

Системный анализ и принятие решений

## Лекция 14

Исследование сложных систем  
и пример функциональных  
систем гомеостатического типа

Коробов Александр Сергеевич

710-4271

sa\_k310@mail.ru

# Классификация задач исследования

- Совокупность задач, возникающих в связи с исследованием сложных систем, разбивается на два класса: *анализ* и *синтез* систем.
- При этом задача **анализа** состоит в изучении поведения и свойств системы, если заданы: характеристики внешней среды, структура системы (модель), характеристики системы (численные значения параметров).
- Очень часто задачи анализа сводятся к расчету численного значения показателя эффективности системы.
- Задача **синтеза** заключается в выборе оптимальных в том или ином смысле структуры системы или внутренних ее параметров при заданных характеристиках внешней среды и с учетом ограничений, накладываемых на систему. Иногда задача синтеза ставится как задача отыскания структуры системы или ее внутренних параметров, доставляющих заданное значение критерию эффективности.
- Из приведенного выше определения ясно, что необходимость решения задач синтеза возникает на этапе проектирования системы (синтез структуры системы) и в процессе ее эксплуатации (задача отыскания оптимального управления).

# Основные этапы исследования

- Выделим основные этапы исследования:
  1. Формулирование задачи исследования
  2. Формализация задачи
  3. Исследование разрешимости задачи
  4. Разработка алгоритма решения задачи
  5. Реализация разработанного алгоритма

# Формулирование задачи исследования

- Исследование системы начинается с формулировки задачи исследования, в которой должна быть раскрыта основная цель исследования и сжато сформулированы основные условия, при учете которых решается задача.
- Следующий этап — содержательное описание и точная постановка задачи.
- Здесь необходимо четко определить основное содержание проблемы, установить границы ее решения, выявить основные факторы, влияющие на исследуемые процессы или систему, и определить отношения между ними. В сущности этот начальный этап исследования является самым важным, ибо правильное решение любой проблемы зависит прежде всего от того, насколько верно понято, что в действительности она собой представляет и в чем ее сложность.
- В результате этого этапа проработки задачи исследователь должен:
  - ясно понимать цель и назначение исследуемой системы,
  - выявить информацию об учитываемых параметрах внешней среды и системы,
  - установить совокупность допущений, в рамках которых решается задача.
- Задача может считаться поставленной точно, если используемая для решения информация является полной (достаточной для получения результата) и непротиворечивой. На этом же этапе осуществляется выбор критерия для оценки эффективности исследуемой системы.

# Формализация задачи

- Состоит в следующем:
  - разрабатывается модель системы;
  - осуществляется аналитическое представление выбранного критерия эффективности
- **Выбор критерия** для оценки эффективности системы. В соответствии с основным принципом теории исследования операций критерий выбирается в строгом соответствии с задачей, решаемой системой. В связи с этим совершенно ясно, что для правильного выбора критерия оценки эффективности системы необходимо совершенно четко представлять назначение системы и характер выполняемых ею функций. Правильно выбранный критерий должен быть количественным; критичным по отношению к конкретным значениям основных параметров внешней среды и исследуемой системы; эффективным в статистическом отношении (обладать малой дисперсией); иметь возможно более простое аналитическое выражение.

# Разработка модели системы

- Модель системы, получаемая на этапе формализации, должна обладать следующими свойствами:
  - независимость результатов решения задачи в соответствии с выработанной моделью от конкретного физического истолкования смысла элементов этой модели, т. е. от физической природы объекта, описываемого выработанной моделью;
  - содержательность, т. е. способность модели отражать существенные стороны и свойства изучаемого реального процесса;
  - дедуктивность, т. е. возможность конструктивного использования модели для получения результата с использованием средств и методов научной области, в терминах которой формализована задача (построена модель).
- При разработке модели необходимо: выявить факторы, оказывающие влияние на ход исследуемого процесса или его результаты; выбрать те из них, которые поддаются формализованному представлению (т. е. могут быть выражены количественно); объединить по возможности выявленные факторы по общим признакам, сократив их перечень; установить количественные соотношения между ними.
- При разработке модели изучаемого явления необходимо добиться разумного компромисса, по замечанию Беллмана, «между западней переупрощения и болотом переусложнения», обеспечив возможность получения нетривиальных результатов, не выхолащивая существа реального процесса.

# Исследование разрешимости задачи

- состоит из нескольких подэтапов:
  - исследование принципиальной разрешимости;
  - выбор метода решения;
  - исследование технической осуществимости и целесообразности решения задачи выбранным методом.
- При исследовании принципиальной разрешимости необходимо установить, имеются ли среди средств и методов научной области, в терминах которой построена модель, такие, что при их использовании возможно получение результата. Если принципиально невозможно получить решение таким образом, необходимо вернуться к этапу формализации задачи или даже к более ранним этапам проработки, ибо в этом случае модель не удовлетворяет требованию дедуктивности.

# Исследование разрешимости задачи (продолжение)

- *Выбор метода решения задачи:* если входная информация, исследуемая при решении задачи, является заведомо неполной и неточной, возникает сомнение в целесообразности использования для решения задачи точных методов. Очень часто в условиях неопределенности входной информации получение удовлетворительных результатов обеспечивают приближенные методы решения, преимущество которых перед точными состоит в существенно большей простоте реализации.
- *Техническая осуществимость:* Проработка этого вопроса ведется на основании информации о технической оснащенности вычислительного процесса. Если количество операций, необходимых для проведения вычислительной процедуры, оказывается столь большим, что осуществить ее имеющимися вычислительными средствами в приемлемое время невозможно, то нужно вернуться к одному из более ранних этапов проработки задачи.
- *Целесообразность решения:* Решение задачи нецелесообразно, если результат решения устаревает к моменту его получения и его использование не имеет смысла.



# Разработка алгоритма решения задачи

- Алгоритм представляет собой конечный упорядоченный набор точных правил, указывающих, какие действия и в каком порядке необходимо выполнить, чтобы после конечного числа шагов получить решение.

# Реализация разработанного алгоритма

- На этом этапе разработанный, удовлетворяющий требованиям алгоритм программно реализуется на цифровой вычислительной машине.
- После выполнения алгоритма приступают к анализу, полученных результатов. На этом этапе легче всего вскрываются недостатки проработки задачи на всех предшествующих этапах.
- Если полученные результаты удовлетворяют предъявляемым требованиям, то переходят к этапу использования результатов; если же результаты неудовлетворительны, то следует возвратиться к одному из предыдущих этапов проработки.
- Заключительный этап - *использование результатов решения задачи* - не требует пояснений.

# Классификация методов анализа СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

- Для решения задач анализа систем может быть использован общий подход к исследованию систем, изложенный выше. Однако этот общий подход может быть реализован различно в зависимости от конкретной задачи исследования системы.
- Выделим два различных подхода:
  - Микроподход
  - Макроподход

# Микроподход

- Применение этого метода сводится к исследованию отдельных элементов (ячеек), из совокупности которых состоит система.
- Выбор этих элементарных ячеек неоднозначен и определяется задачами исследования и системой. При использовании микроподхода изучается структура каждого из выделенных элементов системы, их функция, совокупность и диапазон возможных изменений параметров, после чего делается попытка понять процесс функционирования системы в целом.
- Задачи микроподхода состоят, таким образом, в следующем:
  - выявление элементов исследуемой системы;
  - изучение структуры выделенных элементов;
  - раскрытие функции каждого из элементов; к
  - выявление связей между элементами.

# Микроподход (продолжение)

- Важно отметить, что возможности микроподхода в отношении исчерпывающего исследования сложных систем управления ограничены в силу следующего обстоятельства. Практическая реализация наиболее важного этапа микроподхода —выявление элементов системы—сопряжена с необходимостью преодоления противоречия между желанием возможно более детального изучения каждого из элементов системы и реальными возможностями установить при этом структуру системы в целом и характер ее функционирования.
- Действительно, если «размеры» элементов выбрать большими, задача установления связей между ними и их взаимодействия в интересах анализа системы в целом будет решаться легко, однако при этом будет затруднено изучение каждого из элементов. Можно, наоборот, каждый из элементов системы выбрать столь малым, что изучить его индивидуальную структуру будет сравнительно просто. Однако совокупность связей между элементами и описание их взаимодействия при этом могут оказаться настолько сложными, что решение задачи анализа системы в целом достигнуто не будет.

# Макроподход

- При макроподходе сложная система управления рассматривается как «черный ящик», внутреннее строение которого неизвестно. Такая ситуация имеет место, например, при изучении недоступных управляющих систем (например, противника) или систем, строение которых изучено недостаточно полно (например, в биологии).
- Сущность макроподхода определяется специфическими особенностями сложных систем управления.
- В процессе макроподхода исследователь имеет возможность, воздействуя различным образом на вход системы, анализировать ее реакцию на соответствующие входные воздействия. Чем больше разнообразных воздействий поступает на вход системы, тем детальнее можно выяснить природу изучаемой системы.
- При этом мощность множества входных воздействий принципиальным образом связана с разнообразием состояний выходов системы. Если на каждую новую комбинацию входных воздействий система реагирует непрогнозируемым образом, испытание системы необходимо продолжать. Успешно справиться с разнообразием выходов системы можно только при помощи разнообразия входов

# Макроподход (продолжение)

- В процессе макроподхода исследователь сознательно ограничивается анализом поведения системы лишь на множестве интересующих его воздействий, т. е. лишь в тех ситуациях, реакция системы в которых представляет практическую важность.
- При использовании макроподхода для анализа сложных систем необходимо учитывать ряд важных обстоятельств:
  - при исследовании многих реальных систем стоимость каждого эксперимента может быть столь высока, что их число не может быть слишком большим;
  - измерение любой экспериментальной величины всегда осуществляется при воздействии помех, в силу чего результат эксперимента — случайная величина;
  - условия проведения эксперимента могут меняться от одного эксперимента к другому
  - общее количество экспериментов может ограничиваться не только стоимостью, но и какими-либо другими факторами (например, пропускной способностью системы измерений и ограниченностью допустимого интервала измерений).

# Задачи решаемые с помощью макроподхода

- Макроподход позволяет решить следующие задачи:
  - выявить макрофункцию системы как отображения множества входных воздействий на множество реакций системы
  - изучить целевое назначение системы,
  - исследовать коды входной и выходной информации,
  - исследовать связи изучаемой системы с другими системами в процессе ее функционирования.
- Практические возможности использования этого метода часто ограничены трудностью, а иногда и невозможностью воспроизведения в натурном эксперименте условий функционирования исследуемой системы, близких к реальным.



# Сущность систем управления организмом

- Утверждение, что некоторые физиологические переменные — такие, как глубокая температура тела, давление, рН крови и концентрация в ней глюкозы, — подвержены гомеостатическому регулированию, предполагает следующее.
  - Во-первых, должны существовать средства для сенсорной «регистрации» изменений регулируемой переменной (вход).
  - Затем нужны какие-то средства для расшифровки и интеграции этой сенсорной информации, чтобы выдавать адекватные поправки.
  - Наконец, необходимы эффекторные механизмы (выход), противодействующие вызванному извне отклонению переменной настолько, чтобы вернуть ее в допустимые пределы.

# Схема связей между входными и выходными сигналами и центральной нервной системой



# Описании рисунка

- На рис. представлены взаимосвязи между этими тремя основными компонентами системы управления у млекопитающих.
- Интеграция практически целиком возложена на центральную нервную систему (ЦНС).
- Сенсорные органы вне ЦНС (называемые для простоты «периферическими») передают ЦНС по афферентным (сенсорным) нервным волокнам информацию об изменениях как внешней, так и внутренней среды.

# Описании рисунка (продолжение)

- В самой ЦНС, кроме того, многие участки чувствительны к специфическим изменениям состава крови (это «центральные рецепторы»).
- Информация от периферических сенсорных органов и центральных рецепторов составляет «входной сигнал» для ЦНС.
- На основании этой информации ЦНС вырабатывает адекватный выходной сигнал, который вызывает соответствующие реакции в эффекторных тканях и тем самым обеспечивает необходимые поправки.

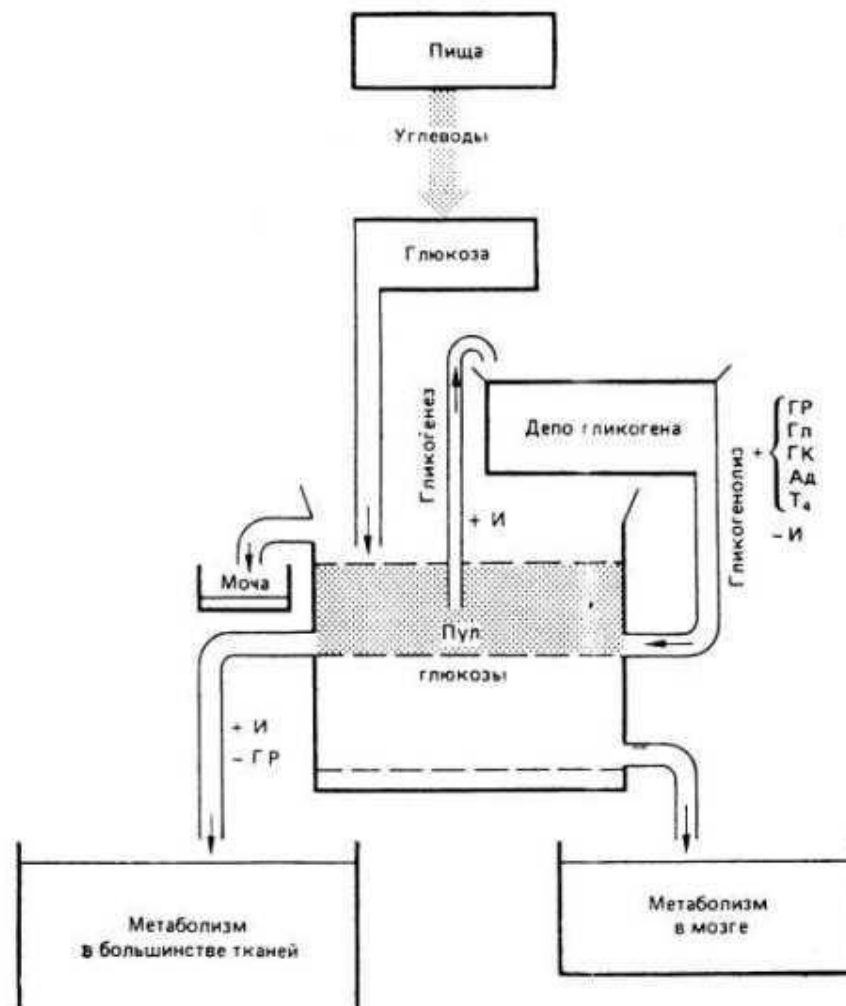
# Обратная связь

- Возьмем для примера обычную лабораторную водяную баню с термостатом, установленным на  $37^{\circ}\text{C}$ .
- Вода в бане отдает тепло окружающей среде и остывает, но, как только температура падает ниже  $37^{\circ}\text{C}$ , включается нагреватель и поднимает температуру вновь до  $37^{\circ}\text{C}$ , после чего нагреватель отключается, и весь цикл повторяется.
- Это простой пример отрицательной обратной связи: результат деятельности нагревателя, т. е. повышение температуры воды, сам по себе обеспечивает выключение нагревателя.
- На языке кибернетики, выход системы определяет ее вход.
- Однако это происходит строго определенным образом, а именно путем уменьшения отклонения действительной температуры воды (которая ниже  $37^{\circ}\text{C}$ ) от заданного значения.

# Обратная связь (продолжение)

- Обычное горение можно рассматривать как пример положительной обратной связи: повышение температуры способствует распространению пламени;
- Аналогичный процесс — цепная реакция в ядерной физике.
- Таким образом, обратная связь возникает, когда последствие системы (выход) возвращается на один из ее входов, тем самым оказывая влияние на последующий выход.
- Поэтому такая система способна
  - оценить достигнутое
  - сравнить его с тем, что должно быть достигнуто
  - и в случае отрицательной обратной связи скорректировать свой выход должным образом, чтобы свести к минимуму отклонение достигнутого от цели.

# Регуляция содержания глюкозы в крови млекопитающих



# Описание рисунка

- Гормоны:
- стимулирующие ( + )
- тормозящие (—)
- отдельные процессы, обозначены сокращенно:
- И — инсулин,
- ГР — гормон роста,
- Гл — глюкагон,
- ГК — глюкокортикоиды,
- Ад — адреналин, Т4 — тироксин



# Описание рисунка (продолжение)

- На рис. представлена сильно упрощенная гидравлическая модель циркуляции глюкозы в крови — кровяной пул глюкозы и его связь с депо гликогена в организме.
- Концентрация глюкозы в крови представлена как уровень жидкости в баке. Уровень этот, очевидно, зависит от алгебраической суммы притока и оттока.
- Приток осуществляется двумя путями:
- во-первых, периодическим поступлением глюкозы в кровь после приема пищи в результате всасывания углеводов,
- во-вторых, мобилизацией глюкозы из депо гликогена, главным образом из печени (гликогенолиз).

# Описание рисунка (продолжение 2)

- Глюкоза расходуется из пула по мере потребления в тканях.
- Следует отметить, что большинство тканей способно использовать для обмена как глюкозу, так и метаболиты жиров. Кроме того, глюкоза может извлекаться из крови и запасаться в виде гликогена (гликогенез), а при достаточно высокой концентрации выводится с мочой.
- В норме у человека концентрация глюкозы в крови остается в пределах, обозначенных на рис серым. Так, во время всасывания (после приема пищи) уровень может достигать 6,1—6,7 ммоль/л (ПО—120 мг глюкозы на 100 мл крови), тогда как после умеренного голодания концентрация может падать до 3,5—5,0 ммоль/л (70—80 мг на 100 мл).

# Описание рисунка (продолжение 3)

- У верхней границы нормы происходит гликогенез, т. е. в депо гликогена поступает больше глюкозы, чем из него расходуется. Если концентрация глюкозы в крови падает ниже 3,3 ммоль/л (60 мг на 100 мл), глюкоза не проникает в клетки, за исключением клеток головного мозга.
- Остальным клеткам в этом случае приходится черпать метаболическую энергию из жиров. Если уровень глюкозы продолжает падать (глубокая гипогликемия), то глюкозы не хватает даже для мозга, возникают судороги, кома и смерть.

## Как определяется направление перемещения глюкозы?

- Ответ заключен главным образом в действии различных гормонов, которые служат «клапанами» и регулируют должным образом поступление глюкозы в клетки, гликогеноз и гликогенолиз.
- Шесть гормонов, оказывающих основное действие, показаны на где «+» означает стимуляцию процесса, а «—» - его торможение.

# Поступление глюкозы в клетки

- В большинстве тканей, за исключением мозга, кишечника и почек, этот процесс зависит от присутствия инсулина.
- Секреция инсулина прежде всего определяется концентрацией глюкозы в крови: если уровень глюкозы ниже 3,3 ммоль/л (60 мг на 100 мл), инсулин вовсе не выделяется, а по мере превышения этого порога инсулин выделяется во все больших количествах. Вследствие этого во время дефицита глюкозы (менее 3,3 ммоль/л, т. е. 60 мг/100 мл крови) имеющийся минимум глюкозы не может попасть в клетки, зависимые от инсулина, поэтому глюкоза сберегается для таких тканей, как мозг, в которых утилизация глюкозы не зависит от инсулина и которые, кроме того, абсолютно не могут обходиться без глюкозы.
- Инсулин, помимо влияния на поступление глюкозы в клетки, стимулирует гликогенез и ингибирует гликогенолиз, что также направлено на снижение концентрации глюкозы в крови.

# Действие инсулина

- Инсулин, секреция которого увеличивается при повышении уровня глюкозы в крови, по меньшей мере тремя путями обеспечивает снижение этого уровня (гипогликемизирующее действие), т. е. действует механизм отрицательной обратной связи.
- Инсулин жизненно важен для регуляции снабжения метаболической энергией, поскольку он единственный гормон, обладающий гипогликемизирующим действием.

# Действие других гормонов

- Как видно из рис. глюкагон, глюкокортикоиды, адреналин, гормон роста и тироксин — все эти гормоны стимулируют расщепление гликогена, а гормон роста еще замедляет поступление глюкозы в некоторые клетки.
- Поэтому эти гормоны действуют в сторону повышения концентрации глюкозы в крови (гипергликемизирующий эффект) и, как и следует ожидать, падение уровня глюкозы стимулирует их секрецию.
- Поэтому концентрация глюкозы в крови регулируется по механизму двойной обратной связи; гипергликемия стимулирует секрецию инсулина, который вызывает гипогликемическую реакцию, и, напротив, гипогликемия подавляет секрецию инсулина и в то же время стимулирует выброс остальных гормонов, обладающих гипергликемизирующим действием.