Глава 1. Предпосылки развития системных представлений

* 1. **Наука**

Столкновение с *новым* – событие для человека и человечества. Для человека сложно то, что ново, что не укладывается в рамки установившихся понятий и не может быть объяснено на основании новых фактов и общепринятых законов. Теория относительности и квантовая механика изучаются сейчас в ВУЗах и в школе, а в 30-е годы не все даже самые крупные ученые могли понять основные идеи этих теорий. Потребовался длительный и мучительный путь, чтобы их освоить. Сейчас многие теории вошли в практику, при этом содержание их почти не изменилось, а восприятие упростилось.

*Пример 1.* Появление нового, более сильного хищника в районе обитания первобытного человека грозило катастрофой. Не имея средств и опыта борьбы, небольшая группа людей могла быть легко уничтожена, или погибнуть от голода, поскольку обычная их добыча могла стать добычей хищников. Система “*живая пища - человек*” преобразовалась в новую систему “*хищник – жертва - человек*” и стала более сложной. Дальней шее развитие системы могло пойти по разным путям. Человек и новый хищник могли совместно уничтожить продовольственную базу, а затем погибнуть. Хищник мог ослабить, а затем уничтожить людей, в результате возникла бы новая система “хищник - жертва”, которая могла стать стабильной. Человек мог уничтожить хищника и система пришла бы в первоначальное состояние, с той разницей, что человек, вооруженный новыми знаниями и новым опытом, стал бы более могущественным и расширил зону обитания.

В большинстве случаев события развивались именно так: человек приспосабливался к изменениям намного быстрее. Процесс приспособления требует концептуального, причинного и технологического объяснения: должно стать ясным, почему и как это происходит.

 *Пример 2.* Рассмотрим *пример контакта с внеземной цивилизацией*. Допустим, что группа космонавтов с уровнем знаний 30-х годов осуществила удачную посадку на другую планету. Группа состоит из физика, химика, биолога, геолога, инженера и медика. Предположим, что они нашли объект длиной 1 метр, неправильной формы, темного цвета.

Физик определил удельный вес, произвел спектральный анализ, обнаружил два десятка элементов (в том числе редких на Земле) в необычных пропорциях. Выявил, что структура гомогенна и схожа с кристаллической. Имеются поверхностные электрические потенциалы. Собственного внешнего электрического или магнитного поля нет. Обнаружить внутренние поля без разрушения объекта невозможно.

Химик установил, что вещество, скорее всего неорганическое, и нашел несколько десятков характеристик при помощи микро проб.

Геолог высказал ряд предположений о возможных вариантах тектонического образования предмета, главным из которых является то, что он не знает, что это такое.

Инженер не обнаружил движущихся частей и заявил, что это не машина и высказал предположения, что это – горная порода, или искусственный строительный материал, или электронная конструкция неизвестного назначения, или остаток метеорита, или неизвестно что.

Биолог заявил, что в принципе не исключено, что это живое существо с кристаллической микроструктурой клеток и электронно-ионным обменом веществ. Ничего подобного на земле нет.

Медик заявил, что он не знает, опасен объект для людей, или нет.

Примерно так можно описать ситуацию контакта. Далее возникает вопрос, что делать. Дать геологу раздолбить объект и предпринять исследование кусков? Для физика и химика это приемлемо, но что если прав инженер и найденный объект – электронное устройство (например, на микросхемах, о которых в 30-х годах еще ничего не знали), тогда будет потеряно величайшее открытие. Или прав биолог, и мы уничтожим инопланетное живое существо, единственное в своем роде? А может это целая колония живых существ, общество, наконец – цивилизация?

Дискуссию можно продолжать долго, но ясно одно: никакая разнородная группа узких специалистов не в состоянии справиться с проблемой, требующей особого подхода.

Еще недавно новые факты были редким явлением и входили в компетенцию лишь ученых. Развитие науки и техники сделали столкновение с новым, неизвестным, непознанным - частым явлением. Важность нового от этого не уменьшилась, а возросла из-за интеграции новизны, увеличения ее влияния на практические стороны жизни. Последствия загрязнения атмосферы и воды, бесконтрольного применения гербицидов и антибиотиков, а также многие другие факторы человеческой деятельности нельзя предвидеть в узкоспециальных исследованиях.

В специальных исследованиях современной науки преобладают два метода: функциональный и анатомический. Оба связаны с вмешательством в исследуемый объект и могут нарушить его деятельность или изменить свойства. Анатомическое исследование предполагает нарушение целостности объекта, исследование функций может привести к такому же результату. Во всяком случае, есть опасность зафиксировать не то, что происходит в нормальных условиях. История науки изобилует такими примерами.

*Пример 3.* Несмотря на многовековое развитие медицины, кровообращение было открыто всего около 350 лет назад, а последующие исследования не дали ответа на многие важнейшие вопросы. Известно, например, что мозг постоянно получает одно и то же количество крови. Чем бы человек ни занимался, день за днем, минута за минутой, поток крови не изменяется. Это уникальное свойство, так как в мышцах поток крови изменяется в пять, а то и десять раз в зависимости от физической нагрузки. Зачем нужна такая стабильность и как она осуществляется, никто не знает.

Отношение исследователя к объекту исследования может быть трех видов: *созерцательное, экспериментальное* и *потребительское*.

*Пример 4.* Астрономия долгое время была созерцательной наукой и накопила много сведений. На каком то этапе эти сведения стали полезными для кораблевождения и ориентации.

Как только техника достигла определенного уровня, человек стал экспериментатором. Эксперимент позволяет углубить познание и подготовить почву для применения.

Всякий эксперимент вносит изменение в исследуемую систему. Информацию нельзя получить даром. Одно из условий эффективного эксперимента – проведение *не возмущающего* наблюдения, т. е. такого, при котором измерительные приборы незначительно изменяют физические свойства наблюдаемых величин.

*Пример 5.* Манометр, измеряющий давление газа, незначительно влияет на величину давления, но чем выше точность измерения, тем больше энергия взаимодействия измерительного прибора и измеряемого процесса, в результате чего наблюдение перестает быть не возмущающим.

В какой то мере наблюдение определяет будущее поведение системы.

Как ни сложно положение экспериментатора, позиция потребителя гораздо сложнее. Каждый ученый стремится как можно скорее практически использовать результаты исследований, хотя не всегда ясна область и последствия применения. Желание ускорить дело может привести к противоположным результатам, а недостаточная инициативность – к значительным потерям. Утилизация новых физических явлений дорого обходится человечеству, в то же время многое из того, что нас окружает, мы не используем в полной мере.

Можно привести много примеров того, как узость подхода тормозила применение вполне разработанных и перспективных идей.

Современная наука чрезвычайно дифференцирована. Углубленность в свою узкую область затрудняет взаимопонимание ученых; возникла профессиональная терминология, непонятная даже близким по профилю специалистам. Обилие научных фактов в каждой области настолько велико, что невозможно усвоить даже основные факты из нескольких областей. Эпоха универсализма давно закончилась, и наступила эпоха специализации.

*Пример 6.* В свое время прославленный французский писатель Бернарден де Сен-Пьер, член Института (Академии наук Франции) пожаловался Бонапарту, что в Институте к нему относятся без должного уважения. Бонапарт осведомился, знает ли знаменитый писатель дифференциальное исчисление. Получив отрицательный ответ, Бонапарт дал понять, что член Института, не знающий дифференциального исчисления не достоин уважения. В середине XX века подобная требовательность никому бы не пришла в голову.

В настоящее время вряд ли существует математик, знающий все разделы математики. Специализация принесла огромную пользу, но вызвала и большие трудности. Главная из них – сложность всестороннего рассмотрения фактов, их объединение и интерпретация.

Физические явления, в которых число учитываемых переменных превышает несколько десятков (когда еще можно применить детерминистский подход и дифференциальные уравнения) или меньше нескольких сотен тысяч (когда становится допустимым статистический подход), не имеют адекватного описания. Мы до сих пор вынуждены объяснять принципиальные свойства живой материи особыми “биологическими законами”, которые оказываются оторванными от физических законов и не имеют строгих формулировок.

*Выводы*

1. На современном этапе узкоспециальная ограниченность недопустима: слишком много возможностей остается скрытыми и слишком велики потребности человечества.
2. Фундаментальные представления о строении вещества, об энергетических преобразованиях, о сущности развития, об отличии живого от неживого следует пересмотреть с позиций единства и цельности мира.
3. Современная наука требует не только накопления знаний в специальных областях, но и интеграции наук на основе концепции, которая сохраняла бы преемственность и открывала перспективы, устанавливая взаимосвязь между структурой, устройством, организацией и свойствами, действием, поведением.
4. Многосвязность явлений в природе требует единства подхода к исследованию разнообразных объектов. Специализация экспериментальных и теоретических методов в различных областях науки не должна мешать этому единству, но должна вытекать из него.

**1.2. Техника**

Создавать устройства с неизвестными ранее функциями намного труднее, чем исследовать готовые. Можно говорить о двух основных способах поиска новых идей: *копировании природы* и *создании новых идей*.

Первый способ ничего особенного не принес цивилизации. История техники свидетельствует, что очень многое человек открыл в природе после того, как изобрел это сам.

*Пример 7.* Никому не удавалось обнаружить звуковой локатор у летучей мыши, а некоторые особенности поведения этого животного, связанные с работой его локатора, игнорировались.

*Пример 8.* Архитекторы обнаружили и начали перенимать у насекомых изящные и остроумные конструкции сооружений после того, как до многих аналогичных идей дошли сами.

Почему так получилось? Желания и попыток копирования было много, причин неудачи две: непонимание и невозможность воспроизведения из-за примитивности технологии.

*Пример 9.* Медузы способны воспринимать инфразвуки, и это позволяет им чувствовать приближение шторма. Понять загадку медузы и построить прибор, действующий по аналогичному принципу, было невозможно без инфразвуковой техники.

Непонимание может касаться не сущности процесса, который используется, а способа использования.

Биологическая цивилизация шла по пути создания сложных гомогенных (клеточных) структур, в то время как машинная цивилизация развивалась на основе гетерогенных устройств (состоящих из различных по составу, форме и принципу действия элементов). Поэтому инженеру трудно понять и воспроизвести биологическую структуру, а биологу не менее трудно посоветовать, как реорганизовать направление развития машинной технологии.

Итак, человек стал изобретать сам. Идя от простого к сложному, он на ощупь или с предвидением, ценой огромных усилий и потерь искал свой путь и построил свой мир – техносферу. Техносфера обладает огромной энергетической базой, которая имеет разные виды силовых полей и излучений. Диапазоны размеров технических устройств и сооружений простираются от одной миллионной метра (микросхемы) до миллионов метров (железные дороги), диапазон энергопотребления или энерговыделения от долей микроватта до миллионов мегаватт. Этот технический мир, в котором мы живем, относительно прост. Вся техносфера проще, чем организм любого млекопитающего, а любое устройство, механическое или электронное, проще единственной биологической клетки. Живая клетка имеет большую удельную (на единицу массы) управляемую энергию, более широкий спектр управления химическими реакциями, лучшую приспосабливаемость, более высокий КПД, лучшее самовоспроизведение. Человек создал благоприятные искусственные условия обитания. Но возросшие потребности человечества нельзя было бы удовлетворить, если бы прогресс шел традиционным путем, тем, которым он шел до середины XX века.

*Выводы*

В технике наблюдается следующая картина.

1. Отраслевые достижения требуют интеграции и обобщения.
2. Функциональное усложнение машин, производственных комплексов, отраслей промышленности и техносферы в целом связано с учетом влияния тысяч, десятков тысяч, а иногда и миллионов факторов.
3. Сооружение и применение новых технических систем высокого энергетического уровня и высокой управляемости требует всестороннего анализа функций, возможностей и последствий.
4. Перспективы развития техники (как и науки) требуют глубокого знания организации систем и процессов, умения так изменить организацию, чтобы направить развитие по желаемому пути.

**1.3. Цели и задачи дисциплины введение в системологию**

Системный подход к изучению различных явлений природы, проектированию новых технических объектов, является одним из перспективных направлений в современной науке и технике. Каждый достаточно сложный объект естественно представляется как система со своими элементами и связями, функциями и подфункциями в зависимости от целей исследования, существующая в надсистеме и окружающей среде. Целью изучения дисциплины “Введение в системологию” является ознакомление с основными идеями и принципами системного подхода к моделированию сложных систем.

В результате изучения дисциплины студент должен знать:

1. понятие системы, элемента и структуры системы;
2. основные методы описания сложных систем;
3. основные черты системного подхода к анализу объектов.

В результате изучения дисциплины студент должен уметь:

1. построить функционально-структурное описание системы;
2. применить системный подход к анализу заданной проблемной ситуации.

Вопросы

1. Какие методы исследования преобладают в современной науке?
2. Чем обусловлена важность новых факторов в науке?
3. Какие выделяют типы отношения исследователя к объекту? Приведите примеры.
4. В чем суть невозмущающего наблюдения? Приведите примеры.
5. В каком случае эксперимент будет эффективным и почему?
6. В чем заключается позиция потребителя при исследовании объекта?
7. Почему в современной науке узкоспециальная ограниченность недопустима? Приведите примеры.
8. Какие существуют способы поиска новых идей? Приведите примеры.
9. В чем заключаются причины неудач в попытках копирования природы?
10. Чем отличается биологическая цивилизация от техносферы?
11. Какими причинами обусловлена необходимость системного подхода в технике?
12. Что изучает системология?

Глава 2. основные определения

**2.1. Модели и моделирование**

Термин *модель* неоднозначен и охватывает широкий круг различных материальных и идеальных объектов. Любая модель, используемая в научных целях, на производстве или в быту, несет информацию о свойствах и характеристиках исходного объекта (объекта-оригинала), существенных для решаемых в данном конкретном случае задач.

Определение. *Модель* в общем смысле есть создаваемый с целью получения и (или) хранения информации специфический объект (в форме мысленного образа, описания знаковыми средствами, либо материальной системы), отражающий свойства, характеристики и связи объекта оригинала произвольной природы, существенные для задачи, решаемой субъектом.

*Замечания по определению модели*.

1. Модель состоит из следующих компонент: субъект; задача, решаемая субъектом; объект-оригинал; язык описания или способ материального воспроизведения модели. Вне контекста задач понятие модели не имеет смысла.
2. Каждому материальному объекту, вообще говоря, соответствует бесчисленное множество в равной мере адекватных, но различных по существу моделей, связанных с разными задачами.

*Пример.* Один и тот же технический объект (например, гидронасос) при расчете его нагрузочных характеристик, тепловом расчете, оценке динамики, прочности или надежности представляется различными моделями.

1. Паре (задача, объект) соответствует также множество моделей, содержащих в принципе одну и ту же информацию, но различающихся формами ее представления.

*Пример.* Некоторый физический эффект (например, преломление света) может быть охарактеризован аналитической формулой, графиком, таблицей, алгоритмом, программой для ЭВМ и т.д. Выбор формы описания определяется одним лишь фактором – удобством использования модели по ее прямому назначению.

1. Модель – лишь приближенное подобие оригинала и в информационном смысле беднее последнего. “Точной” модели не бывает.
2. Условия и требования задачи, решаемой субъектом, в основном определяют ограничения и допущения, которые явно или неявно фигурируют при построении модели.

*Пример.* Модель линейной упругой деформации твердого тела (закон Гука), во первых, предполагает способность тела к упругой деформации (что определяется его микроструктурой), во вторых, имеет в виду ограниченность величин напряжения и деформации.

Допущения, вводимые в модель, характеризуют приемлемую в рамках решаемой задачи степень идеализации свойств реальных объектов и процессов. Ограничения и допущения, связанные с решаемой задачей и свойствами объекта, являются органической составной частью модели. Они должны специально рассматриваться и фиксироваться при построении и использовании каждой модели.

Классификация моделей.

*По классам задач*, модели делятся на:

* кибернетические;
* технологические;
* планово-экономические;
* познавательные;
* эстетические; и т.д.

*По классам объектов*, модели делятся на:

* физические;
* биологические;
* экономические;
* производственные; и т.д.

*По форме представления и обработки информации*, модели делятся на:

* материальные (приборные, геометрически подобные, субстатно подобные);
* идеальные: частично-формализованные (графические);

вполне формализованные (информационные (базы данных), аналитические, графоаналитические, алгоритмические);

неформализованные (концептуальные).

*Замечание.* Математические выражения, логические построения, алгоритмы, искусственные языки, не отражающие объективной реальности, не могут быть признаны моделями.

*Вопросы*

1. Какой материальный или идеальный объект можно назвать моделью?
2. Из каких компонент состоит модель?
3. Сколько моделей и почему может соответствовать одному материальному объекту?
4. Чем могут различаться модели, соответствующие заданной паре (задача-объект)?
5. По каким признакам можно классифицировать модели? Назовите представителей каждого класса.
6. Приведите пример модели. Выделите в ней основные компоненты. К какому классу относится ваша модель?

**2.2. Понятие системы**

Фундаментальным понятием системологии, системного анализа, системотехники и кибернетики является понятие “система”.

Существует 4 свойства, которыми должен обладать объект, чтобы его можно было считать системой.

**1-е свойство (целостность и членимость).** Система есть, прежде всего, целостная совокупность элементов. Это означает, что, с одной стороны, система – цельное образование и, с другой – в ее составе могут быть выделены некоторые целостные объекты (элементы). При этом элементы существуют только в системе. Вне системы это в лучшем случае объекты, обладающие “системно-значимыми свойствами”. При вхождении в систему элемент приобретает системно-определенное свойство взамен системно-значимого.

*Пример.* Рассмотрим велосипед как систему. Тогда элементами системы можно считать конструктивные элементы велосипеда: руль, рама, сиденье, колеса, и т.д.

На первый взгляд, может показаться, что систему можно рассматривать как некоторое множество элементов. Однако здесь есть принципиальное отличие, которое не всегда позволяет использовать теорию множеств для описания специфических системных образований и может рассматриваться лишь как одно из вспомогательных аналитических средств их изучения. Дело в том, что при формировании множеств исходными будут элементы. Для системы же первичным является признак целостности, т. е. она рассматривается как единое целое, состоящее из взаимоисключающих частей, часто разнокачественных, но одновременно совместимых.

**2-е свойство (связи).** Наличие устойчивых связей (отношений) между элементами и (или) их свойствами, превосходящих по мощности (силе) связи этих элементов с элементами не входящими в данную систему, является важнейшим свойством системы.

В любой системе устанавливаются те или иные связи между элементами. Однако с системных позиций имеют значение не любые, а лишь существенные связи, которые определяют свойства системы. Указанное свойство выделяет систему из окружающей среды в виде целостного образования.

Связь можно определить как физический канал, по которому обеспечивается обмен между элементами системы и системы с окружающей средой веществом, энергией и информацией. Отношение – это связь, представленная в абстрактной форме, являющейся отображением “физически наполненных”, реальных связей. К числу основных характеристик связи относятся: физическое наполнение, направленность, мощность и роль в системе.

По физическому наполнению связи делятся на вещественные, энергетические, информационные, смешанные и не наполненные. По направлению различают связи: прямые, обратные, контр связи и нейтральные. Важной характеристикой отношений и связей является их сила (или мощность). Система существует как некоторое целостное образование тогда и только тогда, когда мощность (сила) существенных связей между элементами системы на интервале времени не равном нулю, больше, чем мощность (сила) связи этих же элементов с окружающей средой.

Сильные отношения оказывают большие ограничения, чем слабые. Примером сильного отношения может служить сильное неравенство (<), слабого – слабое неравенство (). Мощность вещественных и энергетических связей часто оценивается по интенсивности потока вещества или энергии. Для информационных связей оценкой потенциальной мощности может служить ее пропускная способность, а реальной мощности – действительная величина потока информации. Однако в общем случае при оценке мощности информационных связей необходимо учитывать качественные характеристики передаваемой информации (ценность, полезность, верность и т. п.). Роль связи в системе определяется характером ее влияния на ход процессов. В этом смысле различают связи: соединительные, ограничивающие, усиливающие (ослабляющие), запаздывающие (опережающие, мгновенные), селектирующие, преобразующие, положительные и отрицательные обратные связи, согласующие, координирующие и т.п.

**3-е свойство (организация).** Это свойство характеризуется наличием определенной организации, что проявляется в снижении *энтропии* (степени неопределенности) системы Н(S) по сравнению с энтропией системоформирующих факторов Н(F), определяющих возможность создания системы.

К системоформирующим факторам (F-факторам) относятся: число элементов системы – *n*; число системнозначных свойств элемента –*а*, число существенных связей, которыми может обладать элемент - γ; число системнозначных свойств связей – *b;* число квантов пространства и времени, в которых может находиться и существовать элемент, связь и их свойства.

Возникновение организации в системе – это, по существу, актуализация (формирование) существенных связей элементов, упорядоченное распределение элементов и связей в пространстве и времени. При формировании связей складывается определенная структура системы, а свойства элементов трансформируются в функции (действия, поведение), связанные с еще одним свойством системы – ее интегративными качествами.

**4-е свойство (интегративные качества).** Интегративные качества (свойства) – это такие качества (свойства), которые присущи системе в целом, но не свойственны ни одному из ее элементов в отдельности. Наличие интегративных свойств показывает, что свойства системы хотя и зависят от свойств элементов, но не определяются ими полностью. Таким образом, во первых – система не сводится к простой совокупности элементов; во вторых – расчленяя систему на части, изучая каждую из них в отдельности, нельзя познать все свойства системы в целом.

Любой объект, который обладает всеми из четырех указанных свойств, и будем называть системой.

*Вопросы и упражнения*

1. Какие свойства элементов в системе “велосипед ” можно считать системно определенными (системно значимыми)?
2. Какие связи можно выделить между элементами в системе “велосипед”? Какие из этих связей являются существенными с точки зрения формирования системы?
3. Постройте схему, отображающую основные связи между элементами в велосипеде. Выделите сильные и слабые связи. Покажите направление связей стрелками. Чем отличается отношение от связи?
4. В чем заключается организация системы?
5. Что такое энтропия?
6. Выделите системоформирующие факторы в системе “велосипед”.
7. Какие интегративные качества определяют систему “велосипед”?
8. Что такое система?

**2.3. Структуры и функции**

*Определение.* Структура системы есть устойчивая упорядоченность в пространстве и во времени ее элементов и связей.

Системы, как правило, обладают различными структурами. Так, порядок вхождения элементов в подсистемы, а затем последовательное объединение подсистем в целостную систему образует структуру членения системы. Эта структура всегда иерархического типа и имеет не менее двух уровней: “старший” уровень – система, “младший” – элементы.

В зависимости от характера организации в системе элементов и их связей можно выделить три основных типа структур: сетевую, скелетную и централистскую, отражающих последовательное повышение степени централизации системы (рис. 1):

Рис. 1.

Вообще же структуры могут быть самыми разнообразными и включать различные комбинации взаимосвязей элементов. По пространственной организации различают структуры плоские и объемные, рассредоточенные, когда элементы равномерно распределены в пространстве, локально сосредоточенные при наличии сгущения элементов и сосредоточенные, когда имеется одно сгущение элементов. По временному признаку выделяются экстенсивные структуры, в которых с течением времени происходит рост числа элементов, и интенсивные, в которых происходит рост числа связей и их мощностей при неизменном составе элементов. Противоположные типы структур: редуцирующие и деградирующие. Еще один тип – стабильные структуры, в которых структура не меняется в течение всего периода жизни системы.

Структура является наиболее консервативной характеристикой системы. Хотя состояние системы изменяется, структура ее сохраняется неизменной иногда длительное время.

*Определение.* Функция есть действие, поведение, деятельность некоторого объекта.

Функция элемента возникает как реализация его системоопределенных свойств при формировании элемента и его связей в системе. Функция системы (в многофункциональных системах – набор функций) возникает как специфическое для каждой системы порождение всего комплекса функций и дисфункций элементов.

Любой элемент обладает огромным количеством свойств. Одни из этих свойств при формировании связей подавляются, другие, напротив, приобретают отчетливое выражение. Однако степень подавления системно-незначимых свойств элемента, как правило, не бывает полной. В связи с этим, при формировании системы возникают не только “полезные” функции, обеспечивающие сохранение системой ее качественных особенностей, но и дисфункции – функции, негативно влияющей на функционирование системы.

Основными системными характеристиками функций являются совместимость на элементарном уровне, изменчивость (лабильность), возможность актуализации на свойствах элементов, интенсивность (выраженность) функции и степень детерминированности.

*Вопросы и упражнения*

1. Постройте структуру системы “учебная группа”. Определите тип полученной структуры. Является эта структура экстенсивной или интенсивной, редуцирующей или деградирующей?
2. Выделите функции элементов в системе “учебная группа”. Какие из этих функций подавляются в системе, а какие наоборот, становятся более выраженными?
3. Проанализируйте функции системы и элементов в системе “велосипед”.
4. Перечислите основные системные характеристики функций.

**2.4. Системосоздающие и системоразрушающие факторы**

Возникновение системы, тоесть актуализация существенных связей, пространственного распределения элементов, существование тех и других в определенных временных пределах, обеспечивается системосоздаюшими К-факторами. К числу основных К-факторов относятся: физические поля, контактная способность, рефлекторные действия, способность запоминать прошлые ситуации (состояние внешней среды и самой системы), способность оценивать результат действия, прогностическая способность, способность получать знания как об окружающей среде, так и о самой системе (сознание и самосознание).

Легко видеть, что К-факторы приведены в последовательность по возрастанию сложности систем.

Каждый из рассмотренных К-факторов не возникает из ничего, а имеет в той или иной степени предшественников в системах более низкого уровня. Кроме того, в каждой системе помимо ведущего системно создающего фактора, как правило, играют роль и К-факторы нижестоящего уровня. Все это в реальном мире складывается в пеструю картину взаимопереплетения и взаимодополнения К-факторов. Поэтому приведенная схема факторов дает лишь самую общую картину.

К системоразрушающим факторам относятся внешние воздействия, развитие дисфункций, возрастание энтропии.

Внешние воздействия приводят к разрушению системы тогда, когда их сила становится выше силы внутренних связей системы. Развитие дисфункций взрывает систему изнутри.

Возрастание энтропии происходит из-за дезорганизующих внешних воздействий, износа и перерождения связей.

*Упражнение*

Рассмотрим пример социальной системы. Система – учебная группа. Цель – стабильная успеваемость группы. Подсистемы – отличники, средне успевающие, неуспевающие. Элементы системы – студенты. Связь - результат сдачи экзамена в сессию. Системно создающий фактор – контактная способность, психологическая организация коллектива. Системно-разрушающий – выбывание из группы лидера, окончание обучения.

Необходимо нарисовать структуру системы. Какие типы связей можно выделить между подсистемами? Какие еще имеются К-факторы? Постройте иерархическую схему К-факторов.

Глава 3. Функциональное описание системы

**3.1. R-преобразование**

Любое научное исследование связано с установлением зависимости *воздействие – результат.* Воздействие подается на вход объекта (системы), результат фиксируется на выходе.

X

Y

R

Классические точные науки занимаются разработкой моделей, которые выражают строгую однозначную зависимость между состоянием входа X и состоянием выхода Y при помощи переходной функции Y=R(X), где R – оператор преобразования (в дальнейшем операцию будем называть R-преобразованием). На ранних этапах развития науки R-преобразование понималось только как однозначная детерминированная функция и только позднее, под давлением фактов получило вероятностное толкование. Стали говорить о детерминированных S1 – системах и о стохастических S2 – системах, о детерминированном R1 – преобразовании и о стохастическом R2 – преобразовании. R-преобразование может задаваться алгебраическим, логическим, дифференциальным, интегро-дифференциальным оператором; скалярным, векторным или матричным; составленным на основании измерения внешних характеристик (исследования связи *объект-реакция*) или на основании знания устройства системы. Точные науки занимаются исследованием и таких моделей, которые не содержат R-преобразование. Это модели хаотические, слабо организованные, неустойчивые, недолговечные, в которых сталкивается множество независимых событий. Мы будем называть их S3 – системами.

Гуманитарные науки имеют дело со сверхсложными системами (большими сложными системами). Главной методологической особенностью этих наук считается невозможность в моделировании использование идеи R-преобразования, поскольку для изучаемых систем выявить его в ряде случаев невозможно. Отдельный человек, группа людей, сообщество по-разному реагируют на одинаковые воздействия в одних и тех же условиях. Гуманитарные науки исследуют свойства и реакции человеческого общества, пытаясь обнаружить определенные тенденции и оценить их устойчивость. При этом оказывается, что чем больше по размеру система, тем более устойчивы тенденции в ее поведении; при определенном размере тенденция перерастает в закономерность.

Существуют и другие (не общественные) системы, состоящие из детерминированных элементов, не имеющие R-преобразование.

Определение. Системы, способные формировать R-преобразование применительно к своей внутренней цели, исходя из конкретного состояния входа (т.е. ситуации), будем называть S0-системами. Целенаправленность допускает как детерминистическое толкование (достижение цели в данной конкретной ситуации), так и стохастическое (в среднем, за какой-то промежуток времени). S0-системы диалектически объединяют противоречивые свойства S1, S2 и S3-систем. S0-системы являются основным объектом системного исследования. Это сложные системы, способные управлять своим поведением. Исследование S0-систем, механизмов формирования целей, принятия решений и управления поведением составляет основной предмет системологии. Любые системы можно рассматривать как частный случай S0-систем.

*Вопросы и упражнения*

1. Что называется R-преобразованием? Приведите примеры систем с детерминированным R-преобразованием.
2. Что общего и в чем различие у S2 и S3 –систем?
3. Какие типы систем изучают гуманитарные науки и почему?
4. Чем характеризуются S0-системы?

**3.2. Функции системы**

Всякий объект интересен результатом своего существования, местом, которое он занимает среди других объектов в окружающем мире. Это соответствует целенаправленности человеческой деятельности. Сталкиваясь с новым объектом, мы, прежде всего интересуемся его функциями, поэтому первым описанием проблемы или системы должно быть функциональное описание. Функциональное описание исходит из того, что всякая система выполняет некоторые функции: просто существует, служит областью обитания другой системы, обслуживает систему более высокого порядка, является контрольной для некоторого класса систем, служит средством или исходным материалом для создания более совершенной системы и т.д. Система может быть однофункциональной, или многофункциональной. В зависимости от степени воздействия на внешнюю среду и характера взаимодействия с другими системами, функции можно распределить по возрастающим рангам: пассивное существование, материал для других систем; обслуживание системы более высокого прядка; противостояние другим системам, среде (выживание); поглощения (экспансия) других систем и среды; преобразование других систем и среды.

Функциональное описание иерархично. Функция системы представляется числовым функционалом, зависящим от функций, описывающих внутренние процессы, либо качественным функционалом (типа упорядочивания: лучше-хуже).

Обычно функция системы выполняется, если параметры системы и процессы ограничены определенными пределами, вне которых система разрушается либо радикально меняет свойства.

*Функционал, количественно или качественно описывающий деятельность (действие) системы, называют функционалом эффективности.*

Если функционал эффективности больше некоторого условного порога, то считается, что функция выполняется, если меньше – не выполняется. Введение порога, как и определение функции, выражает позицию того, кто составляет описание. Несмотря на разнообразие систем и функций, характер зависимости эффективности от произвольного параметра типичен. Это обстоятельство объясняет общность функционального описания независимо от физического содержания системы. Зависимость включает три характерные области: слабой и сильной связи и насыщения.

Существует область, где система подавляется средой, область, где она соревнуется с ней, и область, где система становится малочувствительной к внешним воздействиям. Если функция системы состоит в сохранении своего состояния, например температуры, а внешнее влияние включает приток тепла, то система противостоит этому влиянию при помощи теплопроводности и выравнивания температуры. В наиболее общем виде идея противодействия любой системы внешнему влиянию выражена принципом Лешатье: поддержка стабилизирующего процесса требует некоторого уменьшения эффективности по сравнению с первоначальным значением.

Существуют системы, которые реагируют на внешнее воздействие, порождая в себе процессы не ослабления воздействия, а активной перестройки и противодействия, которые могут изменять параметры среды или использовать первоначально неблагоприятные изменения в свою пользу. При этом за уменьшением эффективности может последовать ее увеличение, превышающее первоначальную величину. Может произойти перестройка, которая повлечет не только изменение состояния и появление новых процессов, но и изменение функций и пределов работоспособности системы.

Функциональное описание системы можно задать семеркой:

Sf={T,x,C,Q,y,ϕη},

Где T-множество моментов времени, х - множество мгновенных значений входных воздействий, С={c: T→x} – множество допустимых входных воздействий; Q –множество состояний; y- множество значений выходных величин; Y={u:T→y}-множество выходных величин; φ={T×T×T×c→Q}-переходная функция состояния; η:T×Q→y – выходное отображение; с- отрезок входного воздействия; u – отрезок выходной величины.

Такое описание системы охватывает широкий диапазон свойств.

Недостаток данного описания – не конструктивность: трудность интерпретации и практического применения. Функциональное описание должно отражать следующие характеристики сложных и слабо познанных систем: параметры, процессы и иерархию.

Примем, что система S выполняет N функций ψ1, ψ2, …,ψs, …,ψN, зависящих от n-процессов F1, F2, …,Fi, …, Fn. Эффективность выполнения s-й функции

Эs = Эs(ψs) =Э(F1, F2, …,Fi, …, Fn) =Эs({Fi}), i=1…n, s=1…N.

Общая эффективность системы есть вектор-функционал Э={Эs}. Эффективность системы зависит от огромного количества внутренних и внешних факторов. Представить эту зависимость в явной форме чрезвычайно сложно, а практическая ценность такого представления незначительна из-за многомерности и многосвязности. Рациональный путь формирования функционального описания состоит в применении такой многоуровневой иерархии описаний, при которой описание более высокого уровня будет зависеть от обобщенных и факторизованных переменных низшего уровня.

Иерархия создается по уровневой факторизацией процессов {Fi} при помощи обобщенных параметров {Qi}, являющихся функционалами {Fi}. Предполагается, что число параметров значительно меньше числа переменных, от которых зависят процессы. Такой способ описания позволяет построить мост между свойствами взаимодействующих со средой элементов (подсистемами низшего уровня) и эффективностью системы.

Процессы {Fi(1)} можно обнаружить на выходе системы. Это процессы взаимодействия со средой. Будем называть их процессами первого уровня и полагать, что они определяются:

a) параметрами системы первого уровня - Q1(1), Q2(1),…, Qj(1),…, Qm(1) ;

б) активными противодействующими параметрами среды, непосредственно направленными против системы для снижения ее эффективности - b1, b2,…, bk,…, bК;

в) нейтральными (случайными параметрами среды) c1, c2,…, cl,…, cL;

г) благоприятными параметрами среды d1, d2,…, dp,…, dP.

Среда имеет непосредственный контакт с подсистемами низших уровней, воздействуя через них на подсистемы более высокого уровня иерархии, так что Fi\*= Fi\*({bk},{cl}, {dp}). Путем построения иерархии (параметры β-го уровня - процессы (β-1)-го уровня - параметры (β-1)-го уровня) можно связать свойства среды с эффективностью системы.

Параметры системы {Qj} могут изменяться при изменении среды, они зависят от процессов в системе и записываются в виде функционалов состояния Qj1(t). Собственным функциональным пространством системы Ω называется пространство, точками которого являются все возможные состояния системы, определяемое множеством параметров до уровня β: Q={Q(1), Q(2), …Q(β) }. Состояние может сохраняться постоянным на некотором интервале времени Т.

Процессы {Fi(2)}не могут быть обнаружены на выходе системы. Это процессы второго уровня, которые зависят от параметров Q(2) подсистем системы (параметров второго уровня). И так далее.

Образуется следующая иерархия описания: эффективность (конечное множество функционалов) – процессы первого уровня (функции) – параметры первого уровня (функционалы) - процессы второго уровня (функции) – параметры второго уровня (функционалы) и т.д. На каком-то уровне наши знания о функциональных свойствах системы исчерпываются, и иерархия обрывается. Обрыв может произойти на разном уровне для разных параметров (процессов), причем как на процессе, так и на параметре.

Внешние характеристики системы определяются верхним уровнем иерархии, поэтому часто удается ограничиться описанием вида ({Эi},{ψS}, {Fi(1)}, {Qj(1)}, {bk}, {cl}, {dp}). Число уровней иерархии зависит от требуемой точности представления входных процессов.

*Вопросы и упражнения*

1. Чем вызвана необходимость функционального описания системы?
2. Как ранжируются функции систем в зависимости от степени воздействия на внешнюю среду и характера взаимодействия с другими системами?
3. В чем состоит иерархия функционального описания?
4. Что определяет функционал эффективности?
5. В чем заключается принцип Лешатье? Приведите пример.
6. Какие характеристики сложных и слабо познанных систем должно отражать функциональное описание?
7. Назовите достоинства и недостатки общей формулы функционального описания.
8. Постройте иерархию функционального описания системы “автомобиль” (все функционалы описывайте качественно).
9. Запишите общую формулу функционального описания для системы “учебная группа”.

**3.3. Время в описании систем**

Так как Э=Э(Q(1)) и Q(1)=Q(1)(b,c,d), то функциональное описание системы можно представить следующим образом:

Sf= { Q(1)(t), Q(2)(t), …Q(β) (t)}.

Функции времени, применяемые при описании систем, имеют особый смысл. Запись Fi(t), i=1,…,n, вообще говоря, предполагает, что все процессы протекают в едином и изотропном времени. В сложных системах время относительно: в зависимости от свойств подсистем, в которых протекает процесс, и от пространственного направления процесса, его скорость может быть различной, это равносильно изменению масштаба времени. Для описания физических систем Эйнштейн ввел четырехмерный пространственно-временной континуум и показал, как зависит ход времени от скорости относительного движения. Мы привыкли оценивать различие в ходе лабораторного времени и собственного времени движущейся физической системы через изменение массы, которая в нерелятивистском мире является устойчивым измеряемым инвариантом, а в релятивистском может служить показателем “меры релятивизма”.

Системный подход к проблеме отсчета времени усложняется как из-за возможности релятивистских скоростей, так и потому, что однотипные вещественно-энергетические процессы могут (в зависимости от свойств системы) протекать с различной скоростью. Для жизнедеятельности системы важно число циклов соответствующих процессов (например, делений клетки), а не лабораторное время. Здесь нет столь удобного для измерения показателя, как масса в физических системах. Основную роль играют информационные процессы, которые мы плохо умеем вычислять, и не умеем измерять.

Если предположить, что относительная скорость информационных процессов способна порождать изменение относительного масштаба времени, то величину энтропии системы можно рассматривать как показатель этого изменения: чем меньше энтропия, тем инерционнее система к внешнему воздействию. Физический смысл этого предположения состоит в том, что ускорение процессов (при прочих равных условиях) требует повышения уровня организации.

Если при одинаковом увеличении энергии двух систем (в остальном одинаковых) на величину ΔQ скорость процессов в первой оказалась больше, чем во второй, то температура первой системы должна повыситься меньше, так как большая часть энергии расходуется в соответствии с назначением системы, а меньшая – на ее нагрев. Следовательно, энтропия первой системы будет ниже, чем второй (в лабораторной системе отсчета).

Живые существа имеют внутренний отсчет времени (биологические часы), который определяет всю их жизнедеятельность. Продолжительность жизни таких систем следует исчислять по эти часам, а не по лабораторным, до которых системе, в сущности, нет дела. На протяжении жизни системы ход внутреннего времени, измеренный по лабораторным часам, неодинаков: начиная жить, существо растет (и взаимодействует со средой) несравненно быстрее, чем впоследствии, а к моменту смерти “ход времени замедляется до нуля”. Если принять, что замедление хода времени приблизительно пропорционально сложности системы (понимая под сложностью количество информации, необходимое для описания системы), то можно представить себе, что относительный масштаб времени в течении жизни системы (по представлению внешнего наблюдателя) изменяется на много порядков. Например, в сжатые сроки эмбрионального развития живое существо проходит весь путь естественной эволюции.

*Вопросы и упражнения*

1. В чем состоит относительность времени в сложных системах? Приведите примеры.
2. Что можно считать инвариантом при описании временных процессов в системах?

Глава 4. Морфологическое описание системы

**4.1. Состав элементов**

Морфологическое описание системы должно давать представление о строении системы, ее подсистемах и элементах. Оно не может быть исчерпывающим. Глубина описания, уровень детализации, т.е. выбор элементов, внутрь которых описание не проникает, определяется назначением описания. Морфологическое описание иерархично. Конкретизация морфологии дается на стольких уровнях, сколько их требуется для создания представления об основных свойствах системы. В иерархии описания может существовать такая ступень, где прежние описания, применявшиеся на более высоких ступенях, становятся непригодными и необходимо применить принципиально новый способ описания.

Система

Состав элементов

Связи

Структура

Подсистемы 1-го

уровня

Состав элементов

Связи

Структура

Подсистемы i-го

уровня

Состав элементов

Связи

Структура

Рис. 2.

Изучение морфологии начинается с элементного состава (рис. 2.). Под элементом в данном случае понимается подсистема, внутрь которой описание не проникает. Элементный состав может быть гомогенным (содержать однотипные элементы), гетерогенным (содержать разнотипные элементы) и смешанным. Однотипность не означает полной идентичности и определяет только близость основных свойств. Гомогенности, как правило, сопутствуют избыточность и наличие скрытых возможностей, дополнительных, неиспользованных ресурсов. Гетерогенные элементы специализированы. Они экономичны и могут быть эффективными в узком диапазоне внешних условий, но быстро теряют эффективность вне этого диапазона. Гомогенные системы стоят выше гетерогенных по уровню организации. Иногда элементный состав определить не удается, и его считают неопределенным.

*Вопросы и упражнения*

1. Для чего предназначено морфологическое описание системы?
2. Какие системы считаются гомогенными, гетерогенными и смешанными?
3. Какого типа элементы преобладают в системе “учебная группа”?

**4.2. Свойства элементов**

Важным признаком морфологии является назначение (свойства) элементов. Выделяют *информационные, энергетические и вещественные* элементы. Передача информации требует энергии, перенос энергии невозможен без информации. Важно отметить, что преобладает. Расход энергии в системах электрической связи ничтожен по сравнению с переносом энергии по линиям электропередачи, а количество информации, которое переносится силовыми потоками электронов, ничтожно по сравнению с тем, которое передается средствами связи. Информационные элементы предназначены для приема, запоминания и преобразования информации. Это преобразование может состоять:

1. В изменении вида энергии, который несет информацию. Например, электромагнитная энергия световых лучей, несущих изображение, преобразуется в электрическую энергию при помощи кинескопа или глаза.
2. В изменении способа кодирования информации. Например, музыкальный код преобразуется в код электрических импульсов, которые передаются от уха в головной мозг.
3. В сжатии информации сокращением избыточности. Например, уменьшение разрешающей способности, отбор признаков.
4. В принятии решения (распознавание, выбор поведения).

Определение. *Обратимыми* называютсяпреобразования, не связанные с потерей (созданием) информации.

Накопление информации (запоминание) является обратимым преобразованием в том случае, если не происходит потерь информации в течение времени хранения. Принятие решений связано с потерей информации. Эффективность выполнения информационной функции определяется вносимыми искажениями и непредусмотренными схемой работы элемента потерями информации, которые отрицательно влияют на работу других элементов и системы в целом.

Энергоснабжение элементов, выполняющих информационные функции, может осуществляться:

1. при помощи самого информационного сигнала (который должен обладать соответствующим избытком энергии);
2. при помощи отдельного энергетического сигнала, поступающего извне;
3. за счет внутренних ресурсов (энергия запасена в самом элементе).

Функции энергетических элементов связаны с преобразованием энергии. Цель преобразования – выработать необходимую системе энергию в той форме, в которой она может потребляться другими элементами. Для энергетических элементов большое значение имеет коэффициент полезного действия, который в конечном итоге определяется эффективность элемента.

Преобразование энергии состоит в изменении параметров энергетического потока. Поток входной энергии может поступать извне (из среды) либо от других элементов (в которых он запасен на время жизни системы). Выходной энергетический поток направлен в другие системы, либо в среду (для ее преобразования или сохранения определенных условий, например температуры). Процесс преобразования энергии нуждается в информации, которая может быть сосредоточена в энергетическом элементе. Носителем информации может быть как преобразуемый, так и сторонний энергетический поток.

Интенсивность и содержание процесса преобразования энергии могут изменяться в течение жизни системы. Необходимая для этого информация может поступать от других элементов либо вырабатываться энергетическим элементом, который в этом случае выполняет смешанную информационно-энергетическую функцию.

Элементы, преобразующие вещество (кроме сырья, т.е. исходного вещества), нуждаются в энергии и информации. То и другое может содержаться в самом вещественном элементе, поступать от других элементов системы или из среды.

Преобразование вещества может быть механическим (штамповка деталей), химическим (производство пластмассы), физическим (образование плазмы), биологическим и т. д. В сложных системах преобразование вещества носит смешанный характер. Вещество можно использовать для создания энергии в подсистемах со смешанной функцией преобразования вещества и энергии. Вещество можно использовать как носитель энергии и информации в системах со смешанными функциями преобразования вещества, энергии и информации. Например, пища живых существ является источником химической энергии и одновременно носителем информации.

Выделяют *неопределенные*, или нейтральные элементы. Любые процессы (в том числе и случайные) приводят к преобразованию вещества, энергии или информации.

*Пример.* Столкновение молекул может привести к изменению направления и скорости их движения (энергетическое и информационное преобразование), к химической реакции (изменение вещества, преобразование энергии и информации), но может ни к чему не привести. Предусмотреть результат действия молекул можно только в статистическом виде, а когда речь идет об элементе, состоящем из двух или нескольких молекул, предусмотреть их исход невозможно. Точно так же невозможно предусмотреть и определить назначение таких элементов, как атом твердого тела, планета в Солнечной системе или звезда в Галактике.

Применяя к естественным объектам емкий термин “назначение”, следует быть осторожным, так как многое зависит от позиции наблюдателя. Астрофизик, изучающий энергетические процессы, будет вполне прав, утверждая, что Солнце несет энергетическую функцию в системе. В свое время было большим искушением принять квазар за информационный элемент некоторой сверхсистемы, и т.д.

В общем плане, использование категории “назначение” для определения свойств системы нежелательно. Поэтому, когда свойство не определено, его нельзя предсказать или оно не носит стабильного характера, будем называть его нейтральным ( рис. 3).

Морфологические свойства системы существенно зависят от характера связей ( рис. 4). Выделим информационные, энергетические и вещественные связи, определив их в том смысле, в каком были определены информационные, энергетические и вещественные свойства. Энергетические связи предназначены для переноса энергии между элементами, а информационные – для переноса информации. Связи для передачи материала переносят вещество, но одновременно энергию и информацию, так что характер связи определяется удельным весом соответствующего компонента.

Свойства

По содержанию

*По степени* *самостоятельности*

По степени специализации

По времени

Смешанные

Инициативные

Непрерывные

Регулярные

Нерегулярные

Смешанные

Рис. 3

Информационные

Энергетические

Вещественные

Программные

Адаптивные

Однотипная специализация

Смежная (близкая) специализация

Разнотипная специализация

Возможны и смешанные связи. Выделим прямые, обратные и нейтральные связи. Прямые связи предназначены для передачи вещества, энергии, информации или комбинаций от одного элемента к другому в соответствии с последовательностью выполняемых функций. Качество связи определяется ее пропускной способностью и надежностью. Обратные связи в основном имеют функцию управления процессами.

Наиболее распространены информационные обратные связи. Обратная связь предполагает некоторое преобразование компонента, поступающего по прямой связи, и передачу результата преобразования обратно, т.е. в направлении, противоположном функциональной последовательности (и прямой связи) к одному из предыдущих элементов системы. Преобразование

Связи

Информационные

Энергетические

Вещественные

Смешанные

Прямые

Обратные

Нейтральные

Рис. 4

может быть тождественным (информации в информацию) или нетождественным (изменение состава вещества преобразуется в информацию или энергию).

Системы, способные адаптироваться или целенаправленно влиять на окружающую среду, должны иметь обратные связи. Нейтральные связи непредсказуемы, или случайны. Однако нейтральные связи могут сыграть определенную роль при адаптации, служить исходным ресурсом для формирования прямых и обратных связей, резервом.

В определенных условиях возможно преобразование связей (прямых в обратные или нейтральные и т.д.). Морфологическое описание может включать указание на наличие и виды связей, содержать общую характеристику связей либо их качественные и количественные данные.

*Структурные* свойства систем определяются характером и устойчивостью отношений между элементами. По характеру отношений между элементами структуры делятся на многосвязные, иерархические и смешанные. Пространственное расположение элементов и область пространственной локализации системы также описывается структурой. Наиболее устойчивы *детерминированные* структуры, такие, в которых отношения либо неизменны, либо изменяются по некоторому закону. Если отношения между элементами описываются вероятностными законами, структура называется вероятностной. Существуют также хаотические структуры, в которых элементы вступают в отношения непредсказуемым образом. Возможны смешанные структуры, в которых пределы и направления образования нестабильностей определены и ограничены заложенным в структуру детерминизмом. Свойства структуры зависят от действия внутренних сил, свойств элементов и связей. Детерминизм, как и недетерминизм, имеет иерархию совершенства. Низкий уровень – полная неизменяемость, следующий, более высокий – включение и выключение определенных элементов (при соответствующих условиях), еще более высокие – наращивание структуры (из элементов, сформированных из внешней среды) в строго определенном направлении, создание элементов нового типа, но предусмотренных заранее и т.д. Вероятностные структуры в качестве низшего уровня имеют случайные изменения, далее идут изменения целенаправленные, с отбором и т.д. Граница между стабильными и нестабильными структурами высокого уровня не является определенной.

*Композиционные* свойства систем определяются способом объединения элементов в подсистемы. Будем различать подсистемы: *эффекторные* (способные преобразовывать воздействие и воздействовать веществом или энергией на другие подсистемы и системы, в том числе на среду), *рецепторные* (способные преобразовывать внешнее воздействие в информационные сигналы, передавать и переносит информацию) и *рефлексивные,* способные воспроизводить внутри себя процессы на информационном уровне, генерировать информацию. Композиция систем, не содержащих (до элементного уровня) подсистем с выраженными свойствами, называется слабой. Композиция систем, содержащих элементы с выраженными функциями, называется соответственно с эффекторными, рецепторными или рефлексивными подсистемами; возможны комбинации. Композицию систем, включающих подсистемы всех трех видов, будем называть *полной* Элементы системы (т.е. подсистемы, в глубь которых морфологический анализ не распространяется) могут иметь эффекторные, рецепторные или рефлексивные свойства, а также их комбинации.

*Определение.* Морфологическое описание есть четверка:

SM={S, V, δ, K}, где

S={Si}i – множество элементов и их свойств (под элементом в данном случае понимается подсистема, вглубь которой морфологическое описание не проникает); V ={Vj}j – множество связей; δ - структура; К – композиция.

Все множества считаем конечными.

*Будем различать в S:*

Состав: гомогенный, гетерогенный, смешанный (большое количество гомогенных элементов при некотором количестве гетерогенных); неопределенный.

Свойства элементов: информационные, энергетические, информационно-энергетические, вещественно-энергетические, неопределенные (нейтральные).

*Будем различать во множестве V:*

Назначение связей: информационные, вещественные, энергетические.

Характер связей: прямые, обратные, нейтральные.

*Будем различать в δ:*

Устойчивость структуры: детерминированная, вероятностная, хаотическая.

Построения: иерархические, многосвязные, смешанные, преобразующиеся.

Детерминированные структуры либо постоянны, либо изменяются во времени по детерминированным законам. Вероятностные структуры изменяются во времени по вероятностным законам. Хаотические структуры характерны отсутствием ограничений, элементы в них вступают в связь в соответствии с индивидуальными свойствами. Классификация производится по доминирующему признаку.

*Будем различать во множестве К:*

Композиции: слабые, с эффекторными подсистемами, с рецепторными подсистемами, с рефлексивными подсистемами, полные, неопределенные.

Морфологическое описание, как и функциональное, строится по иерархическому (многоуровневому) принципу путем последовательной декомпозиции подсистем. Уровни декомпозиции системы, уровни иерархии функционального и морфологического описания должны совпадать. Морфологическое описание можно выполнить последовательным расчленением системы. Это удобно в том случае, если связи между подсистемами одного уровня иерархии не слишком сложны. Наиболее продуктивны (для практических задач) описания с единственным членением или с небольшим их числом. Каждый элемент структуры можно, в свою очередь, описать функционально и информационно. Морфологические свойства структуры характеризуются временем установления связи между элементами и пропускной способностью связи. Можно доказать, что множество элементов структуры образует нормальное метрическое пространство. Следовательно, в нем можно определить метрику (понятие расстояния). Для решения некоторых задач целесообразно введение метрики в структурном пространстве.

*Вопросы и упражнения*

1. Для чего предназначены информационные элементы? Приведите примеры.
2. Для чего предназначены энергетические элементы? Приведите примеры.
3. Какие преобразования считают обратимыми?
4. Какие типы связей вы знаете?
5. Какие подсистемы называют эффекторными, рецепторными и рефлексивными? Приведите примеры.
6. В чем состоят композиционные свойства систем?
7. Каковы достоинства и недостатки общей формулы морфологического описания?
8. В чем состоит иерархия морфологического описания?
9. Составьте морфологическое описание для системы “компьютер”.

Глава 5. Информационное описание системы

**5.1. Понятие информации**

Информационное описание должно давать представление об организации системы. Термин информация имеет несколько значений:

1. совокупность каких либо сведений, знаний о чем-либо;
2. сведения, являющиеся объектом хранения, передачи и переработки;
3. совокупность количественных данных, выражаемых при помощи цифр или кривых, графиков и используемых при сборе и обработке каких-либо сведений;
4. сведения, сигналы об окружающем мире, которые воспринимают организмы в процессе жизнедеятельности;
5. в биологии – совокупность химически закодированных сигналов, передающихся от одного живого организма другому (от родителей - потомкам) или от одних клеток, тканей, органов другим в процессе развития особи;
6. в математике, кибернетике – количественная мера устранения энтропии (неопределенности), мера организации системы;
7. в философии – свойство материальных объектов и процессов сохранять и порождать определенное состояние, которое в различных вещественно-энергетических формах может быть передано от одного объекта другому; степень, мера организованности какого-либо объекта (системы).

Определения 1-4 трактуют информацию как сведения, данные, сообщения, сигналы, подлежащие передаче, приему, обработке, хранению и отражающие реальную действительность или интеллектуальную деятельность. В этом смысле информация – отображение в некоторое пространство символов VI. В дальнейшем будем называть ее *отображающей* информацией, и обозначать Io. Эта величина измеряется двоичными единицами. Если число возможных равновероятных исходов составляло вначале p0, а после получения информации сократилось до p1, то

I0=log2(p0/p1).

Во всех определениях, кроме последнего, информация рассматривается как объединяющая категория, которую можно определить через более простые категории. В последнем определении информация – изначальная, неопределяемая категория, которую нужно изучать через ее свойства, то есть информация материальна (как и вещество и энергия), проявляется в тенденции (свойстве) материи к организации (как энергия к способности к взаимодействию), выражает способность организованной материи к предопределению своих состояний (связывающей пространственные свойства с временными).

То, что это действительно так, вытекает из следующих, наблюдаемых в повседневной практике, свойств S0 – систем. При неизменной морфологии их поведение и функционирование в значительной степени определяются информацией, доставляемой рецепторными подсистемами. Аналогично энергия определяется как общая мера различных процессов и видов взаимодействия.

Физически информация определяет предсказуемость свойств и поведения объекта во времени. Чем выше уровень организации (больше информации), тем менее подвержен объект действию среды.

Возможно, что формы организации взаимно преобразуются в строгих количественных соотношениях, выражаемых при помощи информации. Доказать это можно только экспериментально (как и для количественных форм движения, т.е. энергетических эквивалентов). Количество и ценность информации – взаимодополняющие категории. Можно говорить о количестве ценной информации применительно к заданной цели подобно тому, как мы говорим о количестве ценного вида энергии или вещества.

Формальное определение первичных понятий всегда сложно. Определяя энергию как способность производить работу, мы с самого начала допускаем ошибку: энергия – не способность, а нечто, обладающее способностью. Не смотря на это, мы пользуемся этим определением, понимая и признавая его неполноценность. Энтропия есть мера беспорядка, негэнтропия – мера порядка, организованности. Но определения организованности в физике нет, существует интуитивное восприятие этого понятия. Организованность есть первичная категория.

*Организованность, упорядоченность системы* – способность предопределять свою перспективу, свое будущее. Разумеется, перспектива системы зависит и от среды. Но ведь и способность системы совершать работу зависит от среды, что не влияет на определение энергии.

Чем беспорядоченнее система, тем больше зависит ее перспектива от случайных факторов (внутренних и внешних). Повышение упорядоченности означает увеличение зависимости между факторами, определяющими поведение (состояние) системы. Применительно к внешним случайным факторам это означает наличие в системе возможностей установления соответствия между свойствами среды и функциями системы. Установление соответствия требует отображения среды в системе.

Таким образом, меру организованности можно понимать как *потенциальную меру предсказуемости будущего системы*, количественную характеристику возможности предвидения состояния (поведения) системы. Информация об организации системы – это количественная характеристика возможности предвидения ее состояния (поведения) на соответствующем уровне детализации системы. Информация о среде - количественная характеристика возможности предвидения воздействия среды. Информация об организации системы составляет часть ее внутренней информации.

Теория информации занимается проблемами обработки и передачи информации с учетом избыточности, шумов, потерь и кодирования. Ценность информации рассматривается с позиций поставленной цели, эффективности решения задачи.

Для любой системы ценность имеет то, что определяет ее дальнейшую судьбу – существование, поведение, развитие. Этот критерий можно применить и к информации: если закодировать расположение элементов системы и отделить ту часть кода, которая определяет перспективу системы, то ее можно назвать “полезной информацией” и оценивать полезность степенью влияния на перспективу. Такой подход вытекает из единства энтропии и информации и не требует сторонней оценки и участия в ней надсистемы. Таким образом, информация выражает свойства организации. Особенно ценна та информация, которая образовавшись в результате случайного взаимодействия или привнесенная извне, способна к самосохранению и самопрограммированию, т.е. увеличению влияния на перспективу системы.

Некоторая структурная форма может быстро и бесплодно разрушиться, тогда ценность ее равна нулю, сколько бы бит информации она ни содержала. Другая структурная форма может оказаться устроенной таким образом, что, несмотря на воздействие среды, сохранит себя длительное время, стабилизируя свойства системы и направляя их изменение. Информация как сущность материи должна оцениваться именно с таких прогностических позиций. В то же время, для сторонней системы (в том числе надсистемы) ценность может иметь совсем другая информация, в частности, быстро разрушающаяся и не имеющая значения для первой рассматриваемой системы.

Внутренняя информация системы есть информация самосохранения, это и дает право говорить об информации как о неотъемлемом свойстве материи.

Поскольку информация связана с вероятностной мерой состояния системы, то можно утверждать, что ценность информации возрастает с увеличением ее влияния на вероятность события, которое она представляет. Наивысшую ценность имеет информация, которая делает это событие почти достоверным при условии, что в отсутствие информации оно почти невозможно.

Таким образом, отображающая информация – концептуальное понятие, ценность информации – конкретное понятие, относящееся к конкретной задаче.

Определение 5 относится к наследственной информации и информации развития. Некоторые ученые считают, что наследственная информация должна измеряться по числу мутантных генов (а не по общему числу всех генов), следовательно, числом гетерозиготных генов. Гомозиготные гены не несу информации, хотя они выполняют самую ответственную функцию, определяя нормальную структуру организма. Количество информации, которое несет каждый ген, равно log2p, где р – вероятность нахождения гена в популяции. Для гомозиготных генов эта величина близка к нулю, для мутантных может достигать 20, 30 и более единиц.

Чтобы система действовала и взаимодействовала со средой, она должна потреблять информацию из среды и сообщать информацию среде. Этот процесс мы называем “информационным метаболизмом”.

Он совместно с вещественным и энергетическим метаболизмом образует полный метаболизм. Не всякая информация (как не всякое вещество и энергия) нужны системе: нужна информация о чем-то определенном (качественная характеристика) и с соответствующей степенью подробности (количественная характеристика). Когда говорится о количестве информации, имеется в виду, что эта информация касается одного и того же.

Количество и ценность информации – обобщенные понятия, которыми можно пользоваться применительно к информации определенного качества, но не вообще.

Дифференциальная характеристика информационного метаболизма – векторный показатель, т.е. плотность потока информации. Интегральной характеристикой может служить (по аналогии с веществом и энергией) скалярный показатель, т.е. количество информации. Для информации не сформулированы законы сохранения так, как для вещества и энергии. Тем не менее, без общей характеристики обменных информационных процессов описание взаимодействия системы со средой будет неполным.

Функциональные процессы в системе тесно связаны с информационными. Источником информации для функционирования системы является внутренний ресурс и среда, а носителем – вещество (морфологическая информация) и энергия (сигналы). Восприятие и использование информации из среды также требует внутренней информации.

*Пример 1.* При износе механической детали или электронного блока теряется информация (потери вещества могут быть либо незначительными, либо вовсе отсутствовать). Заменить деталь исправной означает восполнить информационную потерю системы (в данном случае при помощи системы более высокого порядка). Априорная информация заключена в остальных деталях (блоках) системы, которые предполагаются исправными и без которых новая деталь бесполезна.

*Пример 2.* Живые существа воспринимают морфологическую информацию через пищу и используют ее для восстановления и развития организма. Информация, определяющая функции пищеварения и усвоения морфологической информации, сосредоточена главным образом в ДНК, РНК и ферментах пищеварительных органов.

*Пример 3.* Человек воспринимает образную и семантическую информацию, поступающую от рецепторов, благодаря понятийному и категорийному аппарату, выработанному ранее. Язык эмоций категорий искусства не может быть выражен ни на каком естественном или формальном языке. Искусство требует для восприятия априорных данных, т.е. определенной подготовки. Фраза “Истинное искусство понятно всем” означает только то, что эстетическое наслаждение, порождаемое некоторыми видами искусства, основано на весьма распространенных и легко усваиваемых понятиях, возникающих у человека в ранние годы жизни в процессе общения с природой и другими людьми. Ассоциация возникает в процессе формирования личного опыта: “Запах может напоминать нам весь цветок, но только если он был нам ранее известен”. Общественное мнение формируется на основании обобщенных наблюдений и укоренившихся представлений.

Существует экстремальная зависимость количества воспринимаемой информации от количества априорной информации. При нулевой и бесконечной априорной информации из носителя черпается нулевая информация. Существует некоторое значение априорной информации, при котором усваивается максимальная информация. Для максимального усвоения, морфология носителя априорной информации должна быть достаточно близкой к морфологии носителя новой информации (элементы новой детали должны сопрягаться с остальными деталями машины).

Определение 6 относится к организации системы, это внутренняя, структурная информация системы.

Энтропия системы есть мера неопределенности системы. Количественно ее можно представить в виде зависимости:

где *рi* – вероятность i-го состояния.

Устранение энтропии (неопределенности) означает ограничение числа независимых состояний. Для систем, изменяющих свое состояние во времени под действием внутренних сил или среды, число возможных независимых состояний n уместно отнести к некоторому интервалу времени Т, поскольку, вообще говоря, n=n(t).

Для системы, не способной изменять свое состояние, ε=0.

Для системы, самостоятельно выбирающей свое состояние независимо от среды, идеально противостоящей внешнему воздействию, иначе говоря, идеально организованной, ε=0.

Для неидеальной системы последующее состояние связано с предыдущим через вероятность pi, и в формуле для энтропии величины pi выражают меру независимости последующих состояний от предыдущих. При полностью взаимосвязанных состояниях (идеальная организация) система, в сущности, имеет единственное состояние и ε=0.

Внутренняя информация определяет развитие, целенаправленность и деятельность системы. Она может изменяться во времени, накапливаясь или разрушаясь. Для внутренней информации, так же как и для отображающей, можно ввести меру ценности. Та часть внутренней информации, которая не имеет ценности применительно к текущей задаче, может оказаться ценной в дальнейшем, находясь в зарезервированном состоянии.

Философия (определение 7) рассматривает информацию как определенную грань сущности материальных объектов и процессов. Отображающая, управляющая и внутренняя информация выражают эту сущность через описание, сигналы и возможности.

Передача генетической информации означает передачу внутренней информации, формирующей новую организацию. Организация описывается отображающей информацией. Применение термина информация требует большой осторожности и четкости ввиду его емкости и концептуальности.

Информационное описание определяет зависимость морфологических и функциональных свойств системы от качества и количества внутренней (о себе самой и среде) и внешней (поступающей из среды) информации. Напомним, что детерминированная система, действуя в строгом соответствии с заложенной в нее программой, теряет способность к действию, как только этот способ престает соответствовать условиям (среде). Целенаправленная система, выбирая способ действия в зависимости от среды, сохраняет неизменной цель. Частные аспекты информационного описания могут касаться отдельных процессов и подпроцессов. Множество частных описаний с большей или меньшей полнотой охватывает факторы организации деятельности системы в целом.

Связь между функциональным и информационным описаниями отражает эффективность и энтропию, закон изменения эффективности от времени отражает энтропийные свойства. Связь между морфологическим и информационным описаниями отражает изменение морфологических свойств во времени.

Совокупность функционального, морфологического и информационного описаний позволяет отразить главные свойства систем.

*Вопросы и упражнения*

1. Что называют отображающей информацией? В каких единицах и каким образом ее измеряют? Приведите пример.
2. Почему в определении 6 информацию можно считать начальным понятием? Как изучают информацию с этой точки зрения?
3. В чем состоит организованность системы? Приведите пример.
4. Что является количественной мерой организованности системы?
5. В чем состоит ценность информации?
6. Почему отображающая информация – концептуальное понятие, а ценность информации – конкретное понятие? Приведите пример.
7. В чем суть информационного метаболизма? Приведите пример.
8. Поясните понятие полного метаболизма системы на примере системы “колесо”.
9. Что является источником информации, а что – носителем? Приведите пример.
10. Поясните на примере системы “лекция” зависимость количества воспринимаемой информации от количества априорной информации.
11. Что такое энтропия? Поясните ее значение для различных типов систем. Приведите примеры.

**5.2. Взаимодействие систем**

Описание систем и взаимодействия между системами требует ясного понимания и количественного критерия оценки того, что интуитивно воспринимается как близость, сходство, родство, а также различие.

Введем три класса сходства систем:

* идентичность,
* эквивалентность,
* толерантность.

Пусть на множестве М задано разбиение

M=M1∪M2∪…∪Mk, что Мi∩Mj=∅ для i≠j.

*Oпределение 1.* Отношение **Т** на множестве **М** называется отношением *идентичности*, если x находится в отношении T с y тогда и только тогда, когда x и y принадлежат каждому классу данного разбиения:

(∀x,y∈M) [xTy⇔ x,y∈M1& x,y∈M2&…& x,y∈Mk].

*Определение 2.* Отношение Т на множестве М называется отношением *эквивалентности*, если x находится в отношении T с y тогда и только тогда, когда x и y принадлежат некоторому общему классу Мi данного разбиения, причем выполняются свойства рефлексивности, симметричности и транзитивности:

1. xTx –истинно;
2. xТy⇒yTx;
3. xTy & yTz⇒xTz.

*Определение 3.* Отношение Т на множестве М называется отношением *толерантности*, если оно рефлексивно и симметрично.

Множество с заданным на нем отношением ({M, T}) называется (в зависимости от типа отношения) соответственно пространством идентичности, пространством эквивалентности и пространством толерантности.

*Определение 4.* Системы S1, S2, …, Sn *идентичны*, если на множестве систем (надсистеме) существует отношение идентичности.

*Определение 5.* Системы S1, S2, …, Sn *эквивалентны*, если на множестве систем (надсистеме) существует отношение эквивалентности. Эквивалентные системы обладают группой общих признаков.

*Определение 6.* Системы S1, S2, …, Sn *толерантны*, если на множестве систем (надсистеме) существует отношение толерантности. Толерантные системы имеют хотя бы один общий признак.

Количественный критерий сходства можно ввести в каждом классе метризацией пространств на основании признаков сходства.

Исходным пунктом метризации является морфологическое описание системы. Морфологическое сходство в определенной мере влияет на функциональное, но не наоборот. При идентичном функциональном описании системы могут иметь самую различную морфологию. Например, системы, описываемые дифференциальным уравнением вида

могут быть механическими, электрическими и биологическими.

Информационное описание определяет возможную точность оценки, как класса сходства систем, так и их близость внутри класса. Чем больше энтропия системы, тем не совершеннее оценка. Идентичные на первый взгляд системы могут оказаться эквивалентными из-за скрытости части свойств. Морфологическое сходство, однако, не означает функционально, поскольку незначительное количественное морфологическое отклонение может вызвать качественное функциональное различие.

В ряде случаев морфологическое различие обнаружить невозможно, и проявляется оно в существенном и легко наблюдаемом различии функциональных свойств. Например, у высших животных и у человека правая и левая половины мозга морфологически неразличимы. У высших животных они неразличимы и функционально. У человека функциональное различие легко обнаруживается.

К наиболее широкому классу сходства относится эквивалентность. Процесс развития системы связан с уменьшением сходства (углублением различия) с исходной системой за счет взаимного влияния морфологических признаков и функциональных свойств. Для сложной системы характерно сходство на определенном уровне декомпозиции, а выше и ниже этого уровня класс сходства может измениться не только из-за перестройки морфологии, но и из-за небольших количественных изменений.

Описание взаимодействия системы со средой должно учитывать возможность наличия в среде других систем, в том числе и однотипных. Пара (система, среда) или множество взаимодействующих систем образует надсистему, имеющую функциональное, морфологическое и информационное описания. Взаимодействие системы со средой и с другими системами внутри надсистемы классифицируется следующим образом:

* Необходимое взаимодействие (взаимообусловленность).
* Полностью согласованное взаимодействие (для естественных систем – строгое содружество).
* Не полностью согласованное взаимодействие (нестрогое содружество).
* Частично (детерминированно или стохастически) согласованное взаимодействие (коалиция).
* Безразличное (отсутствие взаимодействия).
* Частично-рассогласованное (детерминированно или статистически) взаимодействие (антикоалиция).
* Не полностью рассогласованное взаимодействие (нестрогий конфликт).
* Полностью рассогласованное взаимодействие.
* Антагонистическое взаимодействие (строгий конфликт).

При полностью согласованном взаимодействии интересы систем (в смысле эффективности) совпадают, а при рассогласованном они противоположны, однако это не означает, что системы не могут существовать автономно и независимо. При не полностью согласованном взаимодействии, интересы систем совпадают частично, а при не полностью рассогласованном - частично противоречивы, однако может оказаться, что в первом случае существует область противоречий, а во втором – область общих интересов. Более того, существует рассогласованное взаимодействие, при котором системы не могут обойтись друг без друга (экологическая система “хищник- жертва”). Взаимообусловленность предполагает, что одна система не может существовать без другой, а антагонизм – что одна система не может существовать при наличии другой.

Взаимодействие может быть односторонним и смешанным. Например, увеличение эффективности системы Si влечет за собой увеличение эффективности системы Sj, а увеличение эффективности системы Sj не влияет на эффективность системы Si. Смешанные формы взаимодействия особенно характерны для частично согласованного и частично рассогласованного взаимодействия (коалиция и антикоалиция).

*Вопросы и упражнения*

1. В чем состоит отношение идентичности? Какие системы считают идентичными? Приведите примеры идентичных систем.
2. В чем состоит отношение толерантности? Какие системы считают толерантными? Приведите примеры толерантных систем.
3. В чем состоит отношение эквивалентности? Какие системы считают эквивалентными? Приведите примеры эквивалентных систем.
4. Приведите примеры идентичных систем с различной морфологией.
5. Как связан выбор класса сходства систем с их энтропией?
6. Какой из классов сходства систем является самым широким? Самым узким? Приведите примеры.
7. Каким может быть взаимодействие системы с надсистемой и окружающей средой? Приведите примеры.

Глава 6. Методы описания структур

**6.1 Структурные схемы**

Формирование структуры является частью решения общей задачи описания системы. Структура выявляет общую конфигурацию системы, а не определяет систему в целом.

Если изобразить систему как совокупность блоков, осуществляющих некоторые функциональные преобразования, и связей между ними, то получим структурную схему, в обобщенном виде описывающую структуру системы. Под блоком обычно понимают, особенно в технических системах, функционально законченное и оформленное в виде отдельного целого устройство. Членение на блоки может осуществляться исходя из требуемой степени детализации описания структуры, наглядности отображения в ней особенностей процессов функционирования, присущих системе. Помимо функциональных, в структурную схему могут включаться логические блоки, позволяющие изменять характер функционирования в зависимости от того, выполняются или нет некоторые заранее заданные условия.

Структурные схемы наглядны и вмещают в себя информацию о большом числе структурных свойств системы. Они легко поддаются уточнению и конкретизации, в ходе которой не надо изменять всю схему, а достаточно заменить отдельные ее элементы структурными схемами, включающими не один, как раньше, а несколько взаимодействующих блоков.

Однако, структурная схема – это еще не модель структуры. Она с трудом поддается формализации и является скорее естественным мостиком, облегчающим переход от содержательного описания системы к математическому, чем действительным инструментом анализа и синтеза структур.

*Воапросы и упражнения*

1. Постройте структурную схему системы “троллейбус-водитель-пассажир”. Выделите цветом функциональные и логические блоки.
2. Постройте структурную схему системы “компьютер”. Какой тип описания (функциональный, информационный, морфологический) соответствует этой схеме?
3. Укажите достоинства при описании структуры методом структурных схем.
4. Почему структурная схема не является достаточно строгой моделью структуры системы?

**6.2. Графы**

Отношения между элементами структуры могут быть представлены соответствующим графом, что позволяет формализовать процесс исследования инвариантных во времени свойств систем и использовать хорошо развитый математический аппарат теории графов.

*Определение. Графом* называют тройку G=(M, R, P), где М- множество вершин, R-множество ребер (или дуг графа), Р- предикат инцидентности вершин и ребер графа. Р(x,y,r)=1 означает, что вершины x,y∈M инцидентны (связаны, лежат на) ребру графа r∈R.

Для того чтобы облегчить работу с графом, вершины его обычно нумеруют. Граф с пронумерованными вершинами называется отмеченным.

 Каждое ребро графа связывает две вершины, называемые в этом случае смежными. Если граф отмечен, то ребро задается парой (i,j), где i и j – номера смежных вершин. Очевидно, что ребро (i,j) инцидентно вершинам i и j , и обратно.

Если все ребра графа заданы упорядоченными парами (i,j), в которых порядок расположения смежных вершин имеет значение, то граф называется ориентированным. Неориентированный граф не содержит ориентированных ребер. В частично ориентированном графе ориентированы не все ребра.

Геометрически графы изображают в виде диаграмм, на которых вершины отображаются точками, а ребра – отрезками, соединяющими смежные вершины. Ориентированное ребро задают отрезком со стрелкой.

Использование диаграмм настолько распространено, что обычно, говоря о графе, представляют себе именно диаграмму графа. Графы часто задают матрицей смежности (инцидентности). Это квадратная матрица, размерность которой определяется количеством вершин в графе. Если вершины i и j связаны, то значение соответствующего элемента матрицы единица, в противном случае – ноль. Направление дуг графа можно задать, введя дополнительное обозначение (–1) для противоположного направления связи.

Если ребра графа имеют некоторые числовые характеристики связи, то такие графы называются взвешенными. В этом случае матрица инцидентности содержит веса соответствующих связей, знак перед числом определяет направление ребра.

Важной характеристикой структурного графа является число возможных путей, по которым можно пройти от одной вершины к другой. Чем больше таких путей, тем совершеннее структура, но тем она избыточнее. Избыточность обеспечивает надежность структуры. Например, разрушение 90% нервных связей головного мозга не ощущается и не влияет на поведение. Может существовать и бесполезная избыточность, которая в структурном графе изображается в виде петель.

Рис.5

Одна из вершин через серию связей с другими вершинами замыкается на себя, не имея побочного выхода (рис.5). Наличие петель означает нерациональное расходование ресурсов. Обследование большого числа структур различных систем показало, что наличие петель – не такое редкое явление, как может показаться на первый взгляд. Обычно петли могут изыматься из структуры без всякого ущерба для ее функциональных и информационных свойств. Множество подсистем, входящих в петлю, образует изолированную подсистему.

*Вопросы и упражнения*

1. Что называют графом?
2. Что означает выражение “вершины инцидентны ребру”?
3. Какой граф называют ориентированным? Неориентированным? Частично ориентированным?
4. Как графически изображают графы?
5. Чем графы отличаются от структурных схем? В чем их преимущество перед структурными схемами?
6. Как на графе изображается бесполезная избыточность структуры?
7. Постройте граф для структуры системы “учебная группа”. Какого типа получился граф? Является ли он ориентированным? Взвешенным? Имеются ли в нем петли?

**6.3. Классы структур**

Выделим три класса структур: иерархические, неиерархические и смешанные. Для иерархических структур характерно наличие управляющих (командных) подсистем. В неиерархических структурах управляющие функции распределены между всеми элементами или группами элементов. Как правило, наличие иерархии является признаком высокого уровня организации, хотя могут существовать и неиерархические высокоорганизованные структуры. В функциональном отношении иерархические структуры более экономны. Избыточность структуры свидетельствует о нецелесообразном расходе ресурсов, который оправдан только в том случае, если целью является дальнейшее развитие системы, ее морфологическая перспектива.

*Иерархической* называется структура, удовлетворяющая следующим условиям:

1. каждая подсистема является либо управляющей, либо подчиненной, либо (по отношению к разным подсистемам) то и другое одновременно;
2. существует по крайней мере одна только подчиненная подсистема;
3. существует одна и только одна управляющая подсистема;
4. любая подчиненная подсистема непосредственно взаимодействует с одной и только одной управляющей (обратное не верно).

Обычно считается, что управляющая подсистема имеет две или более подчиненных. Иерархическую структуру в которой имеется по крайней мере одна управляющая и одновременно подчиненная подсистема, называют многоуровневой.

Для многоуровневых иерархических структур справедливо следующее:

1. подсистема более высокого уровня имеет дело с более широкими аспектами поведения системы в целом;
2. время преобразования входных компонент метаболизма в выходные увеличивается с увеличением уровня управляющей подсистемы;
3. подсистемы более высоких уровней иерархической структуры имеют дело с более медленными аспектами поведения системы;
4. с повышением уровня подсистем увеличивается удельный вес информационной компоненты метаболизма и ее роль в функциональной деятельности системы.

Неиерархические структуры являются производными от многосвязной структуры, в которой каждая подсистема непосредственно взаимодействует с любой другой.

*Неиерархическими* называются структуры, которые удовлетворяют следующим условиям:

1. существует по крайней мере одна подсистема, которая не является ни управляющей, ни подчиненной;
2. не существует подсистемы, которая является только управляющей;
3. не существует подсистемы, которая является только подчиненной;
4. любая подчиненная подсистема непосредственно взаимодействует более чем с одной управляющей (обратное необязательно).

Важная особенность неиерархической структуры состоит в том, что в ней нет подсистем, принимающих независимые от других подсистем решения. Кроме того, неиерархическая структура обычно обладает следующими свойствами:

1. любая подсистема может влиять на все аспекты поведения системы;
2. время преобразования входных компонент метаболизма в выходные слабо зависит от положения подсистемы в структуре;
3. функции подсистем легче изменяются в процессе взаимодействия.

Введем понятие лидерства.

*Лидирующей* называется подсистема, удовлетворяющая следующим требованиям:

1. подсистема не имеет детерминированного взаимодействия ни с одной подсистемой;
2. подсистема является управляющей (при непосредственном или опосредованном взаимодействии) по отношению к части (наибольшему числу подсистем);
3. подсистема либо не является управляемой (подчиненной), либо управляется наименьшим (по сравнению с другими) числом подсистем.

Лидирующих подсистем может быть больше одной, при нескольких лидирующих подсистемах возможна главная лидирующая подсистема. Подсистема высшего уровня иерархической структуры одновременно должна быть главной лидирующей, если же этого нет, то предполагаемая иерархическая структура либо неустойчива, либо не соответствует истинной структуре системы.

Смешанные структуры представляют собой различные комбинации иерархических и неиерархических структур. Стабильность структуры характеризуется временем ее изменения. Структура может изменяться без преобразования класса или преобразованием одного класса в другой. В частности, возникновение лидера в неиерархической структуре может привести к преобразованию ее в иерархическую, а возникновение лидера в иерархической структуре – к установлению ограничивающей, а затем детерминированной связи между лидирующей подсистемой и подсистемой высшего уровня. В результате этого подсистема высшего уровня заменяется лидирующей подсистемой, либо объединяется с ней, или иерархическая структура преобразуется в неиерархическую (смешанную).

*Равновесными* называются неиерархические структуры без лидеров. Чаще всего равновесными бывают многосвязные структуры. Равновесность не означает покомпонентной идентичности метаболизма, речь идет только о степени влияния на принятие решений.

*Вопросы и упражнения*

1. Каким условиям должна удовлетворять иерархическая структура?
2. Какие иерархические структуры называют многоуровневыми?
3. Какие системы описываются многоуровневыми иерархическими структурами?
4. Как связан информационный метаболизм подсистем более низкого уровня с функциональной деятельностью системы? Приведите пример.
5. Проанализируйте структуру системы учебная группа. Является ли она иерархической? Избыточной? Почему?
6. Приведите пример неиерархической структуры системы.
7. Каким условиям удовлетворяют неиерархические структуры? Каковы их свойства?
8. Какая подсистема называется лидирующей? Приведите примеры.
9. Приведите примеры смешанных структур. Равновесных и неравновесных.

Глава 7. Связи

**7.1. Классификация связей**

Структура реализуется при помощи связей. *Связями* называются подсистемы (элементы), осуществляющие непосредственное взаимодействие между другими подсистемами (элементами) и не принимающие решений. Связи переносят компоненты метаболизма из одной пространственной области в другую. При этом возможны некоторые преобразования этих компонент. Связи подразделяются на прямые и обратные.

Прямые связи подразделяются на следующие подклассы:

1. усиливающие (ослабляющие):

mвых=kmвх, где mвых, mвх –компоненты метаболизма, по которым осуществляется связь,

k- коэффициент связи (k>1-усиления, k<1 -ослабление).

1. ограничивающие:

,

1. запаздывающие:

mвых(t)=mвх(t-t1), где t1- время запаздывания,

1. селектирующие – разделяющие множество входных процессов по некоторым классам,
2. преобразующие:

mвых= Ф({mвх j}), j=1,…,n, где Ф – оператор преобразования.

Частным случаем преобразующих связей являются шумящие, среди которых важное значение имеют суммирующие и умножающие соответствующий входной компонент метаболизма на аналогичную ей по содержанию беспорядочную переменную. При наличии прямого контакта между взаимодействующими подсистемами взаимодействие может осуществляться без подсистемы связи.

Применяются различные формальные методы описания связей. В частности, одна из моделей связей содержит следующие компоненты: модель связи, модель согласования сигналов между передающими и принимающими элементами, модель преобразования сигнала в канале, модель поведения элемента под воздействием сигнала в канале.

*Вопросы и упражнения*

1. Что называют связями при описании структуры системы?
2. Приведите примеры прямой запаздывающей связи; обратной усиливающей связи; ограничивающей связи; селектирующей.
3. Какие связи называют преобразующими?
4. Приведите пример формального описания преобразующих связей.
	1. **Обратные связи**

Открытие инженерами принципа обратной связи явилось выдающимся в развитии техники. Процессы управления, адаптации самоорганизации самым непосредственным образом связаны с применением обратной связи, без них немыслимо существование живых систем. Обратная связь является динамическим фактором.

Ф

L

x

y

u

Рис 6. Принципиальная схема обратной связи.

Рассмотрим классификацию обратных связей. Прежде всего, выделим *положительную и отрицательную* обратные связи. Положительная обратная связь усиливает исходный процесс, отрицательная – ослабляет. В технике положительная обратная связь широко применяется для повышения чувствительности приборов, создания устойчивых колебательных процессов, поддержания какого-то процесса на заданном уровне.

*Пример 1.* Ламповый генератор электрических колебаний построен по принципу положительной обратной связи.

*Пример 2.* В физиологических, психологических и социальных процессах положительная обратная связь является одним из ведущих факторов. Человек раздражен, он сознает свою раздраженность, страдает от этого и раздражается еще больше. Процесс раздражения нарастает, самоконтроль ослабевает, возникают предпосылки для усиления раздражения, в конце концов – наступает разрядка – человек выходит из себя.

Положительная обратная связь интенсифицирует процесс до тех пор, пока он не будет ограничен внутренними, или внешними условиями. Если бы не было ограничений, процесс с положительной обратной связью нарастал бы до бесконечности. Ограничения возникают из-за насыщения, когда истощаются средства или силы (заполняется объем, используется ресурс и т.д.) или вступают в действие новые факторы, вызванные нарастанием самого процесса.

*Пример 3.* Типичные случай самопроизвольного (спонтанного) возникновения положительной обратной связи в военных условиях – ночная перестрелка во время затишья, характерная для окопной войны. Стоит кому-то случайно выстрелить, как возникает перестрелка, которая достигает определенной интенсивности, а затем быстро затухает.

Существуют примеры безответственного или бессознательного применения механизма положительной обратной связи: паника при стихийных бедствиях, массовый испуг, стресс, подозрительность и т.п.

Положительная обратная связь может играть как организующую, так и дезорганизующую роль. Появление положительной обратной связи между случайными процессами создает ситуацию, при которой часть процессов будет стимулироваться. В результате может самопроизвольно возникнуть эффективная организация. С другой стороны, возникновение обратной связи в хорошо организованных системах может привести к противоположному результату. Начиная от невинных и малозначительных событий, таких как лавинообразное распространение моды в обществе, и кончая развитием необузданных экстремистских социальных тенденций, везде в какой либо форме проявилась положительная обратная связь.

Если положительную обратную связь можно считать стимулирующим фактором, то отрицательная обратная связь – регулирующий фактор. Отрицательная обратная связь тормозит исходный процесс, не дает ему чрезмерно нарастать, но ослабляет свое действие как только основной процесс спадает. В результате основной процесс поддерживается в каких-то пределах. В технике отрицательная обратная связь применяется очень широко, а в автоматизированных системах управления это, вероятно, основной рабочий фактор. Живые организмы не могли бы существовать без отрицательных обратных связей, которые есть во всех без исключения механизмах внутренней регуляции физиологических и психических процессов и поведения. Не меньшая роль отрицательных обратных связей и в общественных процессах.

Совместное действие положительной и отрицательной обратной связи может оказать сильное формирующее влияние на процессы для поддержания их уровня при случайных внешних воздействиях. Такие схемы могут оказывать как стимулирующее, так и тормозящее действие, они способны быстро ликвидировать возникающие флуктуации, поэтому часто применяются в технике, в частности в электронике, химической технологии, автоматике. Совместное действие множества связей (прямых и обратных) лежит в основе гомеостаза. Исследование и описание комбинированных схем обратной связи представляет большие трудности, особенно если их много. Если они возникают самопроизвольно, то их сложно выявить. Найти в многосвязных системах (типа биологических или социальных) отдельные каналы обратных связей можно только при тщательном исследовании.

Когда обратных связей много, возникает качественный скачок, система приобретает принципиально новые свойства. При этом раздельное рассмотрение связей иногда теряет смысл, так как их действие перестает быть самостоятельным.

Мы не располагаем адекватным математическим аппаратом для описания совместного действия множества обратных связей и вынуждены прибегать к обобщенному описанию при помощи внешних характеристик результирующих процессов. Динамический эффект системы обратных связей таков, что при малом числе они действуют стабилизирующим (организующим) образом, при большом числе могут действовать противоположно, вызывая неустойчивость, а при очень большом числе действуют гомеостатически, т.е. создают множество устойчивых состояний, между которыми существуют значительные области неустойчивости. Поскольку гомеостаз искусственных систем и живых организмов определяется обратными связями, изучение гомеостаза может быть средством познания обратных связей.

Положительные и отрицательные обратные связи могут быть *гладкими и пороговыми.* Гладкие обратные связи действуют во всем диапазоне изменения выходного процесса. Пороговая обратная связь действует, когда процесс превышает некоторое значение (нижний порог) или не достигает допустимого значения (верхний порог). Пока процесс не достиг нижнего порога (или не превысил верхний), обратной связи как бы не существует. Возможна двух пороговая схема, когда обратная связь действует в пределах нахождения выходного процесса и не действует за пределами порогов.

*Пример 4.* Появление в воздухе нескольких самолетов - нарушителей правил (режима) полетов может вызвать самовозбуждение недостаточно организованной системы ПВО. При низкой эффективности радиолокационной системы, если число нарушителей режима полетов превысит допустимый порог, будет одновременно поднято много перехватчиков, часть из них может оказаться неправильно опознанными, по ним будут подняты новые перехватчики и т.д., пока в воздухе не окажутся все дежурные истребители, или кто-то из ответственных не поймет в чем дело. В данном случае положительная одно-пороговая обратная связь с нижним порогом обусловлена ошибочными данными радиолокационного опознавания, а отрицательная обратная связь с нижним порогом – интеллектом лица, принимающего решения. В процессе нарастания числа самолетов в воздухе его недоверие к данным нарастало, однако решение он принял, когда число превысило порог.

В различных системах живых организмов пороговые обратные связи являются основным средством регулирования. Защитные механизмы легко преодолевают инфекцию, когда число носителей заболевания незначительно, но не справляются с ударной дозой. Нервное возбуждение носит пороговый характер. В человеческом поведении также часто проявляются пороговые свойства.

Следующий признак классификации обратных связей – форма оператора L. Выделяют обратную связь, которая реагирует на производную от выходного процесса (y). Пока у изменяется медленно, ничего не происходит. Когда у начинает изменяться со скоростью больше пороговой величины, включится обратная связь и будет оказывать тормозящее или стимулирующее действие. На уменьшение выходного процесса обратная связь не реагирует, если порог установлен по положительной производной.

*Пример 5.* Примером может служить процесс обучения. Фактор обратной связи – поведение обучаемых. Если поток информации (х) нарастает медленно, то восприятие (у) идет нормально, материал усваивается и реакция обучаемых положительна. Постепенное наращивание объема и сложности материала (плотности информации) никаких отрицательных последствий не вызывает. Однако, когда плотность информации превышает порог восприятия, усвоение прекращается, так как срабатывает отрицательная обратная связь. Реакция обучаемых заставляет снизить темп, иногда даже ниже того уровня, который предшествовал превышению порога.

Обратная связь может реагировать на вторую или третью производную, на функцию от выходного процесса и нескольких производных, на интеграл и так далее, вообще говоря на любую функцию.

До сих пор речь шла о двусторонних обратных связях, симметричных относительно направления изменения выходного процесса или его производных, то есть реагирующих как на увеличение, так и на уменьшение. Могут быть обратные связи, чувствительные только к увеличению или только к уменьшению выходного процесса – односторонние обратные связи. Обратная связь может быть положительной относительно выходного процесса и отрицательной относительно производной, возможны и другие комбинации.

Односторонние обратные связи также могут быть гладкими и пороговыми, с постоянным или переменным порогом. Характерным свойством односторонней обратной связи является то, что система практически не может за счет внутренних сил вернуться к исходному положению: она не имеет статической устойчивости. Превышение порога приводит к необратимым изменениям, в результате которых система может некоторое время находиться в неустойчивом состоянии, а затем прийти снова к устойчивому, но уже при другом состоянии выходного процесса.

Специфическая тенденция необратимости систем с односторонними обратными связями имеет большое значение в производственных и общественных процессах.

Следующая группа обратных связей отличается по времени воздействия. Обратные связи могут быть *запаздывающими, опережающими и мгновенными* (когда обратная связь действует одновременно с тем фактором, который ее вызывает). Все эти виды обратных связей используются в технике, биологии, общественных отношениях.

Динамика действия запаздывающих обратных связей разнообразна и может привести к неожиданным последствиям. В частности, они могут вызвать периодические процессы или оказать тормозящее действие. Смысл опережающей обратной связи состоит в прогностическом влиянии. Расхождение между реальным процессом и прогнозом вызывает отклонение, которое может привести к дестабилизации системы.

*Пример 6.* Одним из примеров опережающей обратной связи является контроль и планирование производственных процессов. Анализ хода производства выявляет прогрессивные тенденции, которые в будущем могут дать положительный эффект. Обратная связь (положительная) состоит в устранении вероятных препятствий. Это усиливает прогрессивные тенденции, превращая их в основные факторы развития производства, повышения производительности труда, распространения положительных социальных явлений. При помощи отрицательной обратной связи можно подавить вредные тенденции. Примерами положительной опережающей обратной связи в производстве могут служить внедрение рационализаторских предложений и изобретений, переподготовка и повышение квалификации личного состава – все это дает эффект в будущем. Бюрократизм, рутина, консерватизм могут сыграть роль оперержающей отрицательной обратной связи.

Мгновенные обратные связи действуют без запаздывания и без опережения. Термин “мгновенные” применяется условно и означает, что величина смещения во времени не имеет практического значения. Для реализации мгновенной обратной связи необходимо, чтобы время выявления изменений процесса было пренебрежимо мало.

*Вопросы и упражнения*

1. В чем состоит значение открытия принципа обратной связи?
2. Приведите примеры положительной и отрицательной обратной связи.
3. Приведите примеры дезорганизующей роли обратной связи.
4. Как в примере 2 использовать обратную связь для стабилизации процесса?
5. Как происходит развитие системы при нарастании количества и интенсивности обратных связей?
6. Какие обратные связи называются гладкими? Приведите пример.
7. Какие обратные связи называются пороговыми? Приведите пример.
8. Как обратные связи различают по форме L-оператора?
9. Приведите пример двусторонних обратных связей.
10. Приведите примеры запаздывающих, опережающих и мгновенных обратных связей.

Литература

1. Перегудов Ф. И., Тарасенко Ф. П. Введение в системный анализ. - М.: Высшая школа, 1989, 367 с.

2. Николаев В. И., Брук В. М. Системотехника: методы и приложения.-Л.: Машиностроение, 1985, 199 с.

1. Бусленко Н. П., Калашников В.В.,. Коваленко И.Н. Лекции по теории сложных систем. М: Сов. радио, 1973, 440 с.
2. Бусленко Н. П.. Моделирование сложных систем. М.: Наука, 1978, 400 с.
3. Острейковский В.А. Теория систем.-М.:Высш. шк., 1997.-240 с.