруппы $S(X)$. Эта проблема алгоритмически неразрешима и встречается, например, при разработке архитектуры процессора.

Группа - полугруппа с единицей (с элементом e : $ea=ae=a$), в которой бинарная операция f является однозначно обратимой, т.е. на этом множестве (на его носителе) разрешимы однозначно уравнения вида $xfa=b$, $afx=b$.

Пример. Пусть $X=\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ - некоторая свободная полугруппа. Каждому из x_i , $i=1, 2, \dots, n$ сопоставим его обратный элемент x_i^{-1} , а единицу положим равной пустому слову \emptyset . Тогда X образует (свободную) группу, если в качестве критерия разрешимости уравнений выбрать соотношения: $x_i x_i^{-1}=\emptyset$, $x_i^{-1} x_i=\emptyset$. Одна из важнейших алгебраических проблем информатики в группах - проблема изоморфизма (преобразования с сохранением групповой операции) двух групп: указать конструктивный процесс установления такого преобразования одной группы к другой. Эта проблема возникает при обработке информации, преобразовании одной информационной системы к другой с сохранением информации.

Кольцо - алгебра с двумя бинарными операциями: по одной из них (умножение) она является группоидом, а по другой (сложение) - группой с аксиомой коммутативности (абелевой группой), причем эти операции связаны между собой аксиомами дистрибутивности.

Поле - кольцо, у которого все ненулевые элементы по одной из операций образуют абелеву группу.

Пример. Множество рациональных, действительных чисел, квадратных матриц - образуют и поля, и кольца.

Изоморфизм двух упорядоченных (по отношению r) множеств X и Y - такое взаимно-однозначное соответствие $f : X \rightarrow Y$, где из того, что $x_1 \in X$ и $x_2 \in X$ находятся в отношении r следует, что $y_1=f(x_1)$ и $y_2=f(x_2)$ находятся в отношении r и наоборот.

Изоморфизм позволяет исследовать инвариантное, общее (системное) в структурах, переносить знания (информацию) от одних структур к другим, прокладывая и усиливать междисциплинарные связи.

Свойство может существовать как структура независимо от системы, ее носителя, а система предоставляет (через свою структуру) возможность (потенцию) свойству взаимодействовать с другими системами (с другими свойствами систем), обладающими таким же свойством.

4. Лекция: Классификация систем

Рассматриваются основные типы и классы систем, понятия большой и сложной системы, типы сложности систем, примеры способов определения (оценки) сложности.

Цель лекции: введение в способы классификации систем, большие и сложные системы.

Классификацию систем можно осуществить по разным критериям. Проводить ее жестко - невозможно, она зависит от цели и ресурсов. Приведем основные способы классификации (возможны и другие критерии классификации систем).

1. По отношению системы к окружающей среде:

- открытые (есть обмен ресурсами с окружающей средой);
- закрытые (нет обмена ресурсами с окружающей средой).

2. По происхождению системы (элементов, связей, подсистем):

- искусственные (орудия, механизмы, машины, автоматы, роботы и т.д.);
- естественные (живые, неживые, экологические, социальные и т.д.);
- виртуальные (воображаемые и, хотя реально не существующие, но функционирующие так же, как и в случае, если бы они существовали);
- смешанные (экономические, биотехнические, организационные и т.д.).

3. По описанию переменных системы:

- с качественными переменными (имеющие лишь содержательное описание);
- с количественными переменными (имеющие дискретно или непрерывно описываемые количественным образом переменные);
- смешанного (количественно-качественное) описания.

4. По типу описания закона (законов) функционирования системы:

- типа "Черный ящик" (неизвестен полностью закон функционирования системы; известны только входные и выходные сообщения);
- не параметризованные (закон не описан; описываем с помощью хотя бы неизвестных параметров; известны лишь некоторые априорные свойства закона);
- параметризованные (закон известен с точностью до параметров и его возможно отнести к некоторому классу зависимостей);
- типа "Белый (прозрачный) ящик" (полностью известен закон).

5. По способу управления системой (в системе):

- управляемые извне системы (без обратной связи, регулируемые, управляемые структурно, информационно или функционально);
- управляемые изнутри (самоуправляемые или саморегулируемые - программно управляемые, регулируемые автоматически, адаптируемые - приспособляемые с помощью управляемых изменений состояний, и самоорганизующиеся - изменяющие во времени и в пространстве свою структуру наиболее оптимально, упорядочивающие свою структуру под воздействием внутренних и внешних факторов);
- с комбинированным управлением (автоматические, полуавтоматические, автоматизированные, организационные).

Пример. Рассмотрим экологическую систему "Озеро". Это открытая, естественного происхождения система, переменные которой можно описывать смешанным образом (количественно и качественно, в частности, температура водоема - количественно описываемая характеристика), структуру обитателей озера можно описать и качественно, и количественно, а красоту озера можно описать качественно. По типу описания закона функционирования системы, эту систему можно отнести к не параметризованным в целом, хотя возможно выделение подсистем различного типа, в частности, различного описания подсистемы "Водоросли", "Рыбы", "Впадающий ручей", "Вытекающий ручей", "Дно", "Берег" и др. Система "Компьютер" - открытая, искусственного происхождения, смешанного описания, параметризованная, управляемая извне (программно). Система "Логический диск" - открытая, виртуальная, количественного описания, типа "Белый ящик" (при этом содержимое диска мы в эту систему не включаем!), смешанного управления. Система "Фирма" - открытая, смешанного происхождения (организационная) и описания, управляемая изнутри (адаптируемая, в частности, система).

Система называется большой, если ее исследование или моделирование затруднено из-за большой размерности, т.е. множество состояний системы S имеет большую размерность. Какую же размерность нужно считать большой? Об этом мы можем судить только для конкретной проблемы (системы), конкретной цели исследуемой проблемы и конкретных ресурсов.

Большая система сводится к системе меньшей размерности использованием более мощных вычислительных средств (или ресурсов) либо разбиением задачи на ряд задач меньшей размерности (если это возможно).

Пример. Это особенно актуально при разработке больших вычислительных систем, например, при разработке компьютеров с параллельной архитектурой или алгоритмов с параллельной структурой данных и с их параллельной обработкой.

Почти во всех учебниках можно встретить словосочетания "сложная задача", "сложная проблема", "сложная система" и т.п. Интуитивно, как правило, под этими понятиями понимается какое-то особое поведение системы или процесса, делающее невозможным (непреодолимая сложность) или особо трудным (преодолимая сложность) описание, исследование, предсказание или оценку поведения, развития системы.

Определения сложности - различны.

Система называется сложной, если в ней не хватает ресурсов (главным образом, информационных) для эффективного описания (состояний, законов функционирования) и управления системой - определения, описания управляющих параметров или для принятия решений в таких системах (в таких системах всегда должна быть подсистема принятия решения).

Сложной считают иногда такую систему, для которой по ее трем видам описания нельзя выявить ее траекторию, сущность, и поэтому необходимо еще дополнительное интегральное описание (интегральная модель поведения, или конфигуратор) - морфолого-функционально-инфологическое.

Пример. Сложными системами являются, например, химические реакции, если их исследовать на молекулярном уровне; клетка биологического образования, взятая на метаболическом уровне; мозг человека, если его исследовать с точки зрения выполняемых человеком интеллектуальных действий; экономика, рассматриваемая на макроуровне (т.е. макроэкономика); человеческое общество - на политико-религиозно-культурном уровне; ЭВМ (особенно пятого поколения) как средство получения знаний; язык - во многих аспектах его рассмотрения.

В сложных системах результат функционирования не может быть задан заранее, даже с некоторой вероятностной оценкой адекватности. Причины такой неопределенности - как внешние, так и внутренние, как в структуре, так и в описании функционирования, эволюции. Сложность этих систем обусловлена их сложным поведением. Сложность системы зависит от принятого уровня описания или изучения системы - макроскопического или микроскопического. Сложность системы может определяться не только большим количеством подсистем и сложной структурой, но и сложностью поведения.

Сложность системы может быть внешней и внутренней.

Внутренняя сложность определяется сложностью множества внутренних состояний, потенциально оцениваемых по проявлениям системы и сложности управления в системе.

Внешняя сложность определяется сложностью взаимоотношений с окружающей средой, сложностью управления системой, потенциально оцениваемых по обратным связям системы и среды.

Сложные системы бывают разных типов сложности:

- структурной или организационной (не хватает ресурсов для построения, описания, управления структурой);
- динамической или временной (не хватает ресурсов для описания динамики поведения системы и управления ее траекторией);
- информационной или информационно-логической, инфологической (не хватает ресурсов для информационного, информационно-логического описания системы);
- вычислительной или реализации, исследования (не хватает ресурсов для эффективного прогноза, расчетов параметров системы, или их проведение затруднено из-за нехватки ресурсов);
- алгоритмической или конструктивной (не хватает ресурсов для описания алгоритма функционирования или управления системой, для функционального описания системы);

- развития или эволюции, самоорганизации (не хватает ресурсов для устойчивого развития, самоорганизации).

Чем сложнее рассматриваемая система, тем более разнообразные и более сложные внутренние информационные процессы приходится актуализировать для того, чтобы была достигнута цель системы, т.е. система функционировала или развивалась.

Пример. Поведение ряда различных реальных систем (например, соединенных между собой проводников с сопротивлениями x_1, x_2, \dots, x_n или химических соединений с концентрациями x_1, x_2, \dots, x_n , участвующих в реакции химических реагентов) описывается системой линейных алгебраических уравнений, записываемых в матричном виде:

$$X = AX + B$$

$$X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \cdot \\ x_n \end{pmatrix} \quad A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix} \quad B = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \cdot \\ b_n \end{pmatrix}$$

Заполнение матрицы A (ее структура) будет отражать сложность описываемой системы. Если, например, матрица A - верхнетреугольная матрица (элемент, расположенный на пересечении i -ой строки и j -го столбца всегда равен 0 при $i > j$), то независимо от n (размерности системы) она легко исследуется на разрешимость. Для этого достаточно выполнить обратный ход метода Гаусса. Если же матрица A - общего вида (не является ни симметричной, ни ленточной, ни разреженной и т.д.), то систему сложнее исследовать (так как при этом необходимо выполнить более сложную вычислительно и динамически процедуру прямого хода метода Гаусса). Следовательно, система будет обладать структурной сложностью (которая уже может повлечь за собой и вычислительную сложность, например, при нахождении решения). Если число n достаточно велико, то неразрешимость задачи хранения матрицы A верхнетреугольного вида в оперативной памяти компьютера может стать причиной вычислительной и динамической сложности исходной задачи. Попытка использовать эти данные путем считывания с диска приведет к многократному увеличению времени счета (увеличит динамическую сложность - добавятся факторы работы с диском).

Пример. Пусть имеется динамическая система, поведение которой описывается задачей Коши вида

$$y'(t) = ky(t), \quad y(0) = a$$

Эта задача имеет решение:

$$y(t) = ae^{-kt}$$

Отсюда видно, что $y(t)$ при $k=10$ изменяется на порядок быстрее, чем $y(t)$ при $k=1$, и динамику системы сложнее будет отслеживать: более точное предсказание для $t \rightarrow 0$ и малых k связано с дополнительными затратами на вычисления. Следовательно, алгоритмически, информационно, динамически и структурно "не очень сложная система" (при $a, k \neq 0$) может стать вычислительно и, возможно, эволюционно сложной (при $t \rightarrow 0$), а при больших t ($t \rightarrow \infty$) - и непредсказуемой. Например, для больших t значения накапливаемых погрешностей вычислений решения могут перекрыть значения самого решения. Если при этом задавать нулевые начальные данные $a \neq 0$, то система может перестать быть, например, информационно несложной, особенно, если a трудно априорно определить.

Пример. Упрощение технических средств работы в сетях, например, научные достижения, позволяющие подключать компьютер непосредственно к сети, "к розетке электрической сети", наблюдается наряду с усложнением самих сетей, например, с

увеличением количества абонентов и информационных потоков в интернет. Наряду с усложнением самой сети интернет, упрощаются (для пользователя!) средства доступа к ней, увеличиваются ее вычислительные возможности.

Структурная сложность системы оказывает влияние на динамическую, вычислительную сложность. Изменение динамической сложности может привести к изменениям структурной сложности, хотя это не является обязательным условием. Сложной системой может быть и система, не являющаяся большой системой; существенным при этом может стать связность (сила связности) элементов и подсистем системы (см. вышеприведенный пример с матрицей системы линейных алгебраических уравнений).

Сложность системы определяется целями и ресурсами (набором задач, которые она призвана решать).

Пример. Сложность телекоммуникационной сети определяется:

1. необходимой скоростью передачи данных;
2. протоколами, связями и типами связей (например, для селекторного совещания необходима голосовая телеконференция);
3. необходимостью видеосопровождения.

Само понятие сложности системы не является чем-то универсальным, неизменным и может меняться динамически, от состояния к состоянию. При этом и слабые связи, взаимоотношения подсистем могут повышать сложность системы.

Пример. Рассмотрим процедуру деления единичного отрезка $[0; 1]$ с последующим выкидыванием среднего из трех отрезков и достраиванием на выкинутом отрезке равностороннего треугольника (рис. 4.1); эту процедуру будем повторять каждый раз вновь к каждому из остающихся после выкидывания отрезков. Этот процесс является структурно простым, но динамически сложным, более того, образуется динамически интересная и трудно прослеживаемая картина системы, становящейся "все больше и больше, все сложнее и сложнее". Такого рода структуры называются фракталами, или фрактальными структурами (фрактал - от fraction - "дробь" и fracture - "излом", т.е. изломанный объект с дробной размерностью). Его отличительная черта - самоподобие, т.е. сколь угодно малая часть фрактала по своей структуре подобна целому, как ветка - дереву.

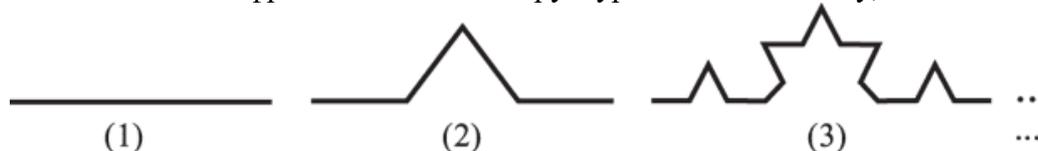


Рис. 4.1. Фрактальный объект (кривая Коха)

Уменьшив сложность системы, часто можно увеличить ее информативность, исследуемость.

Пример. Выбор рациональной проекции пространственного объекта (т.е. более оптимальная визуализация связей и отношений его частей) делает чертеж более информативным. Используя в качестве устройства эксперимента микроскоп, можно рассмотреть некоторые невидимые невооруженным глазом свойства объекта.

Система называется связанной, если любые две подсистемы обмениваются ресурсом, т.е. между ними есть некоторые ресурсоориентированные отношения, связи.

При определении меры сложности системы важно выделить инвариантные свойства систем или информационные инварианты и вводить меру сложности систем на основе их описаний.

Здесь приводится математический аппарат, позволяющий формализовать понятие сложности, хотя отметим, что понятие сложности - "сложное".

Мерой ниже будем называть некоторую непрерывную действительную неотрицательную функцию, определенную на множестве событий (систем, множеств) и являющуюся аддитивной, т.е. мера конечного объединения событий (систем, множеств) равна сумме мер каждого события.

Как же определять меру сложности для систем различной структуры? Ответ на этот не менее сложный вопрос не может быть однозначным и даже вполне определённым.

Сложность связывается с мерой $\mu(S)$ - мерой сложности или числовой неотрицательной функцией (критерием, шкалой) заданной (заданным) на некотором множестве элементов и подсистем системы S .

Возможны различные способы определения меры сложности систем. Сложность структуры системы можно определять топологической энтропией - сложностью конфигурации структуры (системы):

$$S = k \ln W,$$

где $k=1,38 \times 10^{-16}$ (эрг / град) - постоянная Больцмана, W - вероятность состояния системы. В случае разной вероятности состояний эта формула будет иметь вид (мы ниже вернемся к детальному обсуждению этой формулы и ее различных модификаций):

$$S = -k \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i$$

Пример. Определим сложность иерархической системы как число уровней иерархии. Увеличение сложности при этом требует больших ресурсов для достижения цели. Определим сложность линейной структуры как количество подсистем системы. Определим сложность сетевой структуры как максимальную из сложностей всех линейных структур, соответствующих различным стратегиям достижения цели (путей, ведущих от начальной подсистемы к конечной). Сложность системы с матричной структурой можно определить количеством подсистем системы. Усложнение некоторой подсистемы системы приведет к усложнению всей системы в случае линейной структуры, и, возможно, в случае иерархической, сетевой и матричной структур.

Пример. Для многоатомных молекул число межъядерных расстояний (оно определяет конфигурацию молекулы) можно считать оценкой сложности топологии (геометрической сложности) молекулы. Из химии и математики известна эта оценка: $3N-6$, где N - число атомов в молекуле. Для твердых растворов можно считать W равной числу перестановок атомов разных сортов в заданных позициях структуры; для чистого кристалла $W=1$, для смешанного - $W>1$. Для чистого кристалла сложность структуры $S=0$, а для смешанного - $S>0$, что и следовало ожидать.

Пример. В эколого-экономических системах сложность системы может часто пониматься как эволюционируемость, сложность эволюции системы, в частности, мера сложности - как функция изменений, происходящих в системе в результате контакта с окружающей средой, и эта мера может определяться сложностью взаимодействия между системой (организмом, организацией) и средой, ее управляемостью. Эволюционную сложность эволюционирующей системы можно определить как разность между внутренней сложностью и внешней сложностью (сложностью полного управления системой). Решения в данных системах должны приниматься (для устойчивости систем) таким образом, чтобы эволюционная сложность равнялась нулю, т.е. чтобы совпадали внутренняя и внешняя сложности. Чем меньше эта разность, тем устойчивее система, например, чем более сбалансированы внутрирыночные отношения и регулирующие их управляющие государственные воздействия - тем устойчивее рынок и рыночные отношения.

Пример. В математических, формальных системах сложность системы может пониматься как алгоритмируемость, вычислимость оператора системы S , в частности, как число операции и операндов, необходимых для получения корректного результата при любом допустимом входном наборе. Сложность алгоритма может быть определена количеством операций, осуществляемых командами алгоритма для самого "худшего" (самого длительного по пути достижения цели) тестового набора данных.

Пример. Сложность программного комплекса L может быть определена как логическая сложность и измерена в виде $L = L_1 / L_2 + L_3 + L_4 + L_5$, где L_1 - общее число всех логических операторов, L_2 - общее число всех исполняемых операторов, L_3 -

показатель сложности всех циклов (определяется с помощью числа циклов и их вложенности), L_4 - показатель сложности циклов (определяется числом условных операторов на каждом уровне вложенности), L_5 - определяется числом ветвлений во всех условных операторах.

Пример. Аналогично примеру, приведенному в книге Дж. Касти, рассмотрим трагедию В. Шекспира "Ромео и Джульетта". Выделим и опишем 3 совокупности: А - пьеса, акты, сцены, мизансцены; В - действующие лица; С - комментарии, пьеса, сюжет, явление, реплики. Определим иерархические уровни и элементы этих совокупностей.

А:

уровень N+2 - Пьеса;

уровень N+1 - Акты $\{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5\}$;

уровень N - Сцены $\{s_1, s_2, \dots, s_q\}$;

уровень N-1 - Мизансцены $\{m_1, m_2, \dots, m_{26}\}$.

В:

уровень N - Действующие лица $\{c_1, c_2, \dots, c_{25}\} = \{\text{Ромео, Джульетта, \dots}\}$.

С:

уровень N+3 - Пролог (адресован непосредственно зрителю и лежит вне действий, разворачивающихся в пьесе);

уровень N+2 - Пьеса;

уровень N+1 - Сюжетные линии $\{p_1, p_2, p_3, p_4\} = \{\text{Вражда семейств Капулетти и Монтекки в Вероне, Любовь Джульетты и Ромео и их венчание, Убийство Тибальда и вражда семейств требует отмщения, Ромео вынужден скрываться, Сватовство Париса к Джульетте, Трагический исход}\}$;

уровень N - Явления $\{u_1, u_2, \dots, u_8\} = \{\text{Любовь Ромео и Джульетты, Взаимоотношения между семейством Капулетти и Монтекки, Венчание Ромео и Джульетты, Схватка Ромео и Тибальда, Ромео вынужден скрываться, Сватовство Париса, Решение Джульетты, Гибель влюблённых}\}$;

уровень N-1 - Реплики $\{r_1, r_2, \dots, r_{104}\} = \{104 \text{ реплики в пьесе, которые определяются как слова, обращённые к зрителю, действующему лицу и развивающие неизвестный пока зрителю сюжет}\}$.

Отношения между этими совокупностями на различных уровнях иерархии определяемы из этих совокупностей. Например, если Y - сюжеты, X - действующие лица, то естественно определить связь l между X, Y так: действующее лицо из совокупности X уровня N+1 участвует в сюжете Y уровня N+1. Тогда связность структуры трагедии можно изобразить следующей схемой ([рис. 4.2](#)):

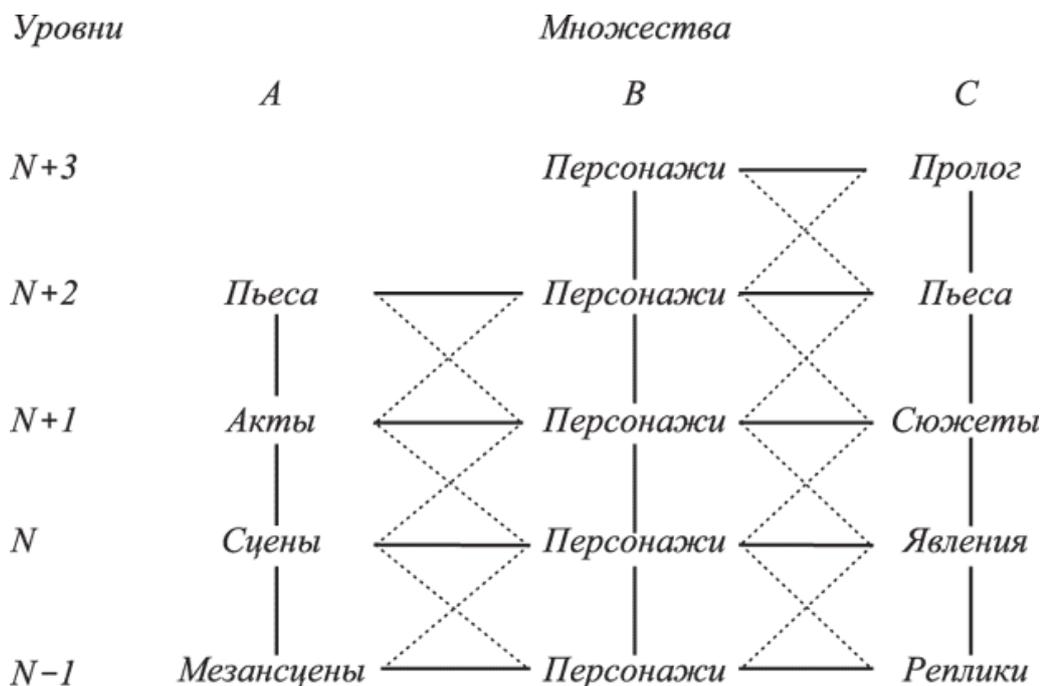


Рис. 4.2. Схема структурных связей пьесы

В этом комплексе $K(Y, X)$ все три сюжета становятся отдельными компонентами только на уровне связности $q=8$. Это означает, что сюжетные линии могут быть различны только для зрителей, следящих за 9 действующими лицами. Аналогично, при $q=6$ имеются всего 2 компонента $\{p_1, p_2\}$, $\{p_3\}$. Следовательно, если зрители могут отслеживать только 7 персонажей, то они видят пьесу, как бы состоящую из двух сюжетов, где p_1 , p_2 (мир влюбленных и вражда семейств) объединены. В комплексе $K(Y, X)$ при $q=5$ имеются 3 компонента. Следовательно, зрители, видевшие только 6 сцен, воспринимают 3 сюжета, не связанные друг с другом. Сюжеты p_1 и p_2 объединяются при $q=4$, и поэтому зрители могут видеть эти два сюжета как один, если следят только за 5 сценами. Все 3 сюжета сливаются, когда зрители следят лишь за 3 сценами. В комплексе $K(Y, X)$ явление u_8 доминирует в структуре при $q=35$, u_3 - при $q=26$, u_6 - при $q=10$. Следовательно, u_8 вероятнее всего поймут те зрители, которые прослушали 36 реплик, хотя для понимания u_3 необходимо 27 реплик, а для понимания u_6 - только 11 реплик. Таким образом, проведенный анализ дает понимание сложности системы.

В последнее время стали различать так называемые "жесткие" и "мягкие" системы, в основном, по используемым критериям рассмотрения.

Исследование "жестких" систем обычно опирается на категории: "проектирование", "оптимизация", "реализация", "функция цели" и другие. Для "мягких" систем используются чаще категории: "возможность", "желательность", "адаптируемость", "здоровый смысл", "рациональность" и другие. Методы также различны: для "жестких" систем - методы оптимизации, теория вероятностей и математическая статистика, теория игр и другие; для "мягких" систем - многокритериальная оптимизация и принятие решений (часто в условиях неопределенности), метод Дельфи, теория катастроф, нечеткие множества и нечеткая логика, эвристическое программирование и др.

Для "переноса" знаний широко используются инварианты систем и изоморфизм систем. Важно при таком переносе не нарушать свойство эмерджентности системы.

5. Лекция: Система, информация, знания

Рассматриваются различные аспекты понятия "информация", типы и классы информации, методы и процедуры актуализации информации.

Цель лекции: введение в суть и значение основного, но плохо формализуемого (и поэтому определяемого обычно упрощенно, с учетом потребностей предметной области) понятия "информация" с точки зрения системного анализа.

Понятие информации - одно из основных, ключевых понятий не только в системном анализе, но и в информатике, математике, физике и др. В то же время, это понятие - плохо формализуемое, из-за его всеобщности, объемности, расплывчатости, и трактуется как:

- любая сущность, которая вызывает изменения в некоторой информационно-логической (инфологической - состоящей из сообщений, данных, знаний, абстракций, структурных схем и т.д.) модели, представляющей систему (математика, системный анализ);
- сообщения, полученные системой от внешнего мира в процессе адаптивного управления, приспособления (теория управления, кибернетика);
- отрицание энтропии, отражение меры хаоса в системе (термодинамика);
- связи и отношения, устраняющие неопределенность в системе (теория информации);
- вероятность выбора в системе (теория вероятностей);
- отражение и передача разнообразия в системе (физиология, биокибернетика);
- отражение материи, атрибут сознания, "интеллектуальности" системы (философия).

Мы будем рассматривать системное понимание этой категории, ничуть не отрицая приведенные выше понятия и, более того, используя их по мере надобности.

Процесс познания - это иерархическая система актуализации информации, в которой знания на каждом следующем уровне иерархии являются интегральным результатом актуализации знаний на предыдущем уровне. Это процесс интеграции информационных ресурсов, от получаемых с помощью простого чувственного восприятия и до сложных аксиоматических и абстрактных теорий.

Данные - синтаксические сигналы, образы, актуализируемые с помощью некоторого источника данных. Они рассматриваются безотносительно к семантическому их смыслу.

Информация - это некоторая последовательность сведений, знаний, которые актуализируемы (получаемы, передаваемы, преобразуемы, сжимаемы, регистрируемы) с помощью некоторых знаков символьного, образного, жестового, звукового, сенсомоторного типа.

Информация - это данные, рассматриваемые с учетом некоторой их семантической сущности.

Знания - информация, обеспечивающая достижение некоторой цели и структуры.

Информация с мировоззренческой точки зрения - отражение реального мира. Информация - приращение, развитие, актуализация знаний, возникающее в процессе целеполагающей интеллектуальной деятельности человека.

Никакая информация, никакое знание не появляется сразу: появлению их предшествует этап накопления, систематизации опытных данных, мнений, взглядов, их осмысление и переосмысление. Знание - продукт этого этапа и такого системного процесса.

Информация (в системе, о системе) по отношению к окружающей среде (окружению) бывает трех типов: входная, выходная и внутренняя.

Входная информация - та, которую система воспринимает от окружающей среды. Такого рода информация называется входной информацией (по отношению к системе).

Выходная информация (по отношению к окружающей среде) - та, которую система выдает в окружающую среду.

Внутренняя, внутрисистемная информация (по отношению к данной системе) - та, которая хранится, перерабатывается, используется только внутри системы, актуализируется лишь подсистемами системы.

Пример. Человек воспринимает, обрабатывает входную информацию, например, данные о погоде на улице, формирует выходную реакцию - ту или иную форму одежды. При этом используется внутренняя информация, например, генетически заложенная или приобретенная физиологическая информация о реакции, например, о "морозостойкости" человека.

Внутренние состояния системы и структура системы влияют определяющим образом на взаимоотношения системы с окружающей средой - внутрисистемная информация влияет на входную и выходную информацию, а также на изменение самой внутрисистемной информации.

Пример. Информация о финансовой устойчивости банка может влиять на его деятельность. Накапливаемая (внутрисистемно) социально-экономическая негативная информация (проявляемая, например, социальной активностью в среде) может влиять на развитие системы.

Пример. Генетически заложенная в молекулах ДНК информация и приобретенная информация (храняемая в памяти) влияют на поведение, на адаптацию человека к окружающей среде. В машинах первого поколения внутренняя структура определялась тысячами ламп, причем каждая из них отдельно была невысокой надежности, т.е. подобная система была ненадежной в работе. Это влияло на входную информацию, на функционирование системы, например, такие ЭВМ не были способны на работу в многозадачном режиме, в режиме реального времени (обработки сообщений по мере получения входных данных).

В живой и неживой природе информация может также передаваться некоторой структурой. Такую информацию называют (часто это условно можно отнести к информации) структурной информацией.

Пример. Структурные кольца среза дерева несут информацию о возрасте дерева. Структура питания хищника (или трофическая структура) несет информацию о хищнике, о среде его обитания. Структура плавников рыбы часто несет информацию о глубине среды ее обитания. Структура фирмы может объяснять многие явления и поведение фирмы.

Информация по отношению к конечному результату проблемы бывает:

- исходная (на стадии начала использования актуализации этой информации);
- промежуточная (на стадии от начала до завершения актуализации информации);
- результирующая (после использования этой информации, завершения ее актуализации).

Пример. При решении системы линейных алгебраических уравнений информация о методах решения, среде реализации, входных данных (источники, точность и т.д.), размерности системы и т.д. является исходной информацией; информация о совместности системы уравнений, численных значениях корня и т.д. - результирующая; информация о текущих состояниях коэффициентов уравнений, например, при реализации схемы Гаусса - промежуточная.

Информация (по ее изменчивости при актуализации) бывает:

- постоянная (не изменяемая никогда при ее актуализации);
- переменная (изменяемая при актуализации);
- смешанная - условно-постоянная (или условно-переменная).
- Возможна также классификация информации и по другим признакам:
- по стадии использования (первичная, вторичная);

- по полноте (избыточная, достаточная, недостаточная);
- по отношению к цели системы (синтаксическая, семантическая, прагматическая);
- по отношению к элементам системы (статическая, динамическая);
- по отношению к структуре системы (структурная, относительная);
- по отношению к управлению системой (управляющая, советующая, преобразующая);
- по отношению к территории (федеральная, региональная, местная, относящая к юридическому лицу, относящаяся к физическому лицу);
- по доступности (открытая или общедоступная, закрытая или конфиденциальная);
- по предметной области, по характеру использования (статистическая, коммерческая, нормативная, справочная, научная, учебная, методическая и т.д., смешанная) и другие.

Информация в философском аспекте бывает:

- мировоззренческая;
- эстетическая;
- религиозная;
- научная;
- бытовая;
- техническая;
- экономическая;
- технологическая.

Все это (вместе с личностным аспектом человека как вида) составляет ноосферу общества - более высокое состояние биосферы, возникшее в результате эволюции, структурирования, упорядочивания (как статического, так и динамического) и гармонизации связей в природе и обществе под воздействием целеполагающей деятельности человечества.

Это понятие было введено В.И. Вернадским в качестве отображения концепции этапа эволюции общества и природы, т.е. системы, в рамках которой потенциально может быть реализовано гармоническое, устойчивое развитие (эволюция) систем "Общество" и "Природа", а также постепенное слияние, гармонизация наук о природе и об обществе.

Основные свойства информации (и сообщений):

- полнота (содержит все необходимое для понимания информации);
- актуальность (необходимость) и значимость (сведений);
- ясность (выразительность сообщений на языке интерпретатора);
- адекватность, точность, корректность интерпретации, приема и передачи;
- интерпретируемость и понятность интерпретатору информации;
- достоверность (отображаемого сообщениям);
- избирательность;
- адресность;
- конфиденциальность;
- информативность и значимость (отображаемых сообщений);
- массовость (применимость ко всем проявлениям);
- кодируемость и экономичность (кодирования, актуализации сообщений);
- сжимаемость и компактность;
- защищенность и помехоустойчивость;
- доступность (интерпретатору, приемнику);
- ценность (предполагает достаточный уровень потребителя).

Информация может оказаться и вредной, влияющей негативно на сознание, например, воспитывающей восприятие мира от безразличного или же не критического - до

негативного, "обозленного", неадекватного. Информационный поток - достаточно сильный раздражитель.

Пример. Негативной информацией могут быть сведения о крахе коммерческого банка, о резком росте (спаде) валютного курса, об изменении налоговой политики и др.

Информация не существует без других типов ресурсов: энергии, вещества, организации, как и они не могут существовать без информации. Любые взаимодействия систем (подсистем) - взаимодействия всегда материо-энерго-информационные. Выявление (систематизация, структурирование), описание (формализация), изучение, применение инвариантов этих взаимодействий и составляет основную задачу науки как человеческой деятельности.

Методы получения и использования информации можно разделить на три группы, иногда разграничиваемые лишь условно:

1. эмпирические методы или методы получения эмпирической информации (эмпирических данных);
2. теоретические методы или методы получения теоретической информации (построения теорий);
3. эмпирико-теоретические методы (смешанные, полуэмпирические) или методы получения эмпирико-теоретической информации.

Охарактеризуем кратко эмпирические методы:

1. Наблюдение - сбор первичной информации или эмпирических утверждений о системе (в системе).
2. Сравнение - установление общего и различного в исследуемой системе или системах.
3. Измерение - поиск, формулирование эмпирических фактов.
4. Эксперимент - целенаправленное преобразование исследуемой системы (систем) для выявления ее (их) свойств.

Кроме классических форм их реализации, в последнее время используются и такие формы как опрос, интервью, тестирование и другие.

Охарактеризуем кратко эмпирико-теоретические методы.

1. Абстрагирование - установление общих свойств и сторон объекта (или объектов), замещение объекта или системы ее моделью. Абстракция в математике понимается в двух смыслах: а) абстракция, абстрагирование - метод исследования некоторых явлений, объектов, позволяющий как выделить основные, наиболее важные для исследования свойства, стороны исследуемого объекта или явления, так и игнорировать несущественные и второстепенные; б) абстракция - описание, представление объекта (явления), получаемое с помощью метода абстрагирования; особо важно в информатике такое понятие как абстракция потенциальной осуществимости, которое позволяет нам исследовать конструктивно объекты, системы с потенциальной осуществимостью (т.е. они могли бы быть осуществимы, если бы не было ограничений по ресурсам); используются и абстракция актуальной бесконечности (существования бесконечных, неконструктивных множеств, систем и процессов), а также абстракция отождествления (возможности отождествления любых двух одинаковых букв, символов любого алфавита, объектов, независимо от места их появления в словах, конструкциях, хотя их информационная ценность при этом может быть различна).
2. Анализ - разъединение системы на подсистемы с целью выявления их взаимосвязей.
3. Декомпозиция - разъединение системы на подсистемы с сохранением их взаимосвязей с окружением.
4. Синтез - соединение подсистем в систему с целью выявления их взаимосвязей.

5. Композиция - соединение подсистем в систему с сохранением их взаимосвязей с окружением.
6. Индукция - получение знания о системе по знаниям о подсистемах; индуктивное мышление: распознавание эффективных решений, ситуаций и затем проблем, которые оно может разрешать.
7. Дедукция - получение знания о подсистемах по знаниям о системе; дедуктивное мышление: определение проблемы и затем поиск ситуации, ее разрешающей.
8. Эвристики, использование эвристических процедур - получение знания о системе по знаниям о подсистемах системы и наблюдениям, опыту.
9. Моделирование (простое моделирование) и/или использование приборов - получение знания об объекте с помощью модели и/или приборов; моделирование основывается на возможности выделять, описывать и изучать наиболее важные факторы и игнорировать при формальном рассмотрении второстепенные.
10. Исторический метод - поиск знаний о системе путем использования ее предыстории, реально существовавшей или же мыслимой, возможной (виртуальной).
11. Логический метод - метод поиска знаний о системе путем воспроизведения ее некоторых подсистем, связей или элементов в мышлении, в сознании.
12. Макетирование - получение информации по макету объекта или системы, т.е. с помощью представления структурных, функциональных, организационных и технологических подсистем в упрощенном виде, сохраняющем информацию, которая необходима для понимания взаимодействий и связей этих подсистем.
13. Актуализация - получение информации с помощью активизации, инициализации смысла, т.е. переводом из статического (неактуального) состояния в динамическое (актуальное) состояние; при этом все необходимые связи и отношения (открытой) системы с внешней средой должны быть учтены (именно они актуализируют систему).
14. Визуализация - получение информации с помощью наглядного или визуального представления состояний актуализированной системы; визуализация предполагает возможность выполнения в системе операции типа "передвинуть", "повернуть", "укрупнить", "уменьшить", "удалить", "добавить" и т.д. (как по отношению к отдельным элементам, так и к подсистемам системы). Это метод визуального восприятия информации.

Кроме указанных классических форм реализации теоретико-эмпирических методов, в последнее время часто используются и такие формы как мониторинг (система наблюдений и анализа состояний системы), деловые игры и ситуации, экспертные оценки (экспертное оценивание), имитация (подражание), верификация (сопоставление с опытом и заключение об обучении) и другие формы.

Охарактеризуем кратко теоретические методы.

1. Восхождение от абстрактного к конкретному - получение знаний о системе на основе знаний о ее абстрактных проявлениях в сознании, в мышлении.
2. Идеализация - получение знаний о системе или о ее подсистемах путем мысленного конструирования, представления в мышлении систем и/или подсистем, не существующих в действительности.
3. Формализация - получение знаний о системе с помощью знаков или же формул, т.е. языков искусственного происхождения, например, языка математики (или математическое, формальное описание, представление).

4. Аксиоматизация - получение знаний о системе или процессе с помощью некоторых, специально для этого сформулированных аксиом и правил вывода из этой системы аксиом.
5. Виртуализация - получение знаний о системе созданием особой среды, обстановки, ситуации (в которую помещается исследуемая система и/или ее исследующий субъект), которую реально, без этой среды, невозможно реализовать и получить соответствующие знания.

Эти методы получения информации системно применяются в любой сфере деятельности (рис. 5.1).



Рис. 5.1. Структура познания системы

Пример. Для построения модели планирования и управления производством в рамках страны, региона или крупной отрасли, нужно решить проблемы:

- определить структурные связи системы (как вертикальные, так и горизонтальные), уровни управления и принятия решений, ресурсы; при этом чаще используются методы наблюдения, сравнения, измерения, эксперимента, анализа и синтеза, дедукции и индукции, эвристический, исторический и логический, макетирование и др.;
- определить гипотезы, цели, возможные проблемы планирования; наиболее используемые методы: наблюдение, сравнение, эксперимент, абстрагирование, анализ, синтез, дедукция, индукция, эвристический, исторический, логический и др.;
- конструирование эмпирических моделей системы; наиболее используемые методы: абстрагирование, анализ, синтез, индукция, дедукция, формализация, идеализация и др.;
- поиск решения проблемы планирования и просчет различных вариантов, директив планирования, поиск оптимального решения; используемые чаще методы: измерение, сравнение, эксперимент, анализ, синтез, индукция, дедукция, актуализация, макетирование, визуализация, виртуализация и др.

Информация, таким образом, может быть рассмотрена как кортеж $A = \langle X, Y, f \rangle$, где носитель X - сведения, знания о предметной области, множество Y - сообщения, отражающие эти сведения, отношение f - отношение кодирования между элементами X, Y , т.е. их актуализации.

Пример. Пусть $X = \{\text{супруги, дети супругов}\}$, $Y = \{\text{"Иванов Петр Сидорович", "Иванова Ольга Николаевна", "Иванов Олег Петрович", "Иванова Наталья Петровна", "мать", "отец", "сын", "дочь", "родители", "дети"}\}$, отношение f может быть задано (словесно) перечислением связей вида: "Иванов Олег Петрович - супруг Ивановой Ольги Николаевны", "Иванова Наталья Петровна - дочь Ивановой Ольги Николаевны" и т.д.

Пример. Пусть $X = \{\text{арифметические операции}\}$, $Y = \{\text{"-(взятие противоположного числа)", "+(сложение)", "-(вычитание)", "\times(умножение)", "/(деление)", "\sqrt{\text{(извлечение квадратного корня)}}$, f определим как установление соответствия "унарная операция".

Таким образом, основная задача науки состоит в построении, исследовании, актуализации или хранении множеств с заданным классом X однотипных задач, Y - классом структур и ресурсов, связываемых с этими задачами, и f - процессами их сопоставления и актуализации с помощью некоторых ресурсов.

Такие задачи мы решаем в ежедневной жизни, но в то же время часто правило f нельзя отыскать или построить явно или конструктивно. В этом случае приходится заменять искомым закон f с помощью подходящих явных или конструктивных представлений f , X , Y и/или Z (см. [рис. 5.2](#)) и применять эти представления всякий раз.

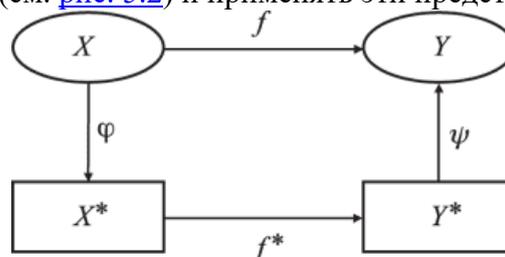


Рис. 5.2. Инвариант всех решаемых проблем науки

Правило Φ задает правило кодирования или интерпретации входного алфавита, правило Ψ - правило декодирования или интерпретации выходного алфавита, т.е. входной и выходной коды (правила, функции). При этом справедливы законы:

$$y = f(x) = \Psi(f^*(\Phi(x))).$$

Правило f^* подбирают так, чтобы, в отличие от f , его можно было бы найти и/или исследовать, применить. Для каждого сообщения x из X определена триада:

$$(x, y^*, y) : \quad x^* = \Phi(x), \quad y^* = f^*(x^*), \quad y = \Psi(y^*).$$

Информация - содержание сообщения, сообщение - форма проявления или актуализации информации. Информация всегда имеет носитель, актуализация информации связана с изменением носителя, ресурсов.

Пример. Сведения о сути товара могут быть изложены в рекламе, передаваемой различными сообщениями (по телевидению, по радио, в газете и т.д.). При этом соответствие этой рекламы действительности может быть независимо от типа сообщений, т.е. имеется третья сторона информации (кроме ее абстрактной сущности, ее представления сообщениями) - соответствие сведений, заложенных в информации, с проявлениями реальной системы.

6. Лекция: Меры информации в системе

Рассматриваются различные способы введения меры измерения количества информации, их положительные и отрицательные стороны, связь с изменением информации в системе, примеры.

Цель лекции: введение в различные способы задания мер для измерения количества информации, их критический сравнительный анализ, основные связи информации и энтропии системы.

В предыдущей лекции было отмечено, что информация может пониматься и интерпретироваться в различных проблемах, предметных областях по-разному. Вследствие этого, имеются различные подходы к определению измерения информации и различные способы введения меры количества информации.

Количество информации - числовая величина, адекватно характеризующая актуализируемую информацию по разнообразию, сложности, структурированности (упорядоченности), определенности, выбору состояний отображаемой системы.

Если рассматривается некоторая система, которая может принимать одно из p возможных состояний, то актуальной задачей является задача оценки этого выбора, исхода. Такой оценкой может стать мера информации (события).

Мера, как было сказано выше, - непрерывная действительная неотрицательная функция, определенная на множестве событий и являющаяся аддитивной (мера суммы равна сумме мер).

Меры могут быть статические и динамические, в зависимости от того, какую информацию они позволяют оценивать: статическую (не актуализированную; на самом деле оцениваются сообщения без учета ресурсов и формы актуализации) или динамическую (актуализированную т.е. оцениваются также и затраты ресурсов для актуализации информации).

Ниже мы не всегда будем, в основном, для большей убедительности и большего содержательного понимания, проводить четкие математические границы между понятиями "количество информации" и "мера количества информации", но строгому читателю необходимо все время задавать достаточно важные вопросы: о количестве информации или о мере информации в конкретной последовательности событий идет речь? о детерминированной или стохастической информации идет речь? какова мера измерения количества информации и насколько она адекватна?

1. Мера Р. Хартли. Пусть имеется N состояний системы S или N опытов с различными, равновероятными, последовательными состояниями системы. Если каждое состояние системы закодировать, например, двоичными кодами определенной длины d , то эту длину необходимо выбрать так, чтобы число всех различных комбинаций было бы не меньше, чем N . Наименьшее число, при котором это возможно, называется мерой разнообразия множества состояний системы и задается формулой Р. Хартли: $H = k \log_a N$, где k - коэффициент пропорциональности (масштабирования, в зависимости от выбранной единицы измерения меры), a - основание системы меры.

Если измерение ведется в экспоненциальной системе, то $k=1$, $H = \ln N$ (нат); если измерение было произведено в двоичной системе, то $k=1/\ln 2$, $H = \log_2 N$ (бит); если измерение было произведено в десятичной системе, то $k=1/\ln 10$, $H = \lg N$ (дит).

Пример. Чтобы узнать положение точки в системе из двух клеток т.е. получить некоторую информацию, необходимо задать 1 вопрос ("Левая или правая клетка?"). Узнав положение точки, мы увеличиваем суммарную информацию о системе на 1 бит ($I = \log_2 2$). Для системы из четырех клеток необходимо задать 2 аналогичных вопроса, а информация равна 2 битам ($I = \log_2 4$). Если же система имеет n различных состояний, то максимальное количество информации будет определяться по формуле: $I = \log_2 n$.

Справедливо утверждение Хартли: если в некотором множестве $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ необходимо выделить произвольный элемент $x_i \in X$, то для того, чтобы выделить (найти) его, необходимо получить не менее $\log_a n$ (единиц) информации.

Если N - число возможных равновероятных исходов, то величина $k \ln N$ представляет собой меру нашего незнания о системе.

По Хартли, для того, чтобы мера информации имела практическую ценность, она должна быть такова, чтобы отражать количество информации пропорционально числу выборов.

Пример. Имеются 192 монеты. Известно, что одна из них - фальшивая, например, более легкая по весу. Определим, сколько взвешиваний нужно произвести, чтобы выявить ее. Если положить на весы равное количество монет, то получим 3 независимые возможности: а) левая чашка ниже; б) правая чашка ниже; в) чашки уравновешены. Таким образом, каждое взвешивание дает количество информации $I = \log_2 3$, следовательно, для определения фальшивой монеты нужно сделать не менее k взвешиваний, где наименьшее k удовлетворяет условию $\log_2 3^k \geq \log_2 192$. Отсюда, $k \geq 5$ или, $k=4$ (или $k=5$ - если считать за одно взвешивание и последнее, очевидное для определения монеты). Итак, необходимо сделать не менее 5 взвешиваний (достаточно 5).

Пример. ДНК человека можно представить себе как некоторое слово в четырехбуквенном алфавите, где каждой буквой помечается звено цепи ДНК или нуклеотид. Определим, сколько информации (в битах) содержит ДНК, если в нем содержится примерно $1,5 \times 10^{23}$ нуклеотидов (есть и другие оценки этого объема, но мы рассмотрим данный вариант). На один нуклеотид приходится $\log_2(4)=2$ (бит) информации. Следовательно, структура ДНК в организме человека позволяет хранить 3×10^{23} бит информации. Это вся информация, сюда входит и избыточная. Реально используемой - структурированной в памяти человека информации, - гораздо меньше. В связи с этим, заметим, что человек за среднюю продолжительность жизни использует около 5-6% нейронов (нервных клеток мозга - "ячеек ОЗУ человека"). Генетический код - чрезвычайно сложная и упорядоченная система записи информации. Информация, заложенная в генетическом коде (по учению Дарвина), накапливалась многие тысячелетия. Хромосомные структуры - своеобразный шифровальный код, при клеточном делении создаются копии шифра, каждая хромосома - удваивается, в каждой клетке имеется шифровальный код, при этом каждый человек получает, как правило, свой набор хромосом (код) от матери и от отца. Шифровальный код разворачивает процесс эволюции человека. Вся жизнь, как отмечал Э. Шредингер, "упорядоченное и закономерное поведение материи, основанное ... на существовании упорядоченности, которая поддерживается все время".

Формула Хартли отвлечена от семантических и качественных, индивидуальных свойств рассматриваемой системы (качества информации в проявлениях системы с помощью рассматриваемых N состояний системы). Это основная и положительная сторона формулы. Но имеется основная и отрицательная ее сторона: формула не учитывает различимость и различность рассматриваемых N состояний системы.

Уменьшение (увеличение) N может свидетельствовать об уменьшении (увеличении) разнообразия состояний N системы. Обратное, как это следует из формулы Хартли (так как основание логарифма больше 1!), - также верно.

2. Мера К. Шеннона. Формула Шеннона дает оценку информации независимо, отвлеченно от ее смысла:

$$I = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i$$

где n - число состояний системы; p_i - вероятность (или относительная частота) перехода системы в i -е состояние, причем сумма всех p_i равна 1.

Если все состояния равновероятны (т.е. $p_i=1/n$), то $I=\log_2 n$.

К. Шенноном доказана теорема о единственности меры количества информации. Для случая равномерного закона распределения плотности вероятности мера Шеннона совпадает с мерой Хартли. Справедливость и достаточная универсальность формул Хартли и Шеннона подтверждается и данными нейропсихологии.

Пример. Время t реакции испытуемого на выбор предмета из имеющихся N предметов линейно зависит от $\log_2 N$: $t=200+180\log_2 N$ (мс). По аналогичному закону изменяется и время передачи информации в живом организме. Один из опытов по определению психофизиологических реакций человека состоял в том, что перед испытуемым большое количество раз зажигалась одна из n лампочек, на которую он должен был указать в ходе эксперимента. Оказалось, что среднее время, необходимое для правильного ответа испытуемого, пропорционально не числу n лампочек, а именно величине I , определяемой по формуле Шеннона, где p_i - вероятность зажечь лампочку номер i

Легко видеть, что в общем случае

$$I = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i \leq \log_2 n$$

Если выбор i -го варианта predetermined заранее (выбора, собственно говоря, нет, $p_i=1$), то $I=0$.

Сообщение о наступлении события с меньшей вероятностью несет в себе больше информации, чем сообщение о наступлении события с большей вероятностью. Сообщение о наступлении достоверно наступающего события несет в себе нулевую информацию (и это вполне ясно: событие всё равно произойдет когда-либо).

Пример. Если положение точки в системе известно, в частности, она - в k -ой клетке, т.е. все $p_i=0$, кроме $p_k=1$, то тогда $I=\log_2 1=0$ и мы здесь новой информации не получаем (как и следовало ожидать).

Пример. Выясним, сколько бит информации несет произвольное двузначное число со всеми значащими цифрами (отвлекаясь при этом от его конкретного числового значения, т.е. каждая из возможных цифр может появиться на данном месте, в данном разряде с одинаковой вероятностью). Так как таких чисел может быть всего 90 (10-99), то информации будет количество $I=\log_2 90$ или приблизительно $I=6,5$. Так как в таких числах значащая первая цифра имеет 9 значений (1-9), а вторая - 10 значений (0-9), то $I=\log_2 90=\log_2 9+\log_2 10$. Приблизительное значение $\log_2 10$ равно 3,32. Итак, сообщение в одну десятичную единицу несет в себе в 3,32 больше информации, чем в одну двоичную единицу (чем $\log_2 2=1$), а вторая цифра, например, в числе aa, несет в себе больше информации, чем первая (если цифры a обоих разрядов неизвестны; если же эти цифры a известны, то выбора нет и информация равна нулю).

Если в формуле Шеннона обозначить $f_i=-\log_2 p_i$, то получим, что I можно понимать как среднеарифметическое величин f_i .

Отсюда, f_i можно интерпретировать как информационное содержание символа алфавита с индексом i и величиной p_i вероятности появления этого символа в сообщении, передающем информацию.

Пример. Пусть рассматривается алфавит из двух символов русского языка - "к" и "а". Относительные частоты встречаемости этих букв в частотном словаре русского языка равны соответственно $p_1=0.028$, $p_2=0.062$. Возьмем произвольное слово p длины N из k букв "к" и m ($k+m=N$) букв "а" над этим алфавитом. Число всех таких возможных слов, как это следует из комбинаторики, равно $n=N!/(k! m!)$. Оценим количество информации в таком слове: $I=\log_2 n=\ln n/\ln 2=\log_2 e[\ln N!-\ln k!-\ln m!]$. Используя известную формулу Стирлинга (эта формула, как известно из математического анализа, достаточно точна при больших N , например, при $N>100$) - $N! \approx (N/e)^N$, а точнее, ее важное следствие, - $\ln N! \approx N(\ln N - 1)$, получаем оценку количества информации (в битах) на 1 символ любого слова:

$$\begin{aligned} I_1 &= I/N \approx (\log_2 e/N) [(k+m)(\ln N - 1) - k(\ln k - 1) - m(\ln m - 1)] = \\ &= (\log_2 e/N) [k \ln(N/k) - m \ln(N/m)] = \\ &= -\log_2 e [(k/N) \ln(k/N) + (m/N) \ln(m/N)] \leq \\ &\leq -\log_2 e [p_1 \ln p_1 + p_2 \ln p_2] = \\ &= -\log_2 e [0,028 \ln 0,028 + 0,062 \ln 0,062] \approx 0,235. \end{aligned}$$

Пример. В сообщении 4 буквы "а", 2 буквы "б", 1 буква "и", 6 букв "р". Определим количество информации в одном таком (из всех возможных) сообщении. Число N различных сообщений длиной 13 букв будет равно величине: $N=13!/(4! \times 2! \times 1! \times 6!)=180180$. Количество информации I в одном сообщении будет равно величине: $I=\log_2(N)=\log_2 180180 \approx 18$ (бит).

Если k - коэффициент Больцмана, известный в физике как $k=1.38 \times 10^{-16}$ эрг/град, то выражение

$$S = -k \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i$$

в термодинамике известно как энтропия, или мера хаоса, беспорядка в системе. Сравнивая выражения I и S , видим, что I можно понимать как информационную энтропию (энтропию из-за нехватки информации о/в системе).

Л. Больцман дал статистическое определение энтропии в 1877 г. и заметил, что энтропия характеризует недостающую информацию. Спустя 70 лет, К. Шеннон сформулировал постулаты теории информации, а затем было замечено, что формула Больцмана инвариантна информационной энтропии, и была выявлена их системная связь, системность этих фундаментальных понятий.

Важно отметить следующее.

Нулевой энтропии соответствует максимальная информация. Основное соотношение между энтропией и информацией:

$$I+S(\log_2 e)/k=\text{const}$$

или в дифференциальной форме

$$dI/dt = -((\log_2 e)/k) dS/dt.$$

При переходе от состояния S_1 с информацией I_1 к состоянию S_2 с информацией I_2 возможны случаи:

1. $S_1 < S_2$ ($I_1 > I_2$) - уничтожение (уменьшение) старой информации в системе;
2. $S_1 = S_2$ ($I_1 = I_2$) - сохранение информации в системе;
3. $S_1 > S_2$ ($I_1 < I_2$) - рождение новой (увеличение) информации в системе.

Главной положительной стороной формулы Шеннона является ее отвлеченность от семантических и качественных, индивидуальных свойств системы. В отличие от формулы Хартли, она учитывает различность, разнoverоятность состояний - формула имеет статистический характер (учитывает структуру сообщений), делающий эту формулу удобной для практических вычислений. Основной отрицательной стороной формулы Шеннона является то, что она не различает состояния (с одинаковой вероятностью достижения, например), не может оценивать состояния сложных и открытых систем и применима лишь для замкнутых систем, отвлекаясь от смысла информации. Теория Шеннона разработана как теория передачи данных по каналам связи, а мера Шеннона - мера количества данных и не отражает семантического смысла.

Увеличение (уменьшение) меры Шеннона свидетельствует об уменьшении (увеличении) энтропии (организованности) системы. При этом энтропия может являться мерой дезорганизации систем от полного хаоса ($S=S^{\max}$) и полной информационной неопределенности ($I=I^{\min}$) до полного порядка ($S=S^{\min}$) и полной информационной определенности ($I=I^{\max}$) в системе.

3. Термодинамическая мера. Информационно-термодинамический подход связывает величину энтропии системы с недостатком информации о внутренней структуре системы (не восполняемым принципиально, а не просто нерегистрируемым). При этом число состояний определяет, по существу, степень неполноты наших сведений о системе.

Пусть дана термодинамическая система (процесс) S , а H_0, H_1 - термодинамические энтропии системы S в начальном (равновесном) и конечном состояниях термодинамического процесса, соответственно. Тогда термодинамическая мера информации (негэнтропия) определяется формулой:

$$H(H_0, H_1) = H_0 - H_1.$$

Эта формула универсальна для любых термодинамических систем. Уменьшение $H(H_0, H_1)$ свидетельствует о приближении термодинамической системы S к состоянию статического равновесия (при данных доступных ей ресурсах), а увеличение - об удалении.

Поставим некоторый вопрос о состоянии термодинамической системы. Пусть до начала процесса можно дать r_1 равновероятных ответов на этот вопрос (ни один из которых не является предпочтительным другому), а после окончания процесса - r_2 ответов. Изменение информации при этом:

$$\Delta I = k \ln(p_1 / p_2) = k (\ln p_1 - \ln p_2).$$

Если $p_1 > p_2$ ($\Delta I > 0$) - идет прирост информации, т.е. сведения о системе стали более определенными, а при $p_1 < p_2$ ($\Delta I < 0$) - менее определенными. Универсально то, что мы не использовали явно структуру системы (механизм протекания процесса).

Пример. Предположим, что имеется развивающаяся социально-экономическая система с числом состояний 10, которая в результате эволюции развилась до системы с числом состояний 20. Нас интересует вопрос о состоянии некоторого составного элемента системы (например, предприятия). В начале мы знали ответ на вопрос и поэтому $p_1 = 1$ ($\ln p_1 = 0$). Число ответов было пропорционально величине $[\ln 10]$. После развития мы знаем уже микроэкономическое состояние, т.е. изменение информации о состоянии системы равно $\Delta I = -k \ln(20/10) = -k \ln 2$ (нат).

Пример. Предположим, что имеется термодинамическая система - газ в объеме V , который расширяется до объема $2V$ (рис. 6.1).

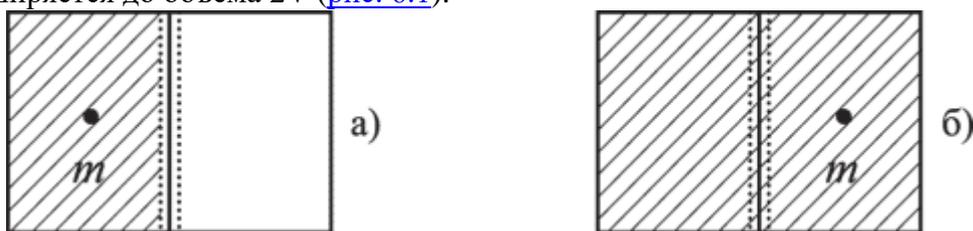


Рис. 6.1. Газ объема V (а) расширяемый до $2V$ (б)

Нас интересует вопрос о координате молекулы m газа. В начале (а) мы знали ответ на вопрос и поэтому $p_1 = 1$ ($\ln p_1 = 0$). Число ответов было пропорционально $\ln V$. После поднятия заслонки мы уже знаем эту координату (микросостояния), т.е. изменение (убыль) информации о состоянии системы будет равно

$$\Delta I = -k \ln(2V / V) = -k \ln 2 \quad (\text{нат}).$$

Мы получили известное в термодинамике выражение для прироста энтропии в расчете на одну молекулу, и оно подтверждает второе начало термодинамики. Энтропия - мера недостатка информации о микросостоянии статической системы.

Величина ΔI может быть интерпретирована как количество информации, необходимой для перехода от одного уровня организации системы к другому (при $\Delta I > 0$ - более высокому, а при $\Delta I < 0$ - более низкому уровню организации).

Термодинамическая мера (энтропия) применима к системам, находящимся в тепловом равновесии. Для систем, далеких от теплового равновесия, например, живых биологических систем, мера-энтропия - менее подходящая.

4. Энергоинформационная (квантово-механическая) мера. Энергия (ресурс) и информация (структура) - две фундаментальные характеристики систем реального мира, связывающие их вещественные, пространственные, временные характеристики. Если A - именованное множество с носителем так называемого "энергетического происхождения", а B - именованное множество с носителем "информационного происхождения", то можно определить энергоинформационную меру $f: A \rightarrow B$, например, можно принять отношение именованного множества с носителем (множеством имен) A или B . Отношение именованного множества должно отражать механизм взаимосвязей физико-информационных и вещественно-энергетических структур и процессов в системе.

Отметим, что сейчас актуальнее говорить о биоэнергоинформационных мерах, отражающих механизм взаимосвязей биофизико-информационных и вещественно-энергетических структур и процессов в системе.

Пример. Процесс деления клеток сопровождается излучением квантов энергии с частотами приблизительно до $N = 1.5 \times 10^{15}$ гц. Этот спектр можно воспринимать как спектр функционирования словарного запаса клетки как биоинформационной системы. С помощью этого спектра можно закодировать до 10^{15} различных биохимических реакций, что примерно в 10^7 раз больше количества реакций реально протекающих в клетке (их

количество - примерно 10^8), т.е. словарный запас клетки избыточен для эффективного распознавания, классификации, регулирования этих реакций в клетке. Количество информации на 1 квант энергии: $I = \log_2 10^{15} \approx 50$ бит. При делении клеток количество энергии, расходуемой на передачу 50 бит информации равно энергии кванта (h - постоянная Планка, ν - частота излучения):

$$E = h\nu = 6,62 \times 10^{-27} \text{ (эрг/сек)} \times 0,5 \times 10^{15} \text{ (сек}^{-1}\text{)} = 3,3 \times 10^{-12} \text{ (эрг)}.$$

При этом на 1 Вт мощности "передатчика" или на $\mu = 10^7$ эрг/сек. может быть передано количество квантов:

$$n = \mu / E = 10^7 \text{ (эрг/сек)} / (3,3 \times 10^{-12} \text{ (эрг)}) \approx 3,3 \times 10^{18} \text{ (квант)}.$$

Общая скорость передачи информации на 1 Вт затрачиваемой клеткой мощности определяется по числу различных состояний клетки N и числу квантов (излучений) m :

$$V = n \log_2 N = 3,3 \times 10^{18} \times 50 \approx 1,6 \times 10^{20} \text{ (бит/сек)}.$$

Любая информация актуализируется в некоторой системе. Материальный носитель любой системы - сообщение, сигнал. Любая актуализация сопровождается изменением энергетических свойств (изменением состояния) системы. Наши знания (а, следовательно, и эволюция общества) простираются на столько, на сколько углубляется информация и совершенствуется возможность ее актуализации.

5. Другие меры информации. Многими авторами в последнее время рассматриваются различные количественные меры для измерения смысла информации, например, мера, базирующаяся на понятии цели (А. Харкевич и другие); мера, базирующаяся на понятии тезаурус $T = \langle X, Y, Z \rangle$, где X, Y, Z - множества, соответственно, имен, смыслов и значений (прагматики) этих знаний (Ю. Шрейдер и другие); мера сложности восстановления двоичных слов (А. Колмогоров и другие); меры апостериорного знания (Н. Винер и другие); мера успешности принятия решения (Н. Моисеев и другие); меры информационного сходства и разнообразия и другие способы, подходы к рассмотрению мер информации.

Пример. В качестве меры (Колмогорова) восстановления двоичного слова y по заданному отображению f и заданным двоичным словам x из непустого множества X можно взять $H(f, y) = \min |x|$, $x \in X$, $f(x) = y$. Здесь $|x|$ - длина двоичного слова x .

Пример. Если априори известно, что некоторая переменная лежит в интервале $(0; 1)$, и апостериори, что она лежит в интервале $(a; b) \subset (0; 1)$, тогда в качестве меры (Винера) количества информации, извлекаемой из апостериорного знания, можно взять отношение меры $(a; b)$ к мере $(0; 1)$.

Пример. В биологических науках широко используются так называемые индексные меры, меры видového разнообразия. Индекс - мера состояния основных биологических, физико-химических и др. компонент системы, позволяющая оценить силу их воздействия на систему, состояние и эволюцию системы. Индексы должны быть уместными, общими, интерпретируемыми, чувствительными, минимально достаточными, качественными, широко применяемыми, рациональными. Например, показателем видového разнообразия в лесу может служить

$$v = \sqrt{p_1} + \sqrt{p_2} + \dots + \sqrt{p_n}$$

где p_1, p_2, \dots, p_n - частоты видов сообщества, обитающих в лесу, n - число видов.

7. Лекция: Система и управление

Рассматриваются проблемы управления системой (в системе), схема, цели, функции и задачи управления системой, понятие и типы устойчивости системы, элементы когнитивного анализа.

Цель лекции: введение в основную проблему (атрибут) системного анализа - управление системой (в системе).

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

Своевременная и оперативная информация может позволить стабилизировать систему, приспособливаться и(или) адаптироваться, восстанавливаться при нарушениях структуры и(или) подсистем. От степени информированности системы, от богатства опыта взаимодействия системы и окружающей среды зависит развитие и устойчивость системы.

Информация обладает также определенной избыточностью: чем больше сообщений о системе, тем полнее и точнее она управляется.

Пример. При передаче сообщений часто применяют способ двукратной (избыточной) последовательной передачи каждого символа (что позволяет избавляться от помех, "шумов" при передаче и осуществлять, например, контроль четности сигналов, по результатам которого выявляется количество сбоев). Пусть в результате сбоя при передаче приемником принято было слово вида "прраоссттоо". Определим, какое осмысленное (имеющее семантический смысл) слово русского языка передавалось передатчиком. Легко заметить, что "претендентами на слово" являются слова "праспо", "проспо", "рроспо", "ррасто", "прасто", "рросто", "просто" и "рраспо". Из всех этих слов осмысленным является только слово "просто".

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

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

Управление системой - выполнение внешних функций управления, обеспечивающих необходимые условия функционирования системы (см. [рис. 7.1](#)).



Рис. 7.1. Общая схема управления системой

Управление системой (в системе) используется для различных целей:

1. увеличения скорости передачи сообщений;
2. увеличения объема передаваемых сообщений;
3. уменьшения времени обработки сообщений;
4. увеличения степени сжатия сообщений;
5. увеличения (модификации) связей системы;
6. увеличения информации (информированности).

Как правило, эти цели интегрируются.

В целом информация используется для двух основных глобальных целей: сохранения стабильного функционирования системы и перевода системы в заданное целевое состояние.

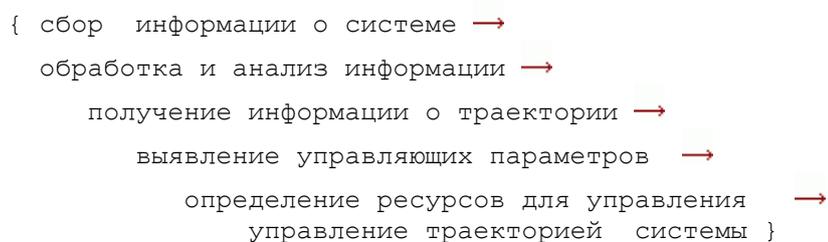
Пример. Появление возможности управлять электрическими и магнитными колебаниями сделало массово доступным радио, телевидение, при этом скорость передачи информации достигла скорости света; пропускная способность телеканала по сравнению с пропускной способностью телефонного канала выросла примерно в 2000 раз, ускорение обработки - в миллионы раз. Возросла и сжатость информации, и информативность сообщений.

Управление любой системой (в любой системе) должно подкрепляться необходимыми ресурсами - материальными, энергетическими, информационными, людскими и организационными (административного, экономического, правового, гуманитарного, социально-психологического типа). При этом характер и степень активизации этих ресурсов может повлиять (иногда лишь косвенно) и на систему, в которой информация используется. Более того, сама информация может быть зависима от системы.

Пример. В средствах массовой информации правительство чаще ругают, актеров чаще хвалят, спортсменов упоминают обычно в связи со спортивными результатами, прогноз погоды бывает, как правило, кратким, новости политики - официальными.

Управление - непрерывный процесс, который не может быть прекращен, ибо движение, поток информации в системе не прекращается.

Цикл управления любой системой (в любой системе) таков:



Основные правила организации информации для управления системой:

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

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

Если число возможных состояний системы S равно N , то общее количество разнообразия системы (мера выбора в системе - см. выше "информационные меры") равно $V(N) = \log_2 N$.

Пусть управляемая система обладает разнообразием $V(N_1)$, а управляющая - $V(N_2)$. Цель управляющей системы - уменьшить значение $V(N_1)$ за счет изменения $V(N_2)$. В свою очередь, изменение $V(N_1)$, как правило, влечет изменение и $V(N_2)$, а именно, управляющая система может эффективно выполнять присущие ей функции управления лишь при условии, если верно неравенство

$$V(N_2) \geq V(N_1).$$

Это неравенство выражает принцип Эшби (необходимого разнообразия управляемой системы): управляющая подсистема системы должна иметь более высокий уровень организации (или большее разнообразие, больший выбор), чем управляемая подсистема, т.е. многообразие может быть управляемо (разрушено) лишь многообразием.

Пример. Менеджер фирмы должен быть более подготовлен, более грамотен, организован, свободен в своих решениях, чем, например, продавец фирмы. Малые,

средние фирмы, ООО, АО - необходимый фактор разнообразия, успешного развития бизнеса, так как они более динамичны, гибки, адаптируемы к рынку. В развитых рыночных системах они имеют больший вес, например, в США доля крупных корпораций не более 10%.

Функции и задачи управления системой:

1. Организация системы - полное, качественное выделение подсистем, описание их взаимодействий и структуры системы (как линейной, так и иерархической, сетевой или матричной).
2. Прогнозирование поведения системы, т.е. исследование будущего системы.
3. Планирование (координация во времени, в пространстве, по информации) ресурсов и элементов, подсистем и структуры системы, необходимых (достаточных - в случае оптимального планирования) для достижения цели системы.
4. Учет и контроль ресурсов, приводящих к тем или иным желаемым состояниям системы.
5. Регулирование - адаптация и приспособление системы к изменениям внешней среды.
6. Реализация тех или иных спланированных состояний, решений.

Функции и задачи управления системой взаимосвязаны, а также взаимозависимы.

Пример. Нельзя, например, осуществлять полное планирование в экономической системе без прогнозирования, учета и контроля ресурсов, без анализа спроса и предложения - основных регуляторов рынка. Экономика любого государства - всегда управляемая система, хотя подсистемы управления могут быть организованы по-разному, иметь различные элементы, цели, структуру, отношения.

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

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

По времени управляющего воздействия системы могут быть: долгосрочно и краткосрочно управляемые.

Иногда отождествляют стратегическое и долгосрочное, тактическое и краткосрочное управление, но это не всегда верно.

Пример. Любая серьезная экономическая система стратегического управления должна включать в себя управляющую (информационную) подсистему, обрабатывающую, актуализирующую стратегическую информацию об инновационных мероприятиях, инвестиционных условиях, о возможностях и состояниях рынков товаров, услуг, ценных бумаг, доступных ресурсах, финансовых условиях и критериях, принципах и методах управления и др. Такие системы обычно имеют следующие цели и, часто, соответствующие им структуры:

1. управление координацией (Project Integration Management);
2. управление целями (Project Scope Management);
3. управление временем (Project Time Management);
4. управление стоимостью (Project Cost Management);
5. управление качеством (Project Quality Management);
6. управление людскими ресурсами (Project Human Resource Management);
7. управление коммуникациями (Project Communication Management);
8. управление рисками (Project Risk Management);
9. управление поставками (Project Procurement Management).

Все эти функции тесно переплетены между собой.

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

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

Пример. Рассмотрим маятник, подвешенный в некоторой точке и отклоняемый от положения равновесия на угол $0 \leq \varphi \leq \pi$. Маятник будет структурно, вычислительно, алгоритмически и информационно устойчив в любой точке, а при $\varphi=0$ (состояние покоя маятника) - устойчив и динамически, и эволюционно (самоорганизационные процессы в маятнике на микроуровне мы не учитываем). При отклонении от устойчивого состояния равновесия маятник, самоорганизуясь, стремится к равновесию. При $\varphi=\pi$ маятник переходит в динамически неустойчивое состояние. Если же рассматривать лед (как систему), то при температуре таяния эта система структурно неустойчива. Рынок при неустойчивом спросе-предложении неустойчив структурно.

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

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

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

Пример. Известная игрушка "Ванька-встанька" - пример такой системы.

Пусть система S зависит от вектора факторов, переменных $x=(x_1, x_2, \dots, x_n)$.

Матрицей системы назовем матрицу $E=||e_{ij}||$ из 1 и 0: $e_{ij}=1$ лишь тогда, когда переменная x_i оказывает влияние на x_j .

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

Пример. Рассмотрим множество друзей $X=\{\text{Иванов, Петров, Сидоров}\}$ и городов $Y=\{\text{Москва, Париж, Нальчик}\}$. Тогда можно построить 3D-структуру в R_3 (в пространстве трех измерений - высота, ширина, длина), образуемую связыванием элементов X и Y , например, по принципу "кто где был" (рис. 7.2). В этой структуре были использованы сетевые 2D-структуры X , Y (которые, в свою очередь, использовали 1D-структуры). При этом элементы X и Y можно брать как точки, элементы пространства нулевого измерения R_0 .

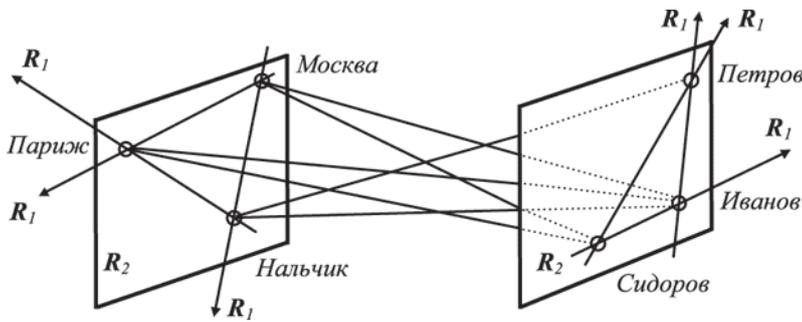


Рис. 7.2. Геометрическая иллюстрация сложных связанных структур

При системном анализе различных систем, особенно социально-экономических, удобным инструментом их изображения и изучения является инструментарий когнитивной структуризации и системно-когнитивная концепция.

Когнитология - междисциплинарное (философия, нейропсихология, психология, лингвистика, информатика, математика, физика и др.) научное направление, изучающее методы и модели формирования знания, познания, универсальных структурных схем мышления.

Цель когнитивной структуризации - формирование и уточнение гипотезы о функционировании исследуемой системы, т.е. структурных схем причинно-следственных связей, их качественной и(или) количественной оценки.

Причинно-следственная связь между системами (подсистемами) А и В положительна (отрицательна), если увеличение или усиление А ведет к увеличению или усилению (уменьшению или ослаблению) В.

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

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

Пример. Когнитивная структурная схема для анализа проблемы энергопотребления может иметь следующий вид ([рис. 7.3](#)):

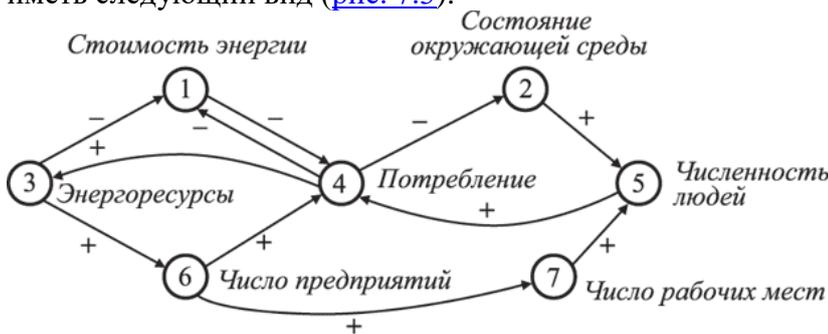


Рис. 7.3. Пример когнитивной карты

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

Пример. Такие решетки могут быть полезны, в частности, при оптимизации долевого распределения основной группы налогов между федеральным и региональным бюджетами, при выработке стратегии повышения бюджетного самообеспечения и др. На

[рис. 7.4](#) показана решетка в биполярной системе показателей; зона D - наиболее, зона А - наименее благоприятная.



Рис. 7.4. Когнитивная решетка финансовой устойчивости фирмы

Когнитивный инструментарий позволяет снижать сложность исследования, формализации, структурирования, моделирования системы.

Когнитивная карта не отражает детальный характер или динамику изменения влияний в зависимости от изменения ситуации. Для этого необходимо построить соответствующую процедуру когнитивного системного анализа, по схеме, приводимой ниже.

Процедура когнитивного анализа системы, ситуации.

1. Выделение основных факторов системы.
2. Определение в выделенных факторах целевых факторов.
3. Определение факторов, которые могут влиять на целевые факторы.
4. Определение факторов, которые могут объяснять развитие системы, и их группировка в кластеры факторов (как правило, это иерархическая система, на нижнем уровне которой находятся наиболее элементарные, на следующем, - интегральные от них и т.д.).
5. Выделение в кластере группы интегральных факторов и характеризующих их показателей, которые могут быть информативными (поясняющими тенденции развития системы), и их детализация, формализация, математизация.
6. Определение связей между кластерами.
7. Определение связей и характера (например, положительный, отрицательный) и силы взаимовлияний внутри кластеров.
8. Проверка адекватности когнитивной схемы, т.е. сопоставление полученных результатов с логико-историческими проявлениями системы.
9. Корректировка, уточнение схемы.

Эта процедура лежит в основе системно-когнитивной концепции, на основе которой пытаются адекватно, структурированно, с помощью простых базовых когнитивных операций и, по возможности, формально, математически отразить и автоматизировать сущность процесса познания человеком, например, процессов вербализации, синтаксического синтеза, семантического анализа, макетирования, виртуализации и др.

К базовым когнитивным операциям (процедурам) можно отнести (см. также системные процедуры, упомянутые в [лекции 1](#)):

1. восприятие, регистрация свойства, отношения, объекта, процесса, системы;
2. присвоение уникального имени свойству, отношению, объекту, процессу, системе;
3. шкалирование и кластеризация, классификация;
4. обобщение;

5. сравнение;
6. идентификация, узнавание объекта по его проявлениям;
7. морфологический анализ (например, связей элементов);
8. синтаксический анализ (например, атрибутов элементов и классов);
9. семантический анализ (например, связей классов);
10. верификация, сопоставление с опытом и заключение об обучении;
11. планирование эксперимента;
12. принятие решения.

8. Лекция: Информационные системы

Рассматриваются основные системные понятия, касающиеся информационных систем, их типы, жизненный цикл проектирования информационной системы, аксиомы информационных систем.

Цель лекции: введение в системные основы информационных систем и информационного менеджмента.

Информация используется для управления, но и сама она подвержена управляющим воздействиям. Основная цель этих воздействий - поддержка информационных потоков и магистралей, способствующих достижению поставленных целей при ограниченных материально-энергетических, информационно-организационных, пространственно-временных ресурсах.

Рассмотрим сказанное на примере маркетингового информационного управления.

Пример. Маркетинговое информационное управление - планирование и прогнозирование поведения системы, корпорации, на основе рыночной информации, информационных процессов и информационных технологий на рынке, в сфере бизнеса с учетом поведения и привычек покупателя и продавца, их интерактивного контакта, оперативной реакции. Чтобы понять клиентов фирмы, ее конкурентов, дилеров и т.п., не обойтись без маркетинговых исследований. Заметим, что такие исследования нужны не только в коммерческих, но и в некоммерческих организациях. Вуз интересуется, какую репутацию он имеет в глазах абитуриентов, студентов. Политическая партия, организация интересуется своим рейтингом, мнением потенциальных избирателей о ее кандидатах. Управляющие могут привлекать высококвалифицированных исследователей-маркетологов, ибо в своих собственных интересах получать информацию, которая позволяет принимать правильные решения. Они должны хорошо знать технологию проведения маркетингового исследования и интерпретации полученной информации, которая состоит из следующих процедур: определение проблемы, целей и расстановки их приоритетов; сбор и анализ первичной информации; анализ вторичной информации; рекомендации и использование результатов. Определение проблемы - формулирование предмета маркетингового исследования: провести информационный анализ и выяснить, какую информацию и для прояснения чего собирать? Анализ вторичной информации - анализ не устаревших данных, которые были собраны ранее для целей, не связанных с решением исследуемой проблемы, особенно данных, собранных из независимых источников, которая, как правило, весьма достоверна. Возможные источники вторичной информации: планы и финансовые отчеты; данные о сбыте; данные о прибылях и убытках; счета клиентов; данные о запасах; результаты предыдущих исследований; письменные сообщения (текущая информация); жалобы потребителей, стандарты для определения результативности; периодические издания; книги, монографии и другие неперіодические публикации; коммерческие исследовательские организации и др. Сбор и анализ первичных данных - сбор и анализ актуальной, "свежей" информации для решения конкретной исследуемой проблемы. Здесь важно отвечать на следующие вопросы: кого или что следует исследовать? какая информация должна собираться? кому поручить сбор

данных? какие методы сбора данных использовать? сколько будет стоить исследование? какова методика сбора данных? как долго собирать данные? когда и где собирать информацию? в какой форме собирать, как и где хранить информацию? Рекомендации и использование результатов позволяют вырабатывать и принимать решения. Правильно, полно и корректно собранная информация позволяет маркетологам: получать преимущества; снижать финансовый риск; определять отношения потребителей; следить за внешней средой; координировать стратегию и тактику поведения; оценивать деятельность других и собственную; повысить доверие к рекламе; получать поддержку в решениях; подкреплять интуицию; улучшать эффективность и др. Маркетинговые исследования - часть интегрированного информационного процесса, и на них воздействуют факторы окружающей среды (конкуренция, правительство, экономика и др.).

Во многих областях и в системном анализе важное значение имеет понятие "информационная система". Такая система отождествляется часто с некоторой системой поддержки (автоматизации) интеллектуальных работ, в частности, поиска информации, администрирования, экспертизы, принятия решений, управления, распознавания, накопления знаний, обучения и др.

Информационная система - система, в которой ее элементы, цель, ресурсы, структура (организация) рассматриваются, в основном, на информационном уровне (хотя, естественно, имеются и другие уровни рассмотрения, например, энергетический уровень).

Любая информационная система имеет следующие типы основных подсистем:

1. подсистема информационного обеспечения (данных);
2. подсистема интеллектуального обеспечения (информации, знаний);
3. подсистема технического обеспечения (аппаратуры);
4. подсистема технологического обеспечения (технологии);
5. подсистема коммуникативного обеспечения (интерфейса);
6. подсистема анализа и проектирования;
7. подсистема оценки адекватности и качества, верификации;
8. подсистема организационного взаимодействия и управления персоналом;
9. подсистема логистики (планирования и движения товаров и услуг).

Информационная среда - это среда (т.е. система и ее окружение) из взаимодействующих информационных систем, включая и информацию, актуализируемую в этих системах.

Пример. Можно выделить три основных подхода к использованию информационного менеджмента в социально-экономических системах.

1. "Отношений с общественностью" (PR - Public Relations, Пиар), при котором разрабатываются и используются системы управления социально-экономической информацией с целью создания более адекватной и благоприятной среды (включая и все виды ресурсов), общественного сознания для реализации интересов государства, монополии и человека, согласования их интересов, подчас противоречивых. Широко используются при этом методы опроса населения, изучения общественного мнения, рекламирования, прогнозирования и моделирования (особенно для повышения устойчивости и регуляции систем).
2. "Объединения достижений НТР и человека", при котором разрабатываются и реализуются системы массового обучения достижениям НТР, новым информационным технологиям, делопроизводству и т.д. с целью адаптации человека к системам с возросшими техническими и технологическими возможностями, требованиями к качеству продукции и соотношению "качество - цена".
3. "Организационного гуманизма", при котором разрабатываются и реализуются системы помещения трудящихся в стимулирующие их работу

культурно-образовательные, социально-психологические, гуманистические и материальные среды с целью раскрытия их потенциальных возможностей и способностей.

Пример. Технологический и социально-экономический отрыв стран Запада и СНГ определяется, в первую очередь, не отсутствием у нас квалифицированных рабочих, хорошей образовательной системы, ресурсов, а отсутствием адекватной им системы информационного и экономического управления, его регулирования, а не саморегулирования (самоорганизации), недостаточным вниманием к третьему подходу к информационному менеджменту. Реформы должны происходить не для обогащения небольшой группы населения, а для повышения благосостояния трудящейся массы (особенно среднего класса - базы любого государства), обеспечения его творческого и плодотворного труда. Это наиболее важно и в то же время трудно обеспечиваемо в условиях экономических реформ.

Информационная система управления - система, предназначенная для управления, - как другой системой, так и внутри системы (т.е. в качестве управляющей подсистемы).

Различают также основные 6 типов информационных систем управления (тип системы определяется целью, ресурсами, характером использования и предметной областью):

1. Диалоговая система обработки запросов (Transaction Processing System) - для реализации текущих, краткосрочных, тактического характера, часто рутинных и жестко структурируемых и формализуемых процедур, например, обработки накладных, ведомостей, бухгалтерских счетов, складских документов и т.д.

2. Система информационного обеспечения (Information Provision System) - для подготовки информационных сообщений краткосрочного (обычно) использования тактического или стратегического характера, например, с использованием данных из базы данных и структурированных, формализованных процедур.

3. Система поддержки принятия решений (Decision Support System) - для анализа (моделирования) реальной формализуемой ситуации, в которой менеджер должен принять некоторое решение, возможно, просчитав различные варианты потенциального поведения системы (варьируя ее параметры); такие системы используются как в краткосрочном, так и в долгосрочном управлении тактического или стратегического характера в автоматизированном режиме.

4. Интегрированная, программируемая система принятия решения (Programmed Decision System) предназначена для автоматического, в соответствии с программно реализованными в системе, структурированными и формализованными критериями оценки, отбора (выбора) решений; используются как в краткосрочном, так и в долгосрочном управлении тактического (стратегического) характера.

5. Экспертные системы (Expert System) - информационные консультирующие и (или) принимающие решения системы, которые основаны на структурированных, часто плохо формализуемых процедурах, использующих опыт и интуицию, т.е. поддерживающие и моделирующие работу экспертов, интеллектуальные особенности; системы используются как в долгосрочном, так и в краткосрочном оперативном прогнозировании, управлении.

6. Интеллектуальные системы, или системы, основанные на знаниях (Knowledge Based System) - поддерживают задачи принятия решения в сложных системах, где необходимо использование знаний в достаточно широком диапазоне, особенно в плохо формализуемых и плохо структурируемых системах, нечетких системах и при нечетких критериях принятия решения; эти системы наиболее эффективны и применимы для сведения проблем долгосрочного, стратегического

управления к проблемам тактического и краткосрочного характера, повышения управляемости, особенно в условиях многокритериальности. В отличие от экспертных систем, в системах, основанных на знаниях, следует по возможности избегать экспертных и эвристических процедур и прибегать к процедурам минимизации риска. Здесь более существенно влияние профессионализма персонала, ибо при разработке таких систем необходимо сотрудничество и взаимопонимание не только разработчиков, но и пользователей, менеджеров, а сам процесс разработки, как правило, происходит итерационно, итерационными улучшениями, постепенным переходом от процедурных знаний (как делать) - к непроцедурным (что делать).

Фундаментальная ошибка с неустраняемыми последствиями в информационных системах - принятие неправильных стратегических решений и критериев оценки решений.

Пример. На заре компьютеризации школ многие регионы приняли решение: как можно быстрее оснастить школы компьютерами; в результате многие из них затем не могли освободиться от несовершенной, неприспособленной для задач обучения техники (КУВТ, УКНЦ, ДВК и т.п.) и получить современную технику, так как фактически техника у них была. Стратегически правильным подходом в этой ситуации был бы подход по принципу: "подождём, пока схлынет мутная вода, затем пойдет чистая".

При построении (выборе, адаптации) информационной системы можно использовать две основные концепции, два основных подхода (третья концепция - их комбинация):

- ориентация на проблемы, которые необходимо решать с помощью этой информационной системы, т.е. проблемно-ориентированный подход (или индуктивный подход);
- ориентация на технологию, которая доступна (актуализируема) в данной системе, среде, т.е. технологически-ориентированный подход (или дедуктивный подход).

Выбор концепции зависит от стратегических (тактических) и(или) долгосрочных (краткосрочных) критериев, проблем, ресурсов.

Если вначале изучаются возможности имеющейся технологии, а после определяются актуальные проблемы, которые можно решить с их помощью, то необходимо опираться на технологически-ориентированный подход.

Если же вначале определяются актуальные проблемы, а затем внедряется технология, достаточная для решения этих проблем, то необходимо опираться на проблемно-ориентированный подход.

Ошибки в выборе подхода (проблем, технологии) могут привести не только к ошибочным стратегиям и (или) тактике, но и к полному краху системы.

При этом обе концепции построения информационной системы зависят друг от друга: внедрение новых технологий изменяет решаемые проблемы, а изменение решаемых проблем - приводит к необходимости внедрения новых технологий; и то, и другое влияет на принимаемые решения.

Дороговизна, важность, актуальность информации определяют цели и важность (приоритеты) в управлении информационными системами (в информационных системах).

Системное проектирование (разработка) и использование информационной системы должно пройти следующий жизненный цикл информационной системы:

1. предпроектный анализ (опыт создания других аналогичных систем, прототипов, отличия и особенности разрабатываемой системы и др.), анализ внешних проявлений системы;
2. внутрисистемный анализ, внутренний анализ (анализ подсистем системы);
3. системное (морфологическое) описание (представление) системы (описание системной цели, системных отношений и связей с окружающей средой,

другими системами и системных ресурсов - материальных, энергетических, информационных, организационных, людских, пространственных и временных);

4. определение критериев адекватности, эффективности и устойчивости (надежности);

5. функциональное описание подсистем системы (описание моделей, алгоритмов функционирования подсистем);

6. макетирование (макетное описание) системы, оценка взаимодействия подсистем системы (разработка макета - реализации подсистем с упрощенными функциональными описаниями, процедурами, и апробация взаимодействия этих макетов с целью удовлетворения системной цели), при этом возможно использование "макетов" критериев адекватности, устойчивости, эффективности;

7. "сборка" и тестирование системы - реализация полноценных функциональных подсистем и критериев, оценка модели по сформулированным критериям;

8. функционирование системы;

9. определение целей дальнейшего развития системы и ее приложений;

10. сопровождение системы - уточнение, модификация, расширение возможностей системы в режиме ее функционирования (с целью ее эволюционирования).

Эти этапы - основные для информационного реинжиниринга систем.

Пример. Для решения текущих задач ведения бизнеса с учетом разнородных корпоративных интересов используют специальные системы планирования ресурсов предприятия (ERP), как правило, на основе удаленного ("клиент-сервер") доступа к единой базе данных и единых, предопределенных бизнес-процессах, транзакциях, с открытой многоплатформенной архитектурой. Системы ERP позволяют различным организациям (география не имеет значения), с различными информационными системами создавать общую интегрированную информационную систему, используя для этого опыт и решения, разработанные фирмой-поставщиком ERP.

Пример. Особенно актуален реинжиниринг бизнес-процессов (BRP), т.е. процесс реинтеграции и рационализации производственных процессов. Реинжиниринг - это не только уменьшение размерности и сложности системы, не только реструктуризация, не только сокращение числа уровней управления, не только стремление к автоматизации, а фундаментальный, системный пересмотр всей системы (т.е. ее проблем и ресурсов), с целью существенного (например, порядкового) улучшения показателей ее эффективности, устойчивости, рентабельности, жизнеспособности (не только стратегического, но и тактического характера). Это веление времени, современного производства (товаров, услуг, знаний), так как проблемы часто (до реинжиниринга) необходимо разделить на сотни более мелких, коллективы - на сотни более мелких рабочих групп, знания необходимо привлекать как специализированные, так и более широкого диапазона, распределять ресурсы - например, географически. Все это нужно согласовывать по времени, по пространству, по структуре (организации), и число менеджеров при этом резко возрастает.

Пример. Глобализация (рынков, производства, конкуренции и др.) предъявляет свои требования по сближению национальных систем менеджмента. Появилась новая парадигма (т.е. система определяющих концепций, взглядов) глобального менеджмента (GMP) или глобального телекоммуникационного менеджмента. Ее можно назвать системой стратегического глобального реинжиниринга, основанной на знаниях, горизонтальных связях, корпоративной динамике (способность к гибкой онлайн-реакции компании) ориентированной на клиента (продукт, услуги).

Индустрия информационных систем опирается на следующие процессы:

1. повышение мультимедийности, гипермедийности;

2. повышение дружелюбности к пользователю;

3. интеграция;
4. повышение открытости;
5. распределенность;
6. объектно-ориентированный подход;
7. метабазирование данных и информационных систем;
8. мультиагентное рассмотрение и др.

В последнее время рассматриваются (проектируются, разрабатываются и используются) так называемые корпоративные информационные системы, т.е. информационные системы в масштабе корпорации, организации.

Примеры. Информационная система пенсионных выплат населению, информационная система здравоохранения региона, информационная система биржевой деятельности.

Для разработки корпоративной информационной системы необходимо осуществить следующие мероприятия:

1. информационное обследование корпорации с целью выяснения ее основных целей функционирования, элементов, структуры, направлений, приоритетов и задач деятельности, информационных потоков и технологий, эволюционных возможностей корпорации, критериев оценки эффективности системы (результат этого этапа - проект информационной системы);

2. выбрать одну из двух основных концепций разработки информационной системы - проблемно-ориентированную или технологически-ориентированную (результат этого этапа - архитектура информационной системы, например, архитектура "клиент-сервер" с удаленным сервером баз данных, а также инструментальное и другое обеспечение системы, например, ОС UNIX, ORACLE);

3. определить ключевые элементы, подсистемы, в частности, подсистему управления корпоративной базой данных, подсистему автоматизации делопроизводства, подсистему согласования, принятия и контроля решений, подсистему тренинга (результат этапа - структура системы и подсистем, например, с использованием Lotus Notes, Action Workflow, EDMS - Electronic Document Management Systems, CBR Express).

При разработке целей, определении ресурсов необходимо тесное взаимодействие управляющего, проектирующего, разрабатывающего и пользовательского звена системы. Здесь недопустимы ложные критерии конфиденциальности и защиты информации, всегда влияющие негативно на стратегическое и долгосрочное планирование и прогнозирование, а также непрофессионализм принятия решений в каждом звене.

Главный лозунг разработки информационных систем: "Разработка информационной системы осуществляется не для внедрения (использования) информационной системы, а для обеспечения эффективного управления, функционирования, планирования и прогнозирования, эволюции системы, которую она информационно поддерживает".

Дадим ряд утверждений, формулируемых нами содержательно в виде аксиом управления информационными системами.

Аксиома 1. Количество информации в любой подсистеме иерархической системы определяется (как правило, мультипликативно) количеством сигналов, исходящих от подсистемы нулевого уровня (исходной вершины) и достигающих данной подсистемы (или входящих в данную подсистему), и энтропией этих сигналов.

Аксиома 2. Энтропия любого элемента управляющей подсистемы при переходе в новое целевое состояние (при смене цели) определяется исходным (от нулевого уровня) информационным потоком и энтропией этого элемента.

Аксиома 3. Энтропия всей управляющей подсистемы при переходе в новое целевое состояние определяется (как правило, аддитивно, интегрально) энтропией всех ее элементов.

Аксиома 4. Полный информационный поток, направленный на объект управления за период его перехода в новое целевое состояние, равен разности энтропии всей управляющей подсистемы при переходе в новое целевое состояние и энергии объекта управления, затрачиваемой объектом управления на переход в новое состояние.

Аксиома 5. Информационная работа управляющей подсистемы по преобразованию ресурсов состоит из двух частей - работы управляющей подсистемы, затраченной на компенсацию исходной энтропии, и работы, направленной на управляемый объект, т.е. на удерживание системы в устойчивом состоянии.

Аксиома 6. Полезная работа управляющей подсистемы в течение некоторого промежутка времени должна соответствовать полному информационному потоку, воздействующему на управляемую систему (в соответствии с аксиомой 4) за рассматриваемый период времени.

Соответствие, позволяющее переходить от абстракции "Информация" к ее конкретизации "Сообщение", называется интерпретацией информации с помощью определенной знаковой системы, некоторого алфавита, т.е. системы, с помощью которой представляется сообщение. Интерпретация информации всегда связана со смыслом (с семантикой) и с пониманием (с прагматикой). Соответствие такого типа всегда устанавливается при отождествлении данного сообщения с информацией, при актуализации информации.

Информация, которая может быть актуализируема в некоторой информационной системе, отражается некоторой математической (алгебраической) структурой (см. [лекцию 3](#)).

Пример. Часто эта алгебраическая структура - полугруппа, а проблема преобразования информации сводится к известной проблеме теории полугрупп, а именно - к проблеме тождества слов в свободных полугруппах.

Интерпретация информации - переход от представления элементов этой математической структуры к его семантическому смыслу.

Понимание - это соотнесение данной математической структуры с некоторыми элементами или системами реального мира (выяснение прагматического, например, экономического смысла).

Любая интерпретация I , которая соответствует некоторому сообщению S , может быть оценена своим информационным содержанием $I(S)$, и, таким образом, интерпретация есть отображение $I: R \rightarrow A$, где R - заданные сообщения, A - заданная информация.

Совокупность, кортеж вида $V = \langle A, R, I \rangle$ и есть формально информационная система.

9. Лекция: Информация и самоорганизация систем

Рассматриваются основные понятия информационной синергетики - самоорганизация, самоорганизующаяся система, аксиомы самоорганизации информационных систем, примеры.

Цель лекции: введение в информационную синергетику и ознакомление с самоорганизующимися системами.

Любая открытая система эволюционирует, начиная с состояния наибольшей энтропии (неопределенности), спиралеобразно, актуализируя все новые связи и отношения, стремясь к организованности и порядку в системе в процессе взаимоотношений со средой, перестраивая свою структуру с целью уменьшения энтропии.

Пример. На телевизионной игре "Что? Где? Когда?" обсуждение вопроса часто начинается хаотично, спонтанно, независимо и в конце обсуждения может organizоваться в единодушное принятие правильного решения.

Самоорганизация - это образование пространственной, временной, информационной или функциональной организации, структуры (точнее, стремление к организованности, к образованию новой структуры) за счет внутренних ресурсов системы в результате целенаправленных взаимодействий с окружением системы.

Система является самоорганизующейся, если она без целенаправленного воздействия извне (с целью создания или изменения структуры системы) обретает пространственную, временную, информационную или функциональную структуру.

Пример. Одна макроструктура (лед) при нагревании переходит в другую макроструктуру (жидкость) с совершенно другими свойствами (например, механическими), а при дальнейшем нагревании переходит в другую макроструктуру (пар), снова с иными микроскопическими свойствами.

Самоорганизация (явная или неявная) наблюдается в сложных открытых системах. Самоорганизации присущ атрибут - управление. Автоматической самоорганизации системы не происходит, для этого необходимо управляющее воздействие. Самоорганизация - лишь возможный путь развития, эволюции системы. Это путь движения системы к упорядоченности, пусть и относительной. Четких мер, критериев упорядоченности нет, даже для физических, химических, биологических систем, где проблема порядка, равновесия давно изучаются.

Самоорганизация может наблюдаться как в живых, так и в неживых системах.

Пример. История развития ЭВМ - пример самоорганизации: от 1-го поколения ЭВМ (40-50-е годы XX века) с электронными лампами и быстродействием порядка 10^4 операций в секунду, до 1-го поколения оптических ВМ (конец 90-х годов) с голографической памятью, с логикой на потоках фотонов, нейроподобных архитектурах и быстродействием порядка 10^{12} операций в секунду.

Пример. Человеческое общество развивается спиралевидно, циклически: циклически повторяются катастрофы, засухи, неурожаи, эпидемии и т.п. Например, происходит переход от малого ледникового периода к общему постепенному потеплению, а число экстремальных природных явлений не только не уменьшается, но и увеличивается, в частности, в XVIII м веке было лишь 66 лет, в которых отмечались землетрясения в России.

Пример. Известный ученый А.Л. Чижевский, наблюдая в 20-х годах XX века за пятнами на Солнце и изучая их образование, обнаружил, что некоторые периоды усиления солнечной активности и периоды усиления военных действий Первой мировой войны совпадают. Интересную закономерность открыл Р. Вульф во второй половине 19-го века: $w=k(n+10m)$, где k - коэффициент пропорциональности, определяемый разрешающей способностью телескопа, n - общее число замеченных солнечных пятен, m - число групп пятен, w - число Вульфа, по которым можно определять солнечную активность. Существует, таким образом, 11-летний цикл солнечной активности.

Любая деятельность вопреки эволюционным процессам в системе, вопреки принципам самоорганизации, - противосистемна.

Пример. Любые экономические решения, противоречащие основному регулятору рынка, основному механизму ее организации - соотношению "спрос-предложение" приводят к вредным последствиям для системы и для ее самоорганизации. Например, выпуск товаров в объеме, превышающем спрос на рынке, может привести к снижению спроса.

В рамках идеи ноосферы, гармоничных взаимоотношений человека и природы, человек выступает как органическая часть природы.

Окружение человека (включая природу и общество) - нестабильное, неустойчивое, неравновесное, развивающееся. При рассмотрении проблем такого мира надо учитывать два его противоположных и взаимосвязанных, взаимно обуславливающих друг друга качества, - стабильность и нестабильность, порядок и хаос, определенность и неопределенность.

Нестабильность и неустойчивость не всегда есть зло, отрицательное качество, подлежащее устранению. Неустойчивость может, в соответствии с законами синергетики, выступать условием стабильного и динамического саморазвития, которое происходит за счет уничтожения, изъятия нежизнеспособных форм. Устойчивость и неустойчивость в системе, образование новых структур и разрушение старых, сменяя друг друга, развивают, эволюционируют систему. Порядок и беспорядок возникают и существуют одновременно: один включает в себя другой - это два аспекта одного целого, они дают нам различное видение мира. Из-за этого мы не можем полностью держать под контролем окружающий мир нестабильных процессов, например, полностью контролировать социально-экономические процессы.

Современная наука и технология имеют дело со сложными системами, связь между которыми осуществляется не только через порядок, через структуры порядка, но и через хаос. Только в единстве порядка и хаоса может быть исследована эволюция сложной системы. Сложная система - целое, состоящее из устойчивых и неустойчивых частей. Здесь целое - уже простая сумма частей. Эволюция такой системы ведет к новому качеству, включая и отношения с человеком. Человек находится не вне изучаемого объекта, а внутри его, познавая это целое по его составным частям, объединяя естественные науки, усиливая междисциплинарные связи, сближая естественные и гуманитарные проблемы наук, науку и искусство. Идеи, принципы, методы и технологии современного естествознания (синергетики, информатики, системного анализа, физики открытых систем и др.), все шире внедряются в гуманитарную и социально-экономическую сферы. Есть и обратные процессы.

Пример. Естествознание и гуманитарные науки все чаще исследуют процессы и системы в совокупности с человеком: медико-биологические проблемы, экологические, включая биосферу в целом (глобальная экология), биотехнологии (генная инженерия), системы "человек-машина" и т.д. Специфику современной науки все более определяют комплексные исследовательские программы (в которых принимают участие специалисты различных областей знания), междисциплинарные исследования. Например, красота - это не только категория гуманитарная, отражение гармонии материального мира, но и категория научная, красота теоретических построений. Поиски красоты, т.е. единства и симметрии законов природы, - примечательная черта современной физики, математики, биологии, синергетики и других естественных наук. Исторический метод прилагается к большому кругу систем, например, вводится даже в квантово-механическую интерпретацию, где он ранее не применялся.

Компьютеризация и информационные технологии позволяют передавать машине все более усложняющиеся логические операции. Человеческий мозг освобождается от формализуемой, стандартизированной, рутинной логической деятельности.

Пример. Эвристические процедуры, интуиция, опыт человека, эксперта находят применение в программировании, например, при разработке антивирусных программ.

Эволюцию системы можно, как сказано выше, понимать как целенаправленное (на основе выбора) движение, изменение этой системы (как неравновесной) по некоторой траектории развития, состоящей из точек состояний.

Пример. Чтобы жить достойно, люди и правительство должны ориентироваться на социально-экономическую перспективу, т.е. траектория развития любой страны должна быть эволюционной.

Устойчивость системы - ее способность сохранять свое движение по траектории на таком уровне потребления ресурсов, который может самоподдерживаться, саморегулироваться достаточно долго.

Традиционная макроэкономика ориентируется на непрерывный и, чаще всего, количественный рост, а не на устойчивость. Для развития, эволюции требуется все больше материальных, энергетических, информационных ресурсов, а их рост сужает пространство устойчивого развития общества, снижает жизнеспособность.

Пример. При достаточно высоком уровне образования и развитой системе образования, научно-техническая и технологическая области последние два десятилетия слабо развивались в России. Например, в США в 1996 г. на науку расходы государства составляют 2,8-2,9% ВВП страны, в Японии - 3,3%, в России - 0,59%. По показателю достаточности и уровню квалификации трудовых ресурсов Россия занимает 46-е место. По оценкам специалистов, если Россия в ближайшие годы не поднимется хотя бы на 20-е, то ее экономический крах гарантирован.

Эффективность системы - способность системы оптимизировать (глобально-потенциально или локально-реально) некоторый критерий эффективности типа соотношений "затраты на обеспечение ресурсом - объем поступлений новых ресурсов".

Пример. Для социально-экономической системы - это способность производить социально-экономический эффект и не ухудшать движение по пути к достижению поставленной цели. Например, критерием эффективности банковской системы может быть не только прибыль, но и кредитование, возврат кредитов.

Эффективными можно считать действия в системе, которые поддерживают самоорганизацию системы при низком уровне энтропии за счет неравновесных процессов взаимного обмена энергией, веществом и информацией с окружающей средой.

Актуальна разработка механизмов, которые обеспечивали бы устойчивое развитие общества (в частности, социально-экономических систем) и каждого его члена в отдельности без количественного увеличения ресурсов, с помощью произведенного труда, стоимости и капитала.

Пример. Показателями развития общества могут служить ВНД - валовой национальный доход и ВВП - валовой национальный продукт, но и они не позволяют полно оценивать устойчивость развития общества, его систем, не позволяют оценивать, живет ли общество по средствам, заботясь о будущих поколениях, т.е. адекватны ли "кредитные социо-экономико-экологические отношения природы и общества", развитие культуры, науки и др.

Эволюция системы определяется борьбой организации и дезорганизации в системе, накоплением и усложнением информации, ее организацией и самоорганизацией, сложностью и разнообразием внутрисистемных процессов. Важным критерием эффективности системы (политики) является ее динамическая, структурная и организационная предсказуемость, отсутствие аномалий и обеспечение динамического роста, наличие и динамическая актуализация критериев оценки принимаемых решений.

Современному обществу и природе, с их множеством возможных путей развития, нельзя навязывать эти пути, они избираются на принципах самоуправления и саморегулирования, а именно, за счет целенаправленных воздействий на процессы с целью возврата траектории эволюции на желаемую траекторию (если в результате, например, стохастических воздействий система отклонилась от траектории).

При этом, в соответствии с принципами синергетики, необходимо учесть, что в неустойчивой социально-экономической среде действия каждого отдельного человека (микропроцессы) могут повлиять на всю систему в целом (макропроцессы).

Пример. В условиях неустойчивой экономической политики действия отдельных структур могут повлиять на социально-экономические процессы общества, что наблюдалось, например, в Ираке и других странах.

Стратегическое планирование в социально-экономических системах - ресурсообеспеченные и целенаправленные действия руководства, ведущие к разработке наилучших в каком-то смысле (например, локально-оптимальных) стратегий динамического поведения всей системы, которые приводят в окрестность поставленных целей.

Стратегическое планирование - инструмент, помогающий принимать управленческие решения по осуществлению основных задач:

1. распределения ресурсов;

2. адаптации к изменениям внешних факторов;
3. внутренней координации и мобилизации;
4. осознания организационных стратегий и целей (краткосрочных, среднесрочных, долгосрочных), динамической переоценки достижимости целей.

Пример. Планирование в социально-гуманитарной системе необходимо для достижения следующих целей:

1. повышение контрольных функций;
2. предвидение требований социальной и гуманитарной политики;
3. обеспечение своевременной реакции на изменения в системе;
4. улучшение социально-гуманитарного и экономического состояния;
5. уменьшение неопределенности, риска, увеличение эффективности и

др.

Козволюция - сопряженное, взаимообусловленное изменение систем или частей внутри целого. Это принцип глобальной эволюции. Само это понятие пришло из эволюционной популяционной теории.

Понятие коэволюции тесно связано с понятием "самоорганизации". Самоорганизация имеет дело со структурами, состояниями развивающихся систем, а коэволюция - с отношениями между такими системами, с взаимосвязями эволюционных изменений.

Пример. В последние годы активно формируется новое направление исследований - эволюционная экономика. Волнообразный, циклический характер действия основных законов наблюдается в устойчивой системе. Особенно заметен волнообразный характер социально-экономических процессов переходного периода. Государственное регулирование, его масштабы и значение претерпевают существенные изменения по мере эволюции экономики. Уменьшение роли государства будет чередоваться с периодами ее волнообразного возрастания. Снижение роли и значения системы государственного регулирования при эволюции социально-экономической системы будет чередоваться с ее усилением на определенных этапах переходного периода, будут наблюдаться периоды либерализации и контроля над ценами и заработной платой, волнообразный характер процесса приватизации и т.п. Волнообразный характер социально-экономических процессов можно объяснить следующим образом. Несмотря на различие рыночных и нерыночных государственных методов хозяйствования, их действие во многом взаимодополняющее. Более того, в развитой экономике рыночные (часто - стихийные) и государственные (часто - плановые) методы сочетаются и диффундируют, обеспечивая возврат на устойчивую траекторию развития при отклонениях от нее. В этом и заключается первопричина волнообразности.

Волнообразный и циклический характер имеют многие процессы социально-экономической и гуманитарной сфер, например, в сфере политики, права, информации и печати, религии, национальных отношений, миграционных процессов, распространения технологий, активности военных действий и др. Многие из этих циклических процессов связаны с циклами солнечной активности.

Катастрофами называются скачкообразные дестабилизирующие изменения, возникающие в виде отклика системы на плавное изменение условий окружающей среды. Эти изменения - внезапны, непрогнозируемы с уверенной точностью, резки по отношению к темпу изменения условий среды. Если представить себе траекторию эволюции системы как множество точек, каждая из которых есть точка в пространстве факторов окружающей среды, то у траектории системы могут быть точки бифуркации - раздвоения, качественного изменения траектории.

Пример. Так называемый "черный вторник" на валютном рынке возник на фоне плавных, ничего катастрофического не предвещающих, условий среды (внешне эти условия плавно менялись накануне).

Управляемая социально-экономическая система при определённой цели, определенных начальных данных и определённых ресурсах имеет определенную область достижимости, в которой она может достичь цели при этих ресурсах за любое время.

Сформулируем основные аксиомы теории информационных динамических процессов (информационной синергетики).

Аксиома 1. Развитие (эволюция) системы определяется некоторой целью и информационными ресурсами системы, ее информационной открытостью.

Аксиома 2. При стремлении к цели система воспринимает входную информацию, которая используется и для изменения внутренней структуры самой системы, внутрисистемной информации.

Аксиома 3. Изменение внутрисистемной информации происходит таким образом, чтобы увеличивалась негэнтропия (мера порядка) системы, уменьшалась энтропия (мера беспорядка) в системе.

Аксиома 4. Любое изменение внутренней структуры системы или внутрисистемной информации оказывает воздействие на выходную информацию системы (т.е. на окружающую среду системы); внутренняя энтропия изменяет внешнюю энтропию системы.

Большое значение при исследовании управляемости системы, ее управляющих параметров, развития системы во времени, в пространстве, по структуре имеют синергетические принципы, сформулированные И.Пригожиным и его последователями, в частности, следующие:

1. принцип эволюции системы, необратимости процессов ее развития;
2. принцип возможного решающего воздействия (при определенном стечении обстоятельств) малых изменений поведения системы на ее эволюцию;
3. принцип множественности (или многовариантности) путей развития системы и возможности выбора оптимальных из них;
4. принцип невмешательства в процессы самоуправяемого развития и непредсказуемости эволюционного поведения системы и, в то же время, - учёт возможности организовать управляющие воздействия на ресурсы и процессы в системе;
5. принцип учета стохастичности и неопределенности процессов (поведения систем);
6. принцип взаимодействия усложнения организации, устойчивости и темпов развития систем;
7. принцип учета факторов стабильности и нестабильности системы (возникновения устойчивости из неустойчивого поведения), порядка и хаоса в системе (возникновения порядка из хаоса), определенности и неопределенности;
8. принцип взаимовлияния устойчивости среды отдельной подсистемы или элемента (микросреды) и процессов во всей системе (макросреды).

Так как синергетика - теория возникновения новых качественных свойств и структур, а возникновение смысла (интерпретация и понимание сообщений) всегда связано с качественными изменениями в системе, то можно говорить об информационной самоорганизации. Информация - синергетическая среда, с помощью которой поддерживается вся система, ее отдельные подсистемы и которая генерирует информацию о том, как должна развиваться (саморазвиваться) система.

Важным условием рождения информации в системах является их открытость. В замкнутых системах, согласно второму началу термодинамики (энтропия замкнутой системы не может убывать и растет до тех пор, пока не достигнет максимума, а, следовательно, информация становится минимальной), структуры распадаются (на макроскопическом уровне). Поэтому информация не может рождаться и храниться в системах в состоянии теплового равновесия, так как в замкнутых системах всегда устанавливается тепловое равновесие.

Пример. Магнитный диск в состоянии теплового равновесия размагничивается и не может хранить информацию. Со временем дискеты приходят в состояние теплового равновесия, и магнитное покрытие разрушается, информация теряется.

Открытые системы поддерживают "дистанцию" от состояния теплового равновесия - за счет потоков ресурсов (вещества, энергии, информации) и за счет самоорганизации, вследствие которой эти потоки существуют и направляются в соответствии с подчиненностью постоянно (от элементов - к подсистемам, от них - к системе).

Пример. Структурной единицей нервной системы является нейрон - нервная клетка. Кора переднего отдела мозга содержит несколько десятков миллиардов нейронов. Нейроны бывают различного типа: сенсорные (от рецептора кожи к спинному мозгу); сетчатки (от рецепторов сетчатки глаза - к зрительному нерву); двигательные (от рецепторов мышц - к двигательной коре). Они образуют своеобразные регистры (зрительные, слуховые, тактильные и др.). Нейрон служит для передачи информации за счет нервных импульсов. Расшифровка нервных импульсов (информации) происходит в соответствующих областях коры головного мозга. Нейроны коры мозга функционируют параллельно. Это - их замечательное преимущество (по сравнению с памятью другого вида). В коре переднего мозга около 50 млрд. нейронов. Они организованы, примерно, в 600 млн. функционирующих параллельно систем. Производительность такого типа "процессора" (распределенного матричного или нейросистемы) очень впечатляет (оцените примерно ee!). Особенностью мозга является высокое качество, скорость обработки информации. Нейроны выполняют обработку со скоростью всего около 100 инструкций в секунду (сравнить с ЭВМ, выполняющей миллионы инструкций в секунду), но они быстрее и эффективнее решают наиболее сложные (для ЭВМ, в частности) задачи распознавания и классификации, принятия решений и другие плохо формализуемые и структурируемые проблемы. Человеческий мозг - это система параллельно работающих подсистем, структур, самоорганизующихся с помощью ассоциативных связей для выработки, принятия логических (алгоритмических, рациональных) решений. Там, где невозможно принять такое решение (т.е. не удастся ассоциировать такие связи), принимается эвристическое решение. На каждом нейроне коры головного мозга одновременно (параллельно) обрабатываются возбуждения разного типа: мотивации, целеполагания, внешние возбуждения - отражения текущего состояния управляемого объекта, возбуждения памяти (опыта). Их согласованная обработка дает картину объекта и позволяет принимать решения. Так, мозг, непрерывно перебирая результаты всех прошлых действий в аналогичных ситуациях и сравнивая их с текущей ситуацией, выбирает вариант, наиболее подходящий, целесообразный и эффективный в данной конкретной ситуации. Если при этом не найдется такая ситуация, то выбирается (прогнозируется многокритериально) такое состояние, результат которого будет наиболее адекватен; этот результат и запоминается далее. У человека существует самостоятельная потребность в информации. Нормальная жизнедеятельность возможна лишь тогда, когда из внешней среды имеется приток не только вещества, энергии, но и информации, когда нет явлений "информационного голода". Получение новой информации связано со сжатием информации, например, с пересылкой в долговременную память (подсознание) образов, смыслов и т.д.

На этапе самоорганизации вырабатывается коллективное, корпоративное поведение (т.е. новый уровень иерархии образования смысла, семантики). В живых системах при этом используется не только связь со средой, но и генетически заложенная информация или информация самоорганизации.

Пример. Стадо буйволов (каждый из которых в отдельности достаточно беззащитен перед стаей хищников) во время нападения самоорганизуется: молодежь - в центре, самцы - по окружности ("рогами наружу"). Это важно для выживания всего стада.

Информация может быть неполной, образной, например, в виде фрагментов, по которым быстро восстанавливается (самоорганизуется) более полная информация.

Особенно важно быстро и полно восстанавливать эту информацию. Поэтому необходим процесс обучения, сжатия и передачи информации, знаний от поколения к поколению. Так как области знаний расширяются и углубляются, а информация лавинообразно растет, то важно находить синергетические инварианты, принципы, технологии ее передачи.

Наблюдаемая математизация и информатизация современной науки убедительно показывает, что их эффективность зависит как от данной науки, сложности и возможности адекватного описания ее законов и принципов математическими и информационными моделями, так и от используемого математического аппарата.