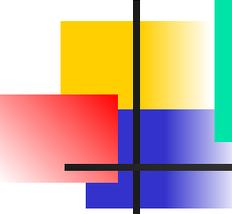


# Лекция (карантин -1)

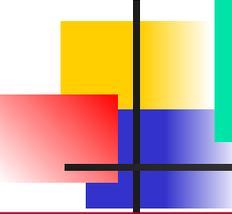
Введение в кибернетику.  
Основы теории автоматического  
регулирования



# План лекции

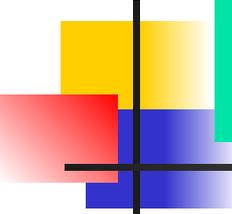
---

1. Кибернетика как наука. Основные разделы кибернетики
2. Теория информации
3. Теория игр
4. Теория управления
5. Принципы работы некоторых систем автоматического регулирования на биологических примерах
6. Устойчивость и надежность систем автоматического регулирования. Принципы обеспечения высокой надежности биологических систем
7. Нарушение процессов управления в организме. Кибернетический подход к этиологии и патогенезу различных заболеваний



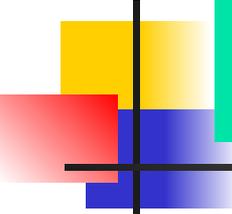
# Кибернетика как наука

- **Кибернетика**- от греческого слова «кибернем»- **кормчий**.
- По древнегреческому учёному Платону: кибернетика – «искусство управлять людьми».
- Открытие кибернетики как науки связано с именем американского учёного Норберта Винера (1948 г.), который показал, что законы управления являются общими и их можно применять в разных областях науки и техники.
- По Винеру: **Кибернетика – это наука об управлении и связях в живых организмах и машинах.**
- По Колмогорову (русский уч.): **Кибернетика – это наука, изучающая системы любой природы, способные воспринимать, хранить и перерабатывать информацию, а также использовать её для целей управления и регулирования.**
- **Предмет изучения кибернетики: общие закономерности организации и управления в системах различной физической природы: машинах, живых организмах и пр.**



# Основные разделы кибернетики. Теория информации

- ▣ **Основные разделы кибернетики:** *теория информации, теория игр, теория управления, теория ЭВМ и др.*
- ▣ **Теория информации** – это раздел кибернетики, занимающийся вопросами приёма, передачи, хранения информации, а также вопросами количественной оценки информации.  
Основоположники: Клод Шеннон, Винер, Колмогоров, Котельников.
- ▣ **Информация** - сообщение, которое может быть использовано системой управления для устранения неопределенности (качественная оценка).
- ▣ **Информация** - мера устранения неопределенности (количественная оценка).
- ▣ **Нуль информации** – такое количество информации, при получении которой неопределённость не уменьшается.
- ▣ **Максимум информации** - такое количество информации, при котором неопределённость снимается полностью.



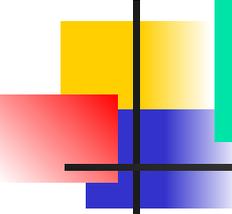
# Формула для расчёта количества информации

- Для определения количества полученной информации можно использовать формулу К. Шеннона для равновероятных состояний:

**$H = \log_2 N$** , где **H** - количество полученной информации в битах, **N** - число равновероятных состояний или событий. Бит - количество информации в двоичной системе счисления, если **N** равно **двум**, т.е. если выбор производится из двух равновероятных состояний.

- **Пример:** В пачке находится 32 экзаменационных билета. Какое количество информации получит студент, если ему сообщить, где находится билет N5?

$$H = \log_2 N = \log_2 32 = 5 \text{ бит.}$$



# Теория игр

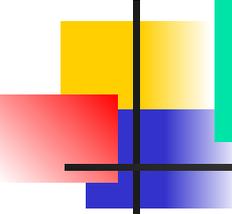
- **Теория игр** - теория математических моделей принятия оптимальных решений в условиях неопределенности.

- Свое название этот раздел кибернетики получил из-за того, что фактор неопределенности можно интерпретировать как противника в спортивной игре, который препятствует принятию оптимального решения.

- **Пример:** Вы - врач приемного отделения какой-то больницы. К Вам доставлен больной с жалобами на интенсивные боли в области живота. Как за минимальное время определить правильный диагноз у данного больного?

- Вероятность того, что Вы случайно наткнетесь на правильный диагноз, очень мала. Как же поступить? Теория игр рекомендует поступить следующим образом:

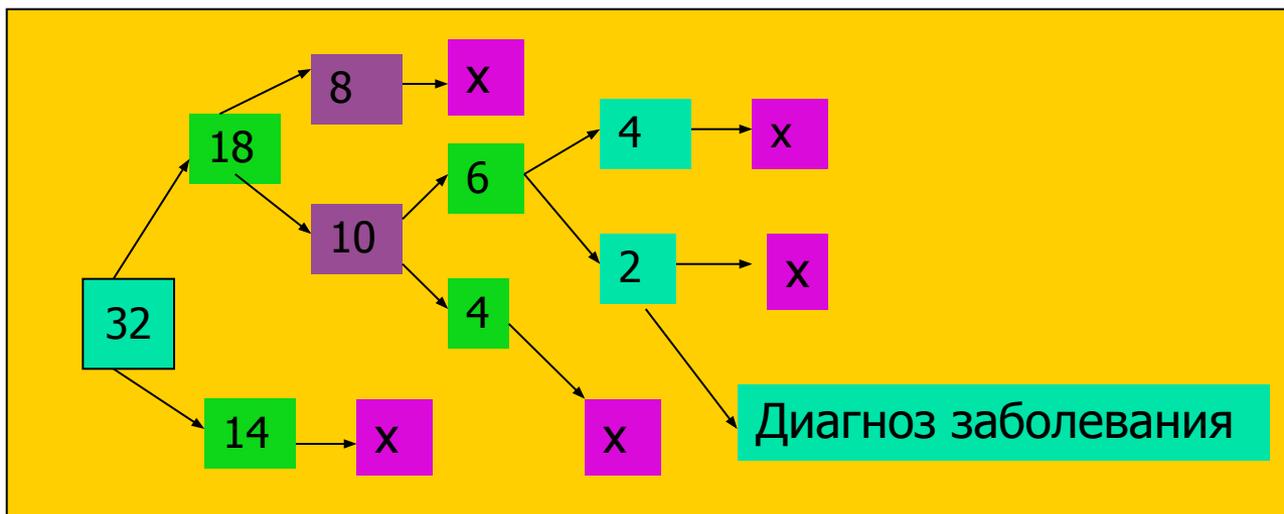
- а) все предполагаемые диагнозы следует поделить на две группы взаимно исключающих друг друга диагнозов и провести исследования, с целью исключения (или подтверждения) одной группы диагнозов.



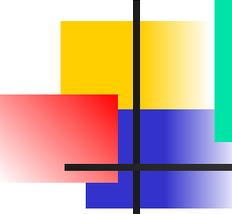
# Теория игр

- Так, например, Вы вспомнили о том, что интенсивные боли в животе могут быть при 32 заболеваниях (в действительности таких заболеваний больше!). Вы поделили все эти диагнозы на две группы: сердечные заболевания - 14 диагнозов и остальные 18, не связанные с заболеванием сердца. Для исключения сердечной патологии (боли в области живота могут быть, например, при инфарктах миокарда) следует провести запись электрокардиограммы. После анализа ЭКГ Вы убедились в том, что сердечной патологии у данного пациента нет, поэтому Вы можете отбросить всю эту группу диагнозов.
- На этом этапе Вы получили 1 бит информации:  
$$H = \log_2 N = \log_2 2 = 1 \text{ бит.}$$
- Общее количество информации, которое Вам нужно получить при обследовании данного пациента равно 5 битам:  
$$H = \log_2 N = \log_2 32 = 5 \text{ бит.}$$
- Таким образом, Вам осталось пройти еще 4 шага и получить еще 4 бита информации для отыскания правильного ответа!

# Теория игр



Преимуществом поиска диагноза по теории игр является то, что мы обязательно придем к правильному решению самым кратчайшим путем, в нашем примере всего за 5 шагов!



# Теория управления

- **Теория управления** - раздел кибернетики, изучающий сложные системы управления.

- **Кибернетическая система** - упорядоченная совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих элементов, закономерно образующих единое целое, которое обладает свойствами, отсутствующими у элементов, образующих это целое.

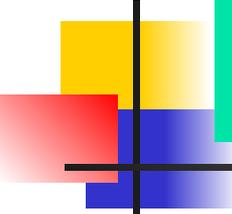
- **Пример:** сердечно-сосудистая система человека.

- Кибернетика изучает динамические системы, состояние и поведение которых непрерывно изменяются под влиянием внешних воздействий.

- Важное свойство кибернетических систем – их управляемость.

- **Необходимое условие управляемости кибернетической системы - её организованность, т.е. наличие определённой структуры.**

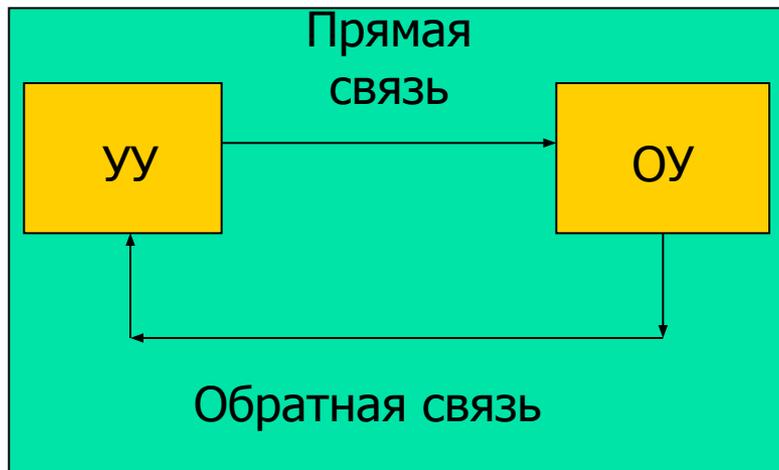
- Каждый элемент системы может рассматриваться как элемент более высокого или более низкого уровня (порядка), т.е. кибернетические системы допускают существование иерархии систем.



# Классификация кибернетических систем

1. **Детерминированные** (оказывают определённое действие)
2. **Стохастические** (вероятностные) – оказывают вероятностное действие
3. **Простые** – не имеют разветвлённой структуры, легко описываются математически (пример: электрическая цепь – «вкл» или «выкл»)
4. **Сложные** – имеют разветвлённую структуру, но могут быть описаны математически (пример: рефлексорная дуга)
5. **Очень сложные** – также имеют очень сложную разветвлённую структуру, но до сих пор не описаны математически (пример: человеческий мозг)

# Схема простейшей системы управления



Система управления, как минимум, содержит в себе два основных блока или устройства: управляющее устройство (**УУ**) и объект управления (**ОУ**), между которыми имеются прямые и обратные связи.

По каналу прямой связи передаются команды или управляющие воздействия к управляемому объекту с целью перевода его в требуемое состояние. По каналу обратной связи передается информация об эффективности управления.

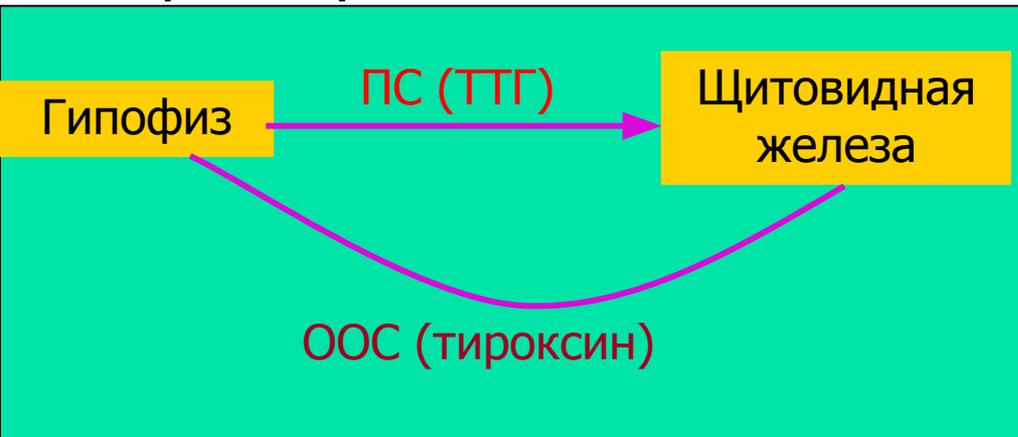
# Виды обратных связей

- Обратные связи могут быть двух типов - **положительные и отрицательные**.
- Под **положительной обратной связью** понимают такую связь, при которой система переходит на более высокий уровень функционирования.



# Виды обратных связей

■ Под **отрицательной обратной связью** понимают такую связь, при которой происходит стабилизация параметров системы.



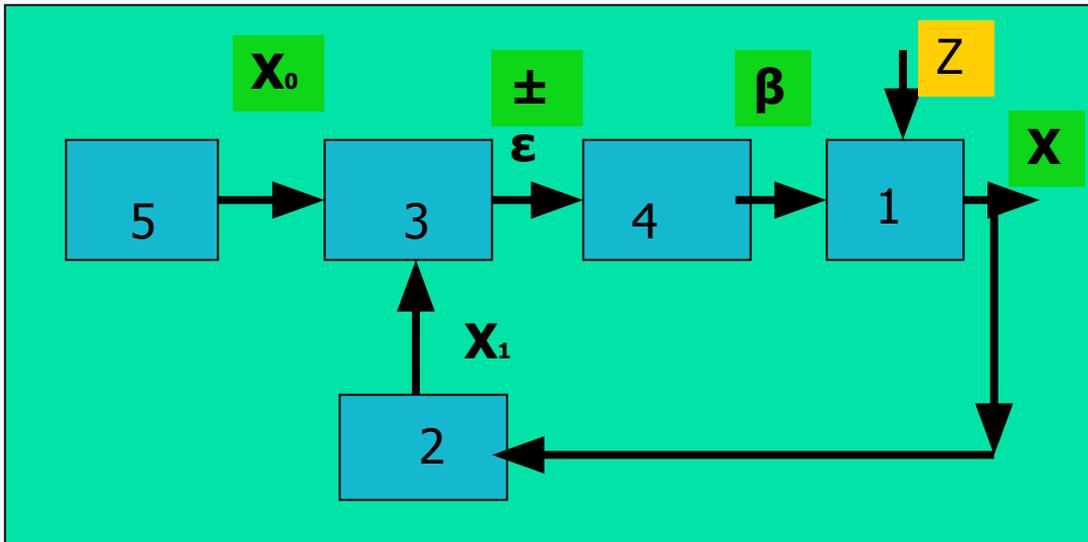
ТТГ-тиреотропный гормон гипофиза-  
влияет только на щитовидную  
железу, которая регулирует  
выработку тироксина.

Данная система поддерживает концентрацию тироксина в крови на строго постоянном уровне. При недостатке тироксина – «**Кретинизм**»; при избытке тироксина – «**Базедова болезнь**».

# Управление. Виды управления

- **Управление** - процесс воздействия на управляемый объект с целью перевода его в требуемое состояние.
- Управление бывает двух видов - **сохраняющее** и **поисковое**. Поисковое управление такой вид управления, при котором заранее не известно требуемое значение параметров и это значение отыскивается в ходе управления.
- **Пример:** Поиск оптимальной величины кровяного артериального давления при нагрузке.
- Более простым видом управления является сохраняющее управление, когда значение какого-то параметра сохраняется на строго заданном уровне, например, поддержание определённой концентрации сахара в крови. **Сохраняющее управление** иначе называют **регулированием**.

# Принципы работы САР с воздействием по рассогласованию



1 - регулируемый объект,  
2 - измерительное устройство,  
3,4,5 - сосудодвигательный центр в случае регуляции АКД.

**X** – регулируемый параметр

$\pm\epsilon$  сигнал рассогласования

$\beta$  - управляющее воздействие

**Z** – помеха

$X_1$  – сигнал о величине параметра

$X_0$  – эталонный сигнал о величине регулируемого параметра

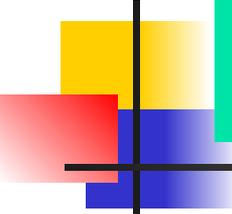
# Регуляция артериального кровяного давления (АКД)

■ Регулируемый параметр  $X$  - величина кровяного артериального давления. Помеха  $Z$  - кровопотеря, происшедшая в результате ранения сосуда. Величина параметра измеряется измерительным устройством 2 - в нашем организме это баро - или прессорецепторы, располагающиеся в дуге аорты и вырабатывает сигнал  $X_1$  о величине параметра  $X$ . **Сравнивающее устройство 3** проводит сравнение должного значения параметра  $X_0$ , которое вырабатывается **эталонном** или акцептором результатов действия **5**. В результате такого сравнения вырабатывается сигнал рассогласования  $\pm \epsilon$ , в соответствии с величиной и знаком, которого **регулирующее устройство 4** вырабатывает команду или регулирующее воздействие  $\beta$ , которое переводит **регулируемый объект 1** в требуемое состояние, при этом **АКД** приходит к нормальному уровню.

# Регуляция артериального кровяного давления (АКД)

■ **Регулируемый объект 1** - это интегрированное понятие:

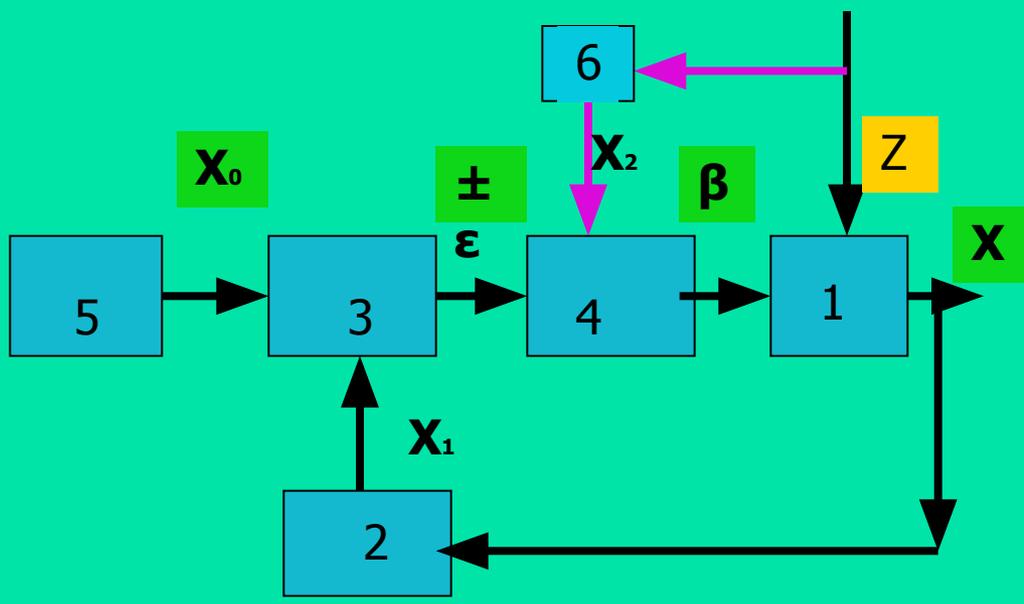
- - **во-первых**, это сердце, увеличение частоты сокращений или увеличение систолического объема увеличивают минутный объем и, как результат, приводят к повышению АКД;
- - **во-вторых**, это сосуды, повышение сосудистого тонуса приведет к повышению АКД;
- - **в-третьих**, это кровяные депо, выход крови из депо в кровяное русло увеличит массу циркулирующей крови и увеличит АКД;
- - **в-четвертых**, это органы пищеварения, при кровопотере у человека появляется чувство жажды, при приеме определенного количества воды она поступает в кровяное русло, увеличивая массу циркулирующей крови и увеличивает АКД;
- - **в-пятых**, это органы выделения; почки резко уменьшают мочеотделение, что ведет к задержке жидкости в организме и тоже ведет к повышению АКД и т.д.
- Таким образом, в понятие "регулируемый объект" входят практически все органы и системы человеческого организма, что повышает эффективность регулирования.



# Принципы работы системы автоматического регулирования с воздействием по возмущению

- Недостатком **САР** с воздействием по рассогласованию является то, что система начинает регулировать только тогда, когда параметр уже отклонился от заданного уровня и, поэтому, с помощью данной системы регулирования невозможно получить истинные константы, особенно в биологических системах, для жизнедеятельности клеток которых необходим **гомеостаз**.
- Было обнаружено, что подобным образом работают системы у больного человека, а у здорового они работают более совершенно, когда колебания регулируемого параметра практически исключены даже при действии значительных по величине помех. Подобные системы регулирования были названы "**САР с воздействием по возмущению**".

# Принципы работы САР с воздействием по возмущению на примере закрытого пневмоторакса



1 – дыхательные мышцы,  
2 - хемиорецепторы,  
6 - механорецепторы  
3,4,5 - дыхательный центр в случае регуляции объёма вдоха.

**X** – регулируемый параметр

**±ε** сигнал рассогласования

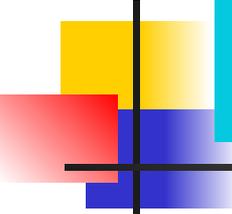
**β** - управляющее воздействие

**Z** – помеха

**X<sub>1</sub>** – сигнал о величине параметра

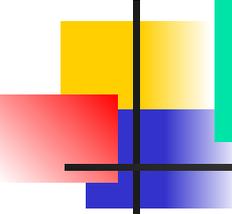
**X<sub>2</sub>** – сигнал о величине помехи

**X<sub>0</sub>** – эталонный сигнал о величине регулируемого параметра



# Регуляция кислорода в крови

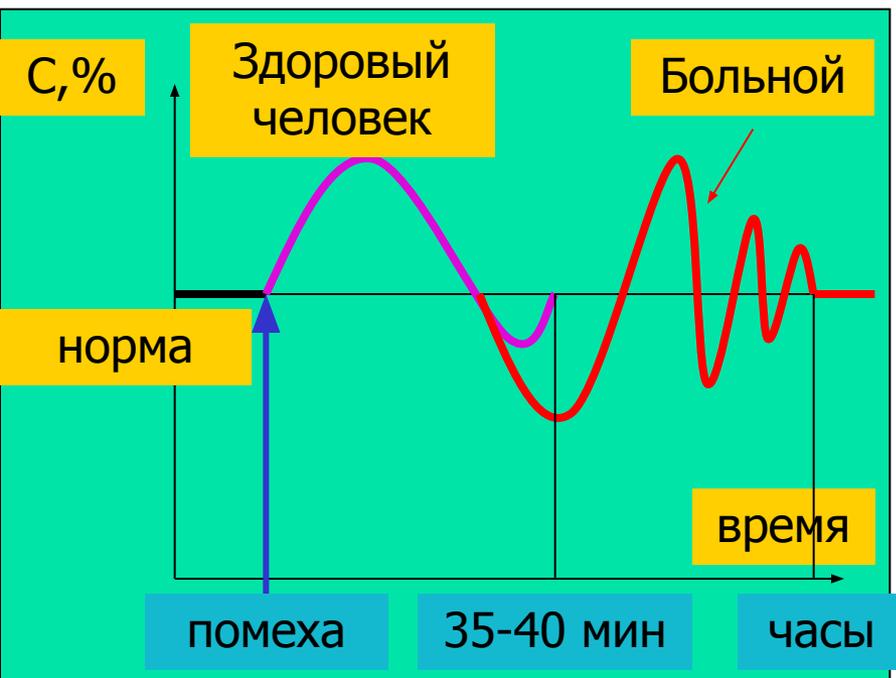
- С целью создания закрытого пневмоторакса в плевральную полость животного вводится определённое количество воздуха с помощью инъекционной иглы. Подобное воздействие (помеха Z) повышает давление внутри плевральной полости. Это, казалось бы, должно приводить к уменьшению вдыхаемого воздуха на величину, равную объёму введённого в плевральную полость воздуха.
- Учитывая тот факт, что в организме имеется депо кислорода (миоглобин), предполагалось, что объём вдоха должен увеличиться только через 10-12 дыханий, когда закончится запас кислорода в депо.
- Однако, животное сразу же увеличивает глубину вдоха на величину объёма введённого в плевральную полость воздуха.
- Причина: в вице-плевральной плевре и паренхиме лёгких имеются механорецепторы, которые растягиваясь до определённой длины регулируют глубину вдоха. Т.е. механорецепторы фактически измеряют величину помехи и определяют глубину вдоха.



# Устойчивость и надежность систем автоматического регулирования

- Главной врачебной задачей на диагностическом этапе является задача, связанная с нахождением той системы автоматического регулирования в организме, которая стала работать неустойчиво с тем, чтобы попытаться восстановить ее работу.
- Для того чтобы определить устойчиво работает данная САР или нет, служит **метод функциональных проб** (метод определения переходной функции САР). **Под переходными функциями САР** понимают реакцию системы на воздействие в виде одиночного скачка регулируемого параметра.

# Регуляция сахара в крови человека

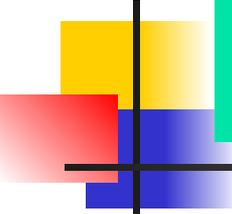


В качестве примера рассмотрим определение *устойчивости системы регуляции уровня сахара в крови у больного со скрытой формой диабета.*

Для этого внутривенно одновременно вводят **40% раствор глюкозы** из расчета **0.2 грамма на килограмм массы** тела больного, в результате чего концентрация сахара в крови увеличится, т.е. возникнет рассогласование.

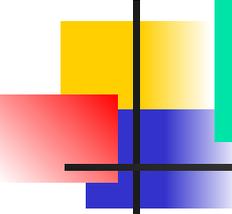
# Принципы обеспечения высокой надежности биологических систем

- ❖ **Надежность** - способность САР поддерживать регулируемые параметры на заданных уровнях в условиях действия реальных помех.
- ❖ 1) **Пластичность нервных центров.**  
При гибели одной группы клеток (например, в результате инсульта) рядом расположенная группа нейронов, которая выполняла до этого какую-то другую работу, может взять на себя функцию утраченных;
- ❖ 2) **Принцип избыточности.** Этот принцип заключается в том, что информация, передаваемая от одного нейрона к другому, многократно повторяется во времени (временное суммирование) и передается не по одному, а по многим каналам связи (пространственное суммирование).
- ❖ 3) **Принцип обратной связи.** Чем больше каналов обратной связи, тем более надежно работа.
- ❖ 4) **Иерархичность.** Все биологические САР организованы по иерархическому принципу, когда есть центры высшего порядка, которые регулируют активность низших центров, что существенно повышает надежность регулирования.



# Нарушение процессов управления в организме

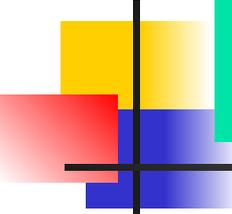
- В основе большинства заболеваний лежит нарушение процессов управления в организме. Любое заболевание при своем развитии проходит две основные стадии:
- 1) **стадия функциональных расстройств**, для которой характерным является превращение регулируемых параметров из констант в релаксоконстанты. Если убрать причину заболевания, то возможно самовыздоровление больного;
- 2) **стадия параметрических расстройств**, для которой характерно стойкое отклонение регулируемых параметров от нормального уровня. Если убрать причину данного заболевания, то самовыздоровление не наступает, только грамотные, своевременные и адекватные действия врача могут вернуть здоровье больному.



# Кибернетический подход к этиологии и патогенезу заболеваний на примере развития рака лёгкого у курильщика

- У начинающего курильщика **дым**, который содержит **более 70 вредных компонентов**, раздражает дыхательные пути и вызывает удушливый кашель. Если курение продолжается, то на слизистой оболочке дыхательных путей возникают небольшие **язвочки**, на дне которых обнажаются нервные стволы. Токсины табачного дыма, воздействуя на эти образования, вызывают их раздражение и усиливают кашель. Для того чтобы уменьшить неприятные ощущения, **организм идет на усиленную выработку слизи - мокроты**. Мокрота временно закрывает язвенные дефекты, но эта защита ненадежна, т.к. при кашле мокрота отделяется, и язвочки вновь остаются не прикрытыми.

- **Это стадия функциональных расстройств - бронхит курильщика**, для которого характерен кашель с обильным отделением мокроты, особенно по утрам. Если на этой стадии бросить курение, то возможно самоизлечение.



## *Кибернетический подход к этиологии и патогенезу заболеваний на примере развития рака лёгкого у курильщика*

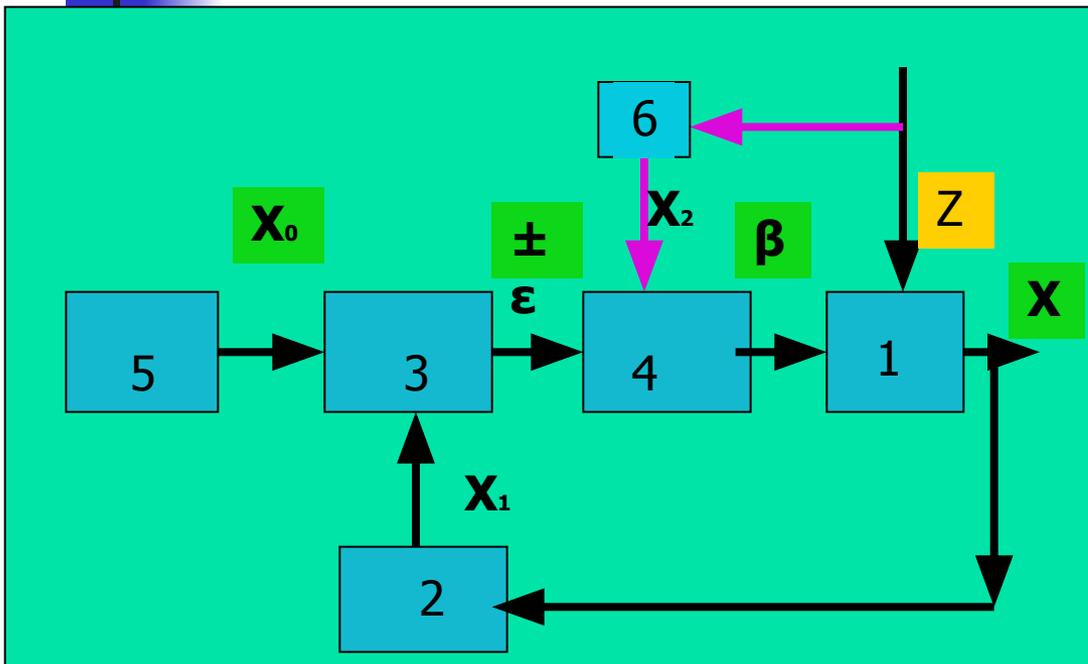
- При дальнейшем курении организм идет, для более надежного закрытия язвенных дефектов, на ускорение темпов роста эпителия слизистых оболочек бронхов. Для того чтобы увеличить темпы роста эпителия, необходимо повысить скорость считывания генетической информации с информационной РНК, а эта скорость для каждого человека генетически определена.
- При превышении этой скорости может произойти генетический сбой - возникает клетка с необычным набором ферментов и огромной скоростью роста. Это раковая клетка!
- Таким образом, причина возникновения раковой клетки заложена в эталоне, который регулирует скорость регенерации эпителия слизистых оболочек бронхов (блок 1) (смотри CAP с воздействием по рассогласованию).

# Кибернетический подход к этиологии и патогенезу заболеваний на примере развития гипертонической болезни

- Двум советским ученым **Брайнесу** и **Свечинскому** удалось провести интересные эксперименты, которые позволили раскрыть механизм развития гипертонической болезни. Они поместили обезьяну в клетку и туда же поместили, в клеточке меньшего размера, злейших врагов обезьян - змей. Обезьяны панически боятся змей и единственным способом спасения от них является бегство. Первое время обезьяны, видя змей, мечутся по клетке до полного изнеможения. Каждое мгновение обезьяна ждет нападения змеи.

- Для того чтобы бежать от змеи, обезьяне необходимо увеличить кровообращение в рабочих органах - ЦНС и мышечной системе, а для этого необходимо открыть резервные капилляры в этих органах. Капилляры открываются артериальным давлением. Чем выше АКД, тем больше резервных капилляров будет открыто, тем лучше кровоснабжение этих органов и тем большую работу они смогут выполнить. Именно поэтому у обезьян в этом эксперименте наблюдалось значительное повышение АКД.

# Кибернетический подход к этиологии и патогенезу заболеваний на примере развития гипертонической болезни



Всё это время эталонное значение  $X_0$  значительно ниже  $X_1$ . *САР постоянно уменьшает АКД.* Это стадия функциональных расстройств. Если в это время змей убрать из клетки, то обезьяна успокоится и артериальное давление снизится до нормального значения.

Для повышения эффективности работы САР организм идет по пути наименьшего сопротивления - перестраивает эталон  $X_0$ . Теперь  $X_0$  становится таким же, как и  $X_1$  и КПД системы регулирования становится снова достаточно высоким. Как только произошла перестройка эталона, заболевание перешло во вторую стадию своего развития - **стадию параметрических расстройств.**