

2. Основы теории систем

2.1. Основные понятия

Система

это определенным образом упорядоченная материально-энергетическая совокупность, существующая и управляемая как единое целое за счет взаимодействия, распределения и перераспределения вещества, энергии и информации, имеющих, поступающих извне и продуцируемых этой совокупностью, при условии преобладания внутренних связей над внешними.

Классификации систем

По происхождению

- природные (естественные);
- техногенные (искусственные).

Природная система

пространственно ограниченная
совокупность функционально
взаимосвязанных живых организмов и
окружающей их среды,
характеризующаяся определенными
закономерностями энергетического
состояния, обмена и круговорота
веществ.

Природные системы

- Биологические живые системы, т.е. отдельные биологические элементы или их совокупности в зависимости от уровня рассмотрения. Так, например, на суборганизменном уровне эти системы представляют собой клетки, ткани, органы, на организменном уровне – непосредственно сам организм; на надорганизменном уровне - стая, популяция.
- Биокосные системы, т.е. природные системы, образовавшиеся в результате взаимодействия биологических живых систем с окружающей их средой. Например, биосфера.

Природные системы

- Биологические живые системы, т.е. отдельные биологические элементы или их совокупности в зависимости от уровня рассмотрения. Так, например, на суборганизменном уровне эти системы представляют собой клетки, ткани, органы, на организменном уровне – непосредственно сам организм; на надорганизменном уровне - стая, популяция.
- Биокосные системы, т.е. природные системы, образовавшиеся в результате взаимодействия биологических живых систем с окружающей их средой. Например, биосфера.

Природно-техногенные (геотехнические) системы

совокупность природных и техногенных объектов, во взаимосвязи и взаимозависимости за счет обмена веществом, энергией и информацией.

По внутренней сложности

- Морфологические;
- Каскадные;
- Процессорные;
- Управляемые.

Морфологические системы

системы, содержащие одновременные по внешнему проявлению физические свойства, совокупность которых образует различимую и определяемую часть физической реальности. Морфологические (структурные) изменения в такой системе являются следствием изменения отдельных переменных в результате преобладания отрицательной обратной связи между её составляющими и взаимодействия с окружающей средой

Каскадные системы

системы, состоящие из цепи подсистем динамически связанных между собой перепадом массы, энергии или информации. В этом случае выходные параметры предыдущей подсистемы цепи являются входными для последующей. При изучении указанных систем основное внимание уделяется исследованию выходных параметров системы как функции входных.

Процессорные системы

системы, образующиеся путем сочетания морфологических и каскадных систем при доминирующей роли отрицательной обратной связи.

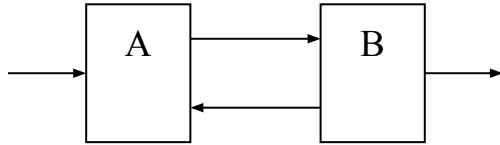
Обратная связь

свойство системы (блока) реагировать на вызванное входным воздействием изменение одной или нескольких переменных, таким образом, что в результате процессов внутри системы это изменение вновь воздействует на ту же или те же переменные.

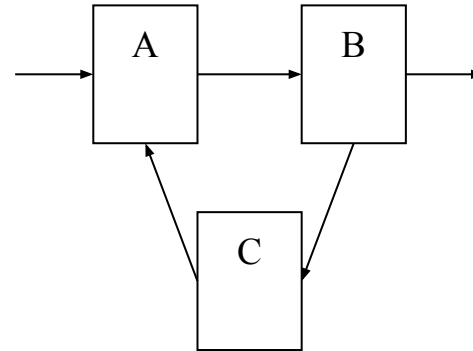
Виды обратных связей

- **по способу воздействия:**
 - прямая (когда обратное воздействие оказывается без участия переменных (блоков) – посредников);
 - контурная (когда обратное воздействие оказывается с участием переменных (блоков) – посредников).

а



б



Принцип обратной связи

а – прямая обратная связь; б – контурная обратная связь.

Виды обратных связей

- **по воздействию на первичные изменения переменных:**
 - Отрицательная обратная связь, т.е. когда полученный извне импульс образует замкнутую цепь и вызывает затухание (стабилизацию) первоначального воздействия;
 - Положительная обратная связь, т.е. когда полученный извне импульс образует замкнутую цепь и вызывает усиление первоначального воздействия.

Управляемые системы

это процессорные системы, включающие в себя переменные, допускающие изменения в распределении массы, энергии и информации в каскадных подсистемах и вызывающие изменения равновесия в морфологических подсистемах.

2.2. Структура систем

Основные понятия

- Блок – это функциональная составляющая системы, обладающая определенной емкостью, т.е. количеством одновременно находящихся в ней вещества, энергии, информации, в которой осуществляются процессы метаболизма.
- Поток – это вектор, скалярной величиной которого является масса, энергия или информация входных и выходных параметров, переносимых между блоками системы.

Блоки представляют собой достаточно сложные элементы, обладающие определенной структурой и свойствами, т.е. по сути являются подсистемами. Поэтому, их в сочетании с принадлежащими им потоками, при определенных допущениях можно рассматривать как самостоятельные системы.

Поток в структуре систем занимает двойственное положение: с одной стороны, он является продуктом системы и зависит от процессов метаболизма, протекающих в блоках этой системы; с другой стороны, именно он обеспечивает взаимодействие и взаимосвязь блоков между собой, т.е. выступает в роли «строителя» системы.

Отличительные характеристики систем

Размер

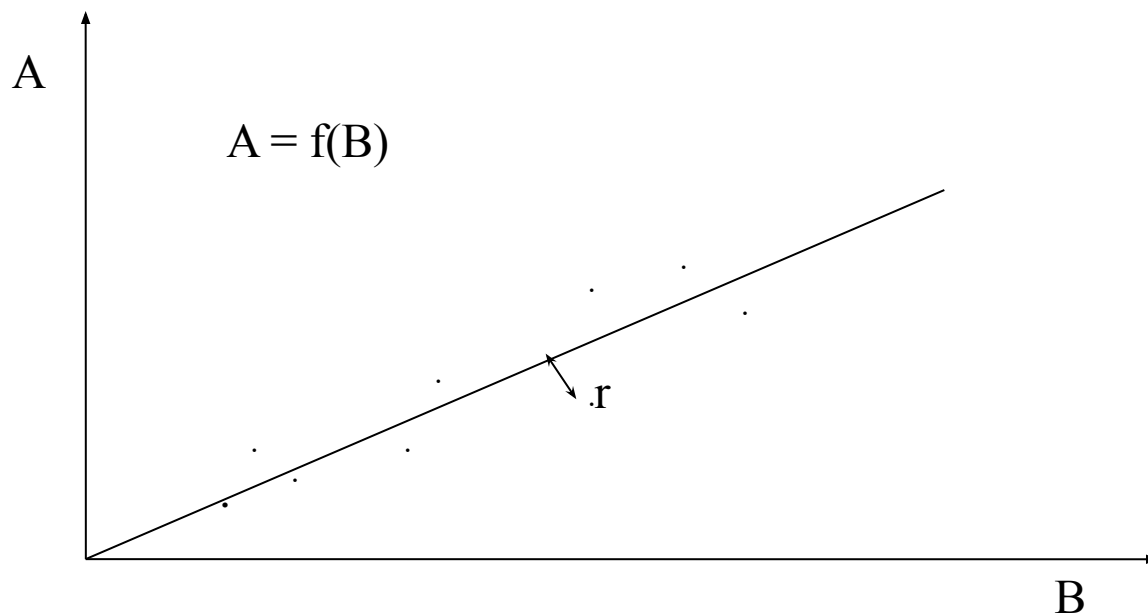
число переменных, из которых состоит система. При этом каждая переменная рассматривается как «черный ящик» хотя и обладает определенным набором собственных переменных, т.е. по сути является подсистемой.

Корреляция переменных

точность соответствия генерализованного направления эмпирическим данным. Эта характеристика определяется с помощью ряда признаков.

Признаки корреляции переменных

- Мощность критерия – степень совпадения точек, соответствующих эмпирическим обозначениям на графике с линией регрессии, отражающей генерализованное направление. Выражается коэффициентом корреляции r , значение которого тем ближе к единице, чем точнее эмпирические точки совпадают с линией регрессии. При этом несоответствие указанных точек называют шумом.



Корреляция между переменными A и B.
Точки – эмпирические данные;
График – линия регрессии, отражающей
генерализованное направление.

Признаки корреляции переменных

- Знак коэффициента корреляции - критерий, указывающий, будет увеличиваться (положительный) или уменьшаться (отрицательный) значение одной переменной при изменении значения другой.
- Чувствительность – критерий, характеризующий величину изменения значения одной переменной, которая вызовет изменение значения другой.
- Вероятность – адекватность корреляции переменных изменению тех или иных параметров системы во всем рассматриваемом диапазоне.

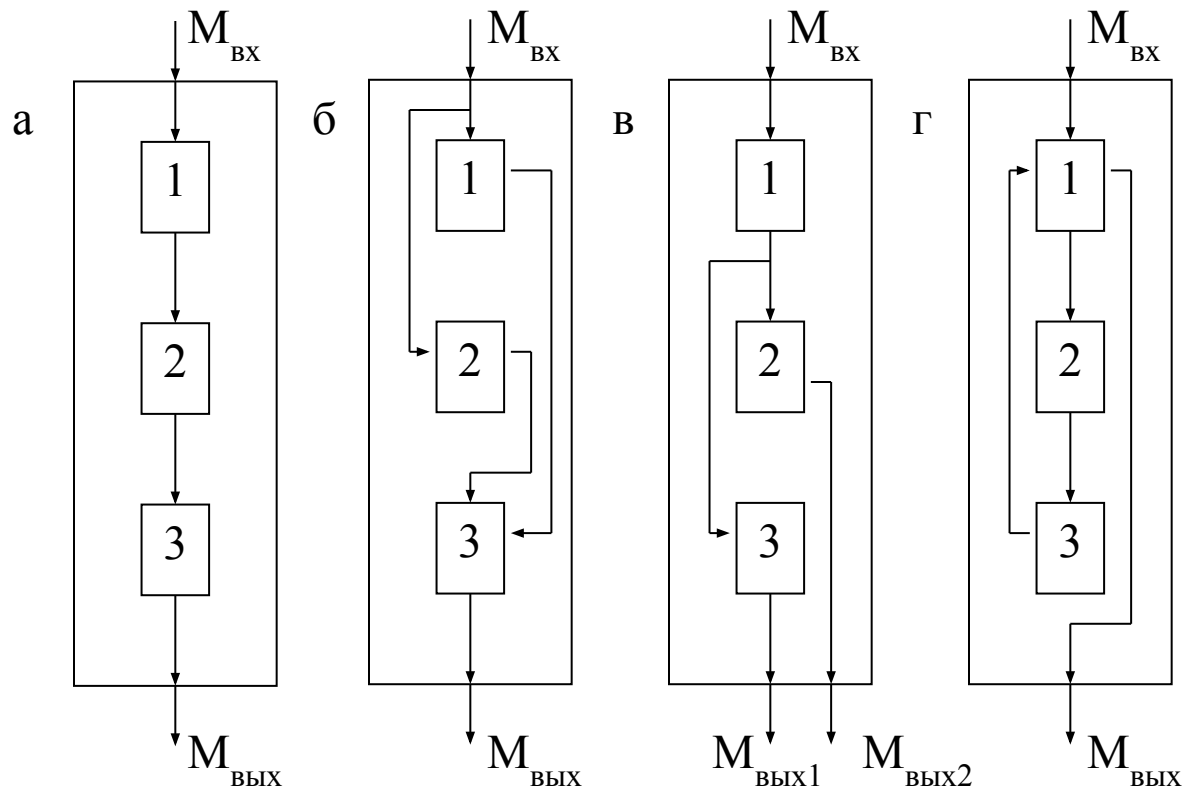
Причинность

характеристика, указывающая, какая из переменных является независимой (управляющей), а какая зависимой (управляемой). Выявляется обычно в результате опытной проверки функционирования системы.

Конфигурация системы

характеристика, определяемая особенностями взаимодействий между переменными (блоками) системы. Так, если одну или несколько переменных связать между собой или с другими переменными, то эта связь будет выражаться вектором, который может быть результатом сложения (вычитания) переменных или их наложения (усиления). В связи с этим, системы по конфигурации могут быть прямыми (цепными или линейными), разветвленными (сходящимися или расходящимися), циклическими или комбинированными (т.е. образованные сочетанием указанных типов).

Наиболее важными аспектами конфигурации систем являются характерные блоки (переменные), которые рассматриваются с точки зрения обратной связи.



Основные типы конфигурации систем

а – прямая система; б – разветвленная сходящаяся система;
 в – разветвленная расходящаяся система; г – циклическая система;
 1,2,3 – переменные (блоки) системы;
 $M_{\text{ВХ}}$, $M_{\text{ВЫХ}}$ – соответственно входные и выходные параметры системы.

Выход системы

совокупность выходных (целевых) параметров системы. Он может быть двух типов:

- Реальный выход, т.е. выраженный в виде массы, энергии, информации;
- Иррациональный выход, т.е. это изменение формы, структуры, состояния системы в ответ на какое-то внешнее (входное) воздействие.

Обычно эти два типа выходов в той или иной форме проявляется одновременно.

2.3. Состояние системы

Основные понятия

Уровень – это количество массы, энергии, информации заключенное в переменной (блоке) или в системе в целом в данный момент времени.

Уровни не остаются постоянными, они претерпевают те или иные изменения. Скорость, с которой происходят эти изменения принято называть темпом.

Темпы определяют активность, интенсивность и скорость осуществления процессов преобразования, накопления, передачи и т.д. вещества, энергии, информации, протекающих внутри системы.

Темпы и уровни взаимосвязаны, но их взаимосвязь не однозначна. С одной стороны темпы порождают новые уровни, которые в свою очередь, оказывают влияние на темпы, т.е. регулируют их.

Роль обратной связи

Отрицательная обратная связь представляет собой одну из форм саморегуляции, обеспечивающую динамическое равновесие в системе. Положительная обратная связь в природных системах проявляется обычно в виде относительно кратковременных всплесков саморазрушающей деятельности.

Преимущественно отрицательный характер обратной связи свидетельствует, что любое изменение в условиях окружающей среды приводит к изменению переменных системы и служит причиной перехода этой системы в новое равновесное состояние, отличное от первоначального. Этот процесс саморегуляции принято называть гомеостазом.

Характеристики способности восстановления равновесия

- Устойчивость системы, т.е. характеристика, указывающая какой величине изменения внешнего воздействия (импульса воздействия) соответствует допустимое изменение переменных системы, при котором возможно восстановлено равновесия;
- Стабильность системы, т.е. характеристика, определяющая максимально допустимое изменение переменных системы, при котором возможно восстановления равновесия.

Цель регуляции в системе (закон максимума потенциальной энергии):

эволюция системы идет в сторону увеличения суммарного потока энергии через систему, а в стационарном состоянии достигается его максимально возможное значение (максимум потенциальной энергии).

2.4. Модели систем

Основные типы моделей

по средствам (инструментам) моделирования

- Логические - словесные, морфологические, описательные модели;
- Графические – рисунки, фотографии, схемы, планы, карты, изолинии, графики и диаграммы состояния контролируемых параметров;
- Физические – натуральные аналогии систем, трехмерные изображения, макеты, гидравлические, электростатические аналогии и др.;
- Математические – уравнения графиков или диаграмм состояния, системы уравнений, описывающие изменения отдельных параметров или состояния системы в целом.

по степени раскрытия структуры СИСТЕМЫ

- Модель «черный ящик», т.е. модель, в которой система рассматривается как единое целое без учета её структуры и процессов, протекающих внутри нее;
- Модель «серый ящик», т.е. модель, подразумевающая частичное рассмотрение ограниченного числа составляющих подсистем и основных процессов их связывающих и влияющих на выходные параметры системы в целом.
- Модель «белый ящик», т.е. модель, максимально полно исследующая всю внутреннюю структуру системы и все процессы, протекающие в ней с целью получения наиболее детальной информации относительно способа влияния данного входного параметра на тот или иной выходной параметр системы.

Процесс моделирования систем сопряжен с рядом технических, концептуальных и психологических проблем, определяющих точность получаемых результатов. Поэтому любые модели неминуемо упрощены и функционально неадекватны реальному объекту по параметрам перехода количественных характеристик в качественные в соответствии с принципом внутреннего динамического равновесия. Таким образом, модели дают лишь вероятностный сценарий процесса, ограниченный действием закона неполноты информации.

Несмотря на приведенные недостатки моделирования, методы системного анализа сочетающие в себе логику системного подхода с математическим моделированием, получили в последние годы широкое распространение.

Компартментальные модели

Эти модели подразумевают, что вещество, энергия, информация равномерно распределены в некоторых объемах пространства с постоянной концентрацией. Вещество, энергия, информация, характеризующиеся некоторой количественной мерой и участвующие в процессах транспорта и метаболизма как самостоятельные единицы, называются компартментом.

- В общем случае компартментные системы содержат несколько связанных между собой компонентов. В них протекают 3 типа процессов, описываемых известными законами:
- Обмен компонентами между отдельными компартментами или корпартментами и внешней средой.;
- Трансформация одних компонентов в другие;
- Процессы, приводящие к исчезновению каких-либо компонентов.
- При моделировании системы, в качестве компартментов

2.5. Управление системами

Основные типы задач

- Анализ;
- Синтез.

Анализ

заключается в определении на выходе для конкретного заданного объекта его обобщенных свойств и состояния при известном воздействии (возмущении).

Синтез

ставит задачу выбора такого управляющего устройства (регулятора), при котором объект в сочетании с регулятором обеспечивает заданные выходные характеристики. При этом синтезируется новая система управления.

Основные требования к системам управления

- Система управления должна быть устойчивой, т.е. отклонения в системе, вызванные влиянием возмущающих входных сигналов, должны затухать со временем;
- Реакция системы на входные сигналы, определяющая её свойства, должна отличаться быстротой протекания переходных процессов, малыми отклонениями установившегося состояния от заданных значений и т.д.

Синтез системы управления, обеспечивающей наилучшие из возможных характеристик, является задачей оптимального управления. Для создания такой системы необходима, по возможности, максимально полная информация об объекте и окружающей его среде. Задача синтеза систем управления с заданными значениями выходных параметров и критериями, решается в условиях неполноты информации о возмущающих и управляющих параметрах, так как параметры управления и переменные внешней среды могут быть неизвестными или изменяться неизвестным образом. Такие системы принято называть адаптивными. Их особенность заключается в изменении параметров управляющей системы в ответ на изменение характеристик объекта (эндогенные величины) или внешней среды (экзогенные величины).

Если после достаточно малого возмущения в объекте устанавливается тот же режим, что и до начала действия возмущения, то процесс называется

Задача управления системой

выбор лучшего варианта состояния из ряда возможных, т.е. к оптимизации системы, другими словами, к достижению экстремума функционала системы.

Определяя цели управления природными и природно-техногенными системами необходимо учитывать, что они многофункциональны, и обеспечить одновременно оптимальность всех процессов, протекающих в них, не представляется возможным. На этом основании следует говорить о достаточности в каждой конкретной ситуации не оптимального, а лишь удовлетворительного результата. Кроме того, в живых природных системах нет жестких ограничений, так как в результате процесса адаптации система может переходить на другой уровень, ослабляя ограничения. Поэтому в биологических системах достаточно обеспечить для организмов состояния или величины параметров системы, лежащие в заданных пределах (соответствие экологической нише). Это справедливо и для природных подсистем природно-техногенных систем.

2.6. Системный подход в природообустройстве

Сущность системного подхода

Каждый элемент окружающей среды рассматривается как система определенного уровня с учетом всех возможных взаимодействий с другими элементами этой среды.

Основной инструмент системного подхода

Системный анализ, т.е. совокупность методов и средств, предназначенных, прежде всего для выработки, принятия и обоснования решений при проектировании, создании и управлении различными системами. Системный анализ часто применяется к исследованию систем, возникших при участии человека и существующих при активном его воздействии. Системный анализ рассматривает проблему создания и управления такими системами как нечто целое; при этом необходимо определить цели, как всей системы, так и отдельных подсистем; очертить множество альтернативных путей достижения этих целей и в соответствии с некоторыми критериями выбрать наиболее эффективный. Системный анализ очень часто использует моделирование рассматриваемых систем как наиболее эффективное средство, во-первых, для изучения сложных объектов, а во-вторых, для прогнозирования поведения систем с учетом различных сценариев управления и других воздействий. Системный анализ опирается на системный подход и общую теорию систем.

Основные проблемы теории больших систем

Проблема языка

заключается в формировании системы понятий, необходимых и достаточных для обсуждения вопросов, относящихся к большим системам.

Проблема модели

подразумевает все задачи построения идеализированных (упрощённых) моделей реальных систем, пригодных для теоретического и экспериментального изучения их свойств. Основные задачи здесь сводятся к тому, чтобы заменить реальные системы, исследовать которые невозможно вследствие их большой сложности, системами более простыми и доступными для теоретических исследований. Главная трудность состоит в том, что создаваемые модели должны быть достаточно сложными, чтобы их свойства в нужной мере соответствовали свойствам оригиналов, и в то же время настолько простыми, чтобы их можно было описать и решать нужные задачи, пользуясь составленными описаниями. Это в полной мере относится к проблеме моделирования природных процессов при обустройстве природы.

Проблема декомпозиции

расчленение исходной системы на относительно обособленные части. Задача управления большой системой существенно упрощается, если представить её в виде некоторого множества задач управления частями системы.

Проблема агрегирования

объединение нескольких показателей одним, сводным, с целью упрощения решения задач управления большими системами;

Проблема стратегии

выбор способа оценки состояния системы
и среды.

Прикладные задачи

- Функциональные задачи - мероприятия, обеспечивающие выполнение системой её назначения и поддержание её работоспособности, развития системы.
- Операционные задачи – планирование технологических операций, управления потоками вещества в технических системах.