

# Теория систем и системный анализ

---

## Тема 7. Общесистемные закономерности

# План лекции

---

1. Закономерности взаимодействия части и целого
2. Закономерности иерархической упорядоченности систем
3. Энтропийные закономерности
4. Закономерности развития
5. Другие закономерности
6. Выводы

# Введение

---

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

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

# 1. Закономерности взаимодействия части и целого. Эмерджентность

---

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

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

**Невозможно предсказать свойства системы в целом,  
разбирая и анализируя ее по частям!!!**

---

# 1. Закономерности взаимодействия части и целого. Целостность

---

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

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

# 1. Закономерности взаимодействия части и целого.

## Целостность

---

Предельным случаем целостности является **абсолютная целостность**. Благодаря абсолютно жестким связям такая система может находиться только в одном состоянии, поэтому энтропия ее равна нулю. Абсолютно жесткие связи подразумевают передачу свойств от элемента к элементу без потерь (с коэффициентом  $k=1$ ).

В реальных системах связи между элементами не являются абсолютно жесткими ( $k < 1$ ), из за чего система может находиться в нескольких состояниях. В этом случае воздействие на элемент системы отразится во всех элементах и в системе в целом, но с некоторым затуханием.

# 1. Закономерности взаимодействия части и целого.

## Целостность

---

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

$$Q_S \neq Q_\Sigma, \text{ где } Q_\Sigma = \sum q_i.$$

Объединенные в систему элементы, как правило, утрачивают часть своих свойств (вернее утрачивают способность проявлять часть своих свойств), присущим им вне системы ( $Q^-$ ), но с другой стороны, элементы, попав в систему, получают возможность проявить свои потенциальные свойства, которые не могли быть проявлены вне системы ( $Q^+$ ):

---

$$Q_S = (Q_\Sigma \setminus Q^-) \cup Q^+.$$

# 1. Закономерности взаимодействия части и целого.

## Аддитивность

---

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

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



# 1. Закономерности взаимодействия части и целого. Синергизм

---

Синергизм (от греч. сотрудничество, содействие) проявляется в виде мультипликативного эффекта при однонаправленных действиях.

Мультипликативность отличается от аддитивности тем, что отдельные эффекты не суммируются, а перемножаются.

# части и целого. Прогрессирующая изоляция и прогрессирующая систематизация

---

Асаф Холл (амер. астроном):

*прогрессирующая факторизация* – стремление системы к состоянию со все более независимыми элементами;

*прогрессирующая систематизация* – стремление системы к уменьшению самостоятельности элементов, т.е. к большей целостности.

# части и целого. Прогрессирующая изоляция и прогрессирующая систематизация

---

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

Следствия:

- 1) распад системы на независимые части с потерей общесистемных свойств;
  - 2) изменения в направлении возрастающего деления на подсистемы с увеличением их самостоятельности или в направлении возрастающей дифференциации функций, что характерно для систем, включающих в себя некоторый творческий рост или процессы эволюции и развития.
-

# части и целого. Прогрессирующая изоляция и прогрессирующая систематизация

---

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

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

---

# 1. Закономерности взаимодействия части и целого. Изоморфизм и изофункционализм

---

**Изоморфизм** – это сходство объектов по форме и строению.

Это означает, что системы, рассматриваемые отвлеченно от природы составляющих ее элементов, являются изоморфными друг другу, если каждому элементу одной системы соответствует лишь один элемент второй и каждой связи в первой системе соответствует связь во второй и наоборот.

# 1. Закономерности взаимодействия части и целого. Изоморфизм и изофункционализм

---

Если ввести в описание систем в качестве параметра время, т.е. рассматривать их в динамике, то понятие изоморфизма можно расширить до понятия **изфункционализма** и с его помощью рассматривать сходные процессы.

Системы, находящиеся между собой в состоянии изоморфизма и изофункционализма, имеют сходные системные свойства.

## 2. Закономерности иерархической упорядоченности систем

---

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

**Иерархия** – это соподчиненность, любой согласованный по подчиненности порядок объектов.

## 2. Закономерности иерархической упорядоченности систем.

### Коммуникативность

---

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

- надсистему;
- элементы или подсистемы;
- системы одного уровня с рассматриваемой.

Такое сложное единство системы со средой названо закономерностью **КОММУНИКАТИВНОСТИ.**



## 2. Закономерности иерархической упорядоченности систем.

### Иерархичность

---

Закономерность **иерархичности** наблюдается в том, что любую систему можно представить в виде иерархического образования.

При этом на всех уровнях иерархии действует закономерность целостности. Более высокий иерархический уровень объединяет элементы нижестоящего и оказывает на них направленное воздействие. В результате подчиненные члены иерархии приобретают новые свойства, отсутствовавшие у них в изолированном состоянии. А возникшее в результате объединения нижестоящих элементов новое целое приобретает способность осуществлять новые функции, в чем и состоит цель образования иерархий.

---

# 3. Энтропийные закономерности

---

Понятие «энтропия» ввел в 1865 году немецкий физик, механик и математик Рудольф Клаузиус: это функция состояния термодинамической системы, характеризующая направленность тепловых процессов.

В системном анализе **энтропия** Э служит количественной мерой беспорядка (свободы, разнообразия) в системе и определяется числом допустимых состояний системы  $N_S$ :

$$Э = \ln N_S.$$

## 3. Энтропийные закономерности

---

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

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

Для замкнутых систем справедливо **второе начало термодинамики**: энтропия замкнутой системы монотонно возрастает (не убывает) со временем, вплоть до достижения максимального значения в конечном равновесном состоянии, когда число допустимых состояний системы максимально.

## 3. Энтропийные закономерности

---

В незамкнутых системах энтропия может как увеличиваться, так и уменьшаться. Поэтому в открытых системах возможно снижение энтропии. Подобные системы могут сохранять свой высокий уровень организованности и даже развиваться в сторону увеличения порядка сложности.

Для повышения организованности (снижения энтропии) системы применяют **управление**. Именно поэтому так важен хороший обмен информацией со средой для эффективного решения задач управления, т.е. в качестве противоположности энтропии выступает обратная ей по знаку величина – **информация**, действие которой выражается в тенденции к увеличению упорядоченности и уменьшению неопределенности.

---

# 3. Энтропийные закономерности. Принцип компенсации энтропии

---

Энтропия неизолированной системы может быть уменьшена только за счет компенсирующего увеличения энтропии в другой или других системах, взаимодействующих с данной.

Прогресс не может быть общим для всех частей системы. Снижению энтропии в одной части системы обязательно сопровождается повышением энтропии в другой части или окружающей среде. Поэтому невозможен всемирный прогресс и благоденствие, если мы не научимся отводить от планеты лишнюю энтропию (отходы) во внешнюю среду.

# 3. Энтропийные закономерности. Закон «необходимого разнообразия» Эшби

---

Для уменьшения разнообразия (беспорядка) необходимо привести в систему информацию (управляющее воздействие) – **негэнтропию**, которую ошибочно представляют как энтропию с отрицательным знаком.

Негэнтропия измеряется в тех же единицах, что и энтропия, направление ее действия противоположно энтропии. Несмотря на это негэнтропия и энтропия изменяются по самостоятельным закономерностям, и их абсолютные значения мало зависят друг от друга.

При прогрессивном развитии системы, при ее организации и упорядочении больше увеличивается негэнтропия, чем энтропия.

При деструктуризации, деградации- наоборот.

# 3. Энтропийные закономерности. Закон «необходимого разнообразия» Эшби

---

Какие имеются возможности по уменьшению энтропии объекта субъектом?

Уильм Росс Эшби (анг. кибернетик):

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

---

# 3. Энтропийные закономерности. Закон «необходимого разнообразия» Эшби

---

Эшби доказал теорему, на основе которой делается следующий вывод:

*ΔЭ может быть уменьшена только за счет роста  $\mathcal{E}_N$ .*

Только разнообразие в N может уменьшить разнообразие, создаваемое в D, только разнообразие может уничтожить разнообразие.

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

---

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



## 4. Закономерности развития. Историчность

---

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

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

При проектировании системы рекомендуется рассматривать не только вопросы создания и обеспечения системы, но и вопросы ее ликвидации и уничтожения.

---

## 4. Закономерности развития. Рост и развитие

---

**Рост** – увеличение в числе и размерах.

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

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

**Кризис** – это резкий, крутой перелом в чем-либо.

---

## 4. Закономерности развития. Рост и развитие

---

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

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

# 4. Закономерности развития.

## Закономерность неравномерного развития

---

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

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

## 4. Закономерности развития.

### Закономерность увеличения степени идеальности

---

Развитие всех систем идет в направлении увеличения степени идеальности.

Подразумевается, что идеальная система – это такая система, у которой вес, объем, ненадежность, потребление ресурсов стремится к нулю, хотя при этом способность системы выполнять свои функции не уменьшается.

# 4. Закономерности развития.

## Закономерность внутрисистемной и межсистемной конвергенции

---

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

Конвергенция возникает:

- при наличии общей среды обитания для двух систем;
  - при открытости обеих систем, что позволяет факторам среды воздействовать на внутренние структуры систем;
  - при отсутствии противостояния и борьбы между системами;
  - в случае взаимного влияния систем, что ускоряет процесс взаимного обмена сходством.
-

## 4. Закономерности развития.

### Эквифинальность

---

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

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

## 5. Другие закономерности. Полисистемность

---

Любой объект окружающего мира принадлежит одновременно многим системам.

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



## 5. Другие закономерности.

# Противодействие системы внешнему возмущению

---

Если существующее равновесие системы подвергается внешнему воздействию, изменяющему какие-либо из условий равновесия, то в ней возникают процессы, направленные так, чтобы противодействовать этому изменению. (Анри Луи Ле Шателье, французский химик)

При внешнем возмущении, нарушающем условие равновесия, в системе развиваются противоположно действующие процессы, и до определенного уровня возмущения они нейтрализуют внешнее возмущение. (Евграф Степанович Федоров, русский кристаллограф, математик)

Целое препятствует нарушению целостности. (Михаил Иванович Сетров, советский, российский ученый, философ).

---

## 5. Другие закономерности.

### Закономерность наиболее слабых мест

---

Устойчивость всей системы зависит от наиболее слабых элементов.

Структурная устойчивость (неразрушимость, приспособленность) системы определяется устойчивостью наиболее слабой подсистемы.

## 5. Другие закономерности.

### Закономерность 80/20

---

Итальянский экономист Вильфредо Парето 1897 г.:

80% земли в Италии принадлежит 20% ее жителей.

Позднее он доказал, что замеченное правило применимо и в других областях.

Впоследствии он сформулировал правило, называемое «Принцип Парето» или «правило 80/20».

Исходя из этого правила, не всегда работа должна быть выполнена как можно лучше, часто вполне достаточно удовлетворительного результата. 20% усилий дают 80% результата, а остальные 80% - лишь 20%. Дальнейшие улучшения не всегда оправданы.

---

Спасибо за  
внимание!!!