



# Основы теории регулирования биологических систем

*Лекция 2.  
Биотехнические системы и  
технологии*

# Что такое управление

Эффективное функционирование любой системы предполагает наличие управления.

- **Управление** - это осуществление воздействия на систему (объект) в соответствии с имеющейся программой или целью функционирования.
- **Цель управления** - адекватное выполнение системой ее целевой функции.
- **Целевая функция** системы\_может заключаться в:
  - ✓ поддержании какого-либо параметра на постоянном уровне (например, температуры тела, влажности в помещении и т.д.),
  - ✓ приспособлении к изменяющимся условиям внешней среды (что характерно для сложных кибернетических систем, к которым относятся биологические системы) и т. п.

# Системный подход в рассмотрении процессов управления

Любая система управления состоит из управляющего устройства и управляемого объекта, а также каналов связи между ними.

В связи с этим различают *управляющую* и *управляемую* подсистемы (системы).

Связь между управляющей и управляемой системами (подсистемами) может быть:

- вещественной,
- энергетической,
- информационной,

# Необходимые условия управляемости системы

- **наличие определенного набора возможных состояний,**
- **способность переходить из одного состояния в другое,**
- **организованность системы.**

- ▣ **Задача управления** состоит в формировании процессов, определяющих поведение системы.
- ▣ **Закон управления** - зависимость управляющего действия от состояния системы и среды. Любой закон управления может быть представлен последовательностью сравнительно простых единичных фактов, «порций информации».
- ▣ Эта последовательность определяет **алгоритм управления**.
- ▣ Время от поступления очередной порции информации до поступления управляющей команды называется **длительностью цикла управления**.

Формирование закона управления можно разделить на три группы:

- **реакция,**
- **стереотип,**
- **моделирование.**

Существует *внешнее* и *внутреннее* управление.

- **Внешнее управление**- это управление, осуществляемое со стороны другой системы или среды.
- **Внутреннее управление**- управление, осуществляемое внутри системы со стороны одной из подсистем.

Управляющие воздействия по своей форме бывают *непрерывные* и *дискретные*.

- **Непрерывные** управляющие воздействия характеризуются непрерывным изменением во времени управляющих сигналов
- **Дискретные** управляющие сигналы реализуются при помощи последовательности импульсов. При этом полезная информация формируется путем изменения частоты (частотная модуляция), амплитуды (амплитудная модуляция), длительности импульса (широтная модуляция), а также по появлению первого импульса от начала управления или заданного времени отсчета (фазовая модуляция).

# Основные понятия и выражения в системах управления

## Рецептор

- специализированный прибор, воспринимающий определенный вид воздействий внешней и внутренней среды

## Рецепторные подсистемы

- преобразуют внешние воздействия в информационные сигналы.

## Эффектор

- элемент, осуществляющий деятельность (поперечно-полосатая или гладкая мышца, железа и т.д.)

## Эффекторные подсистемы

- способны преобразовывать управляющие воздействия. Они способны воздействовать на другие подсистемы, соседние системы или среду. При этом они воздействуют на них веществом, энергией, информацией.

# Основные понятия и выражения в системах управления

## Рефлекс

- любая ответная реакция организма, осуществляющаяся с участием ЦНС.

## Рефлективные подсистемы

- системы, способные воспроизводить внутри себя процессы воздействия на информационном уровне

## Афферентный

- означает “направляющийся в центр”, т. е. на управляющую систему (подсистему), центостремительный. Например, афферентный нейрон спинного мозга проводит сигнал, возникающий в рецепторе в нервный центр.

## Эфферентный

- “направленный (поступающий) от центра” т.е. на управляемую подсистему, центробежный. Примером является двигательный нейрон спинного мозга (мотонейрон). По его аксону сигнал доходит до эффектора.

# Основные понятия и выражения в системах управления

## **Автоматическое управление**

- управление, при котором операции, обеспечивающие достижение заданной цели управления выполняются системой без вмешательства человека.

## **Автоматическое регулирование**

- автоматическое поддержание постоянства или изменение по требуемому закону некоторой физической величины объекта управления.

## **Регулятор**

- управляющий орган при автоматическом регулировании

## **Разомкнутая система**

- система, в которой управляющий объект не получает или не учитывает информацию от объекта управления

# Примеры разомкнутой системы

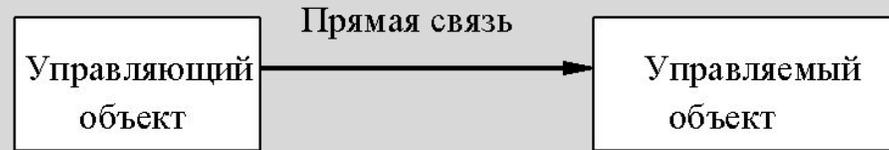


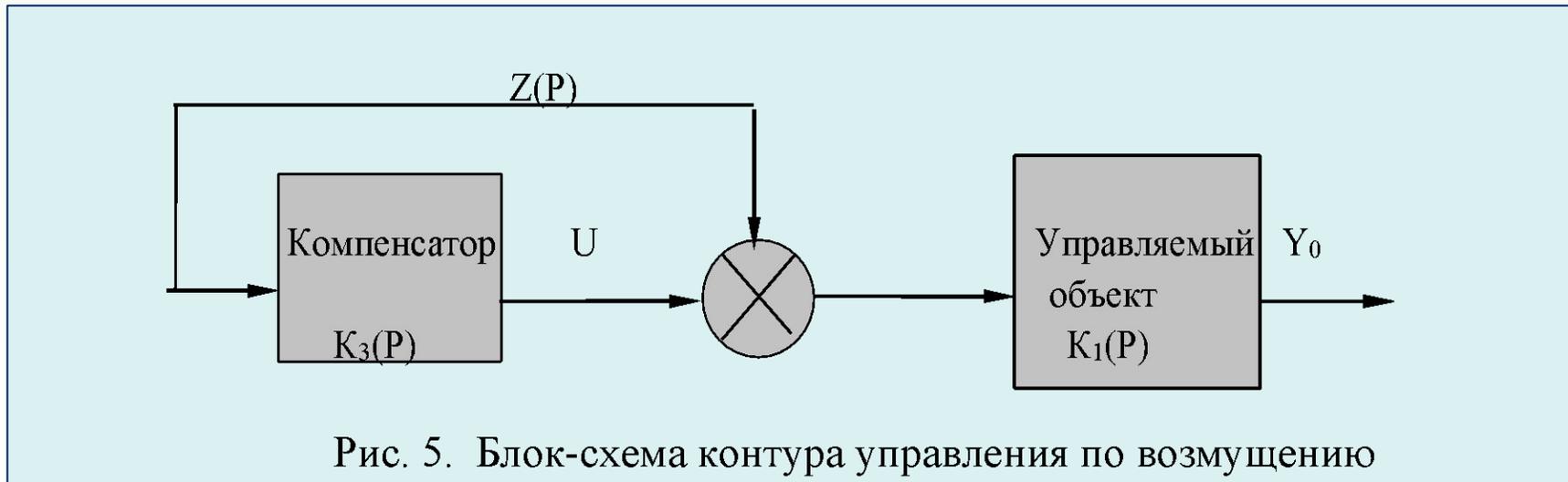
Рис 1. Упрощенная блок-схема разомкнутой системы



Рис 2. Пример блок-схемы разомкнутой системы  
(автоматический регулятор температуры)

# Регулирование по возмущению

- Если система разомкнутая, то в ней может осуществляться только регулирование по возмущению.
- **Возмущение** - это воздействие, стремящееся нарушить требуемую функциональную связь между задающим воздействием и управляемой величиной.



$Z(P)$  – возмущение;  
 $K_1(P)$  и  $K_3(P)$  соответственно, передаточная функция объекта управления и управляющего объекта (компенсатора);  
 $U$  – управляющее воздействие.

# Регулирование по отклонению

- **Замкнутая система** - система, в которой ее элементы обмениваются сигналами только между собой.

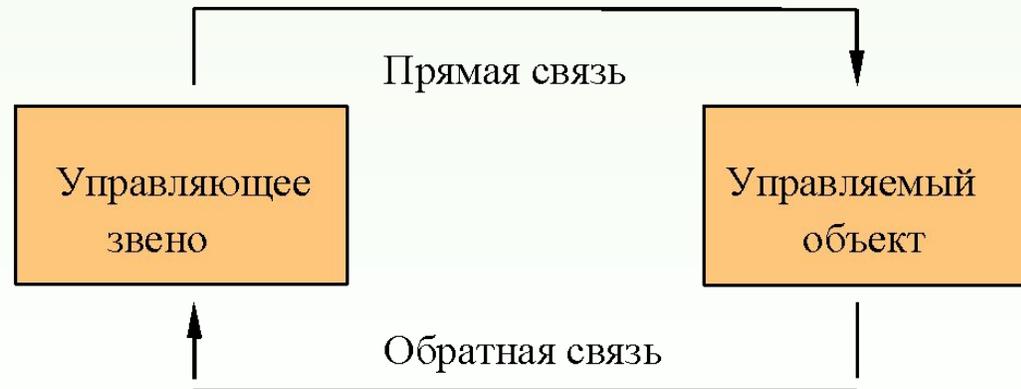


Рис.3. Упрощенная блок-схема замкнутой системы  
(система с обратной связью)

## Контур управления по отклонению

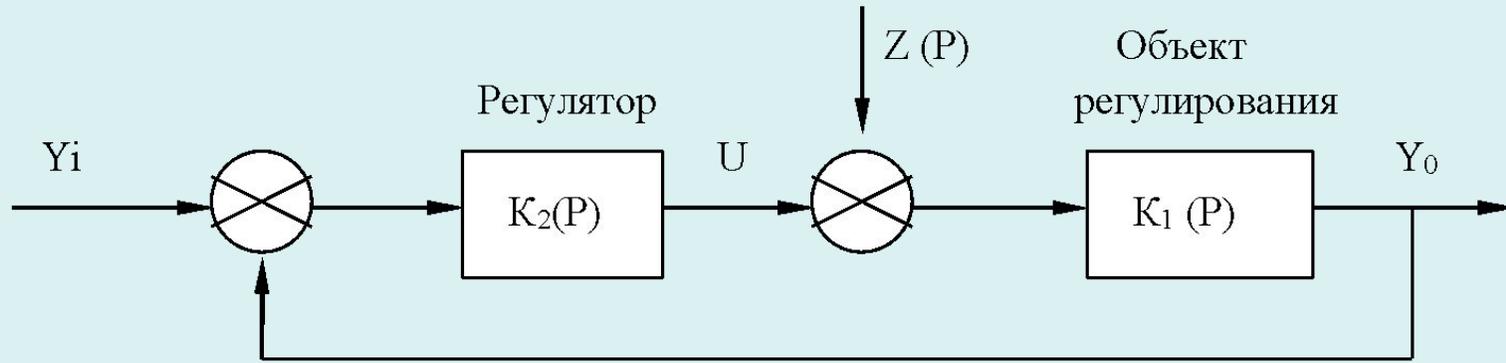


Рис 4. Блок-схема контура управления по отклонению

$Y_o$  - выходной сигнал или управляемая величина;  
 $Y_i$  - входной (задающий) сигнал;  
 $U$  - управляющее воздействие;  
 $K_1(P)$  и  $K_2(P)$  соответственно, передаточные функции объекта регулирования и регулятора;  
 $Z(P)$  – возмущение.

Сигнал ошибки  $Y_e$  :

$$Y_e = Y_i - Y_o.$$

На основе сигнала ошибки регулятор выдает на выходе управляющий сигнал, который на рисунке обозначен  $U$ .

# Особенности биологических систем управления

- В живых организмах преобладает регулирование по отклонению или комбинированные системы регуляции.
- Управляющее воздействие может влиять как на одну, так и на несколько выходных параметров.
- Биологическим системам, в отличие от систем технических, присущи различные виды нелинейности и инерционности (запаздывания) за счет дифференцирующих и интегрирующих звеньев. Они увеличивают помехоустойчивость системы. Кроме того, они позволяют системам биологического регулирования не реагировать на случайные воздействия.
- Системы биологического регулирования содержат прогнозирующий элемент.

# Особенности биологических систем управления

Системы регулирования живого организма являются:

- адаптивными,
- самообучающимися,
- самоорганизующимися.

Биологические системы управления также отличаются высокой

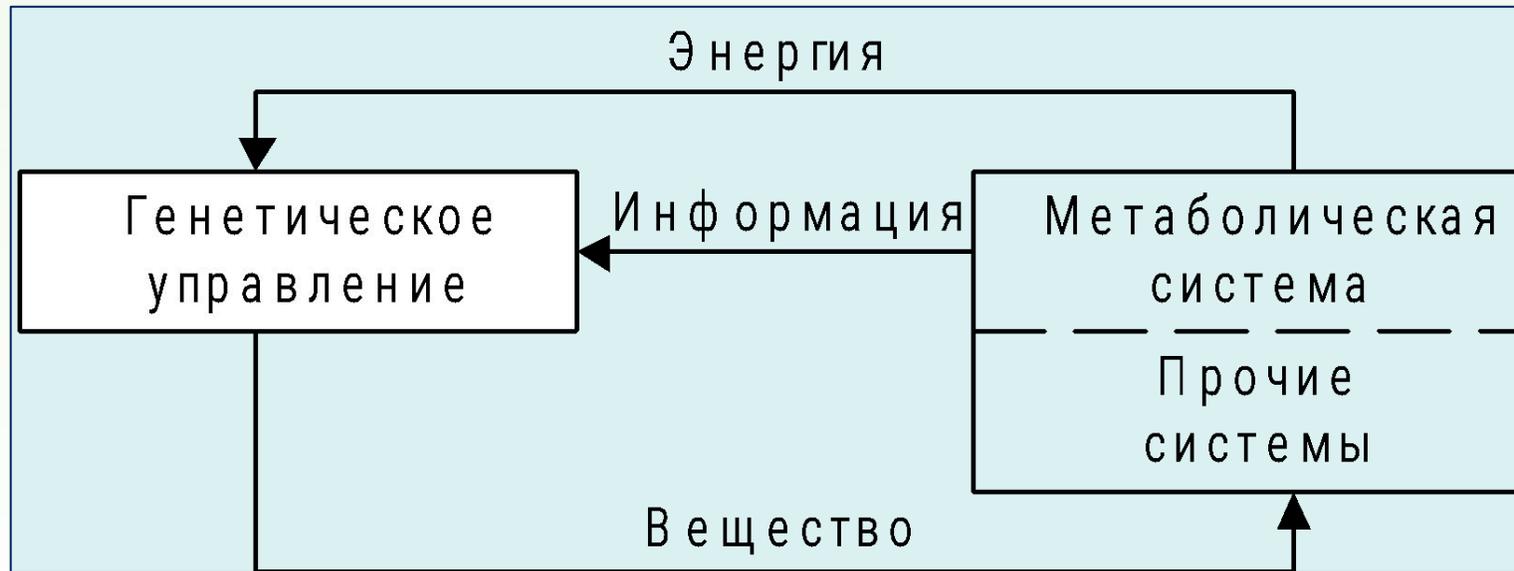
- надежностью,
- функциональной устойчивостью,
- помехозащищенностью.

# ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

- Представления биологической системы в виде двух взаимодействующих компонент (энергетической и управляющей) представляет собой основу системного подхода к анализу структуры биологической системы.
- Энергетическая компонента биологической системы обеспечивается метаболической системой (МС), а управляющая компонента представлена в виде блока регуляторных механизмов (Р) (генетическое и физиологическое управление) и блока эффекторов (Э)
- Метаболизм - совокупность химических реакций, протекающих в живых клетках и обеспечивающих организм веществами и энергией для его жизнедеятельности, роста и размножения.
- Метаболиты - это продукты внутриклеточного обмена, подлежащие окончательному распаду и удалению из организма.

# ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

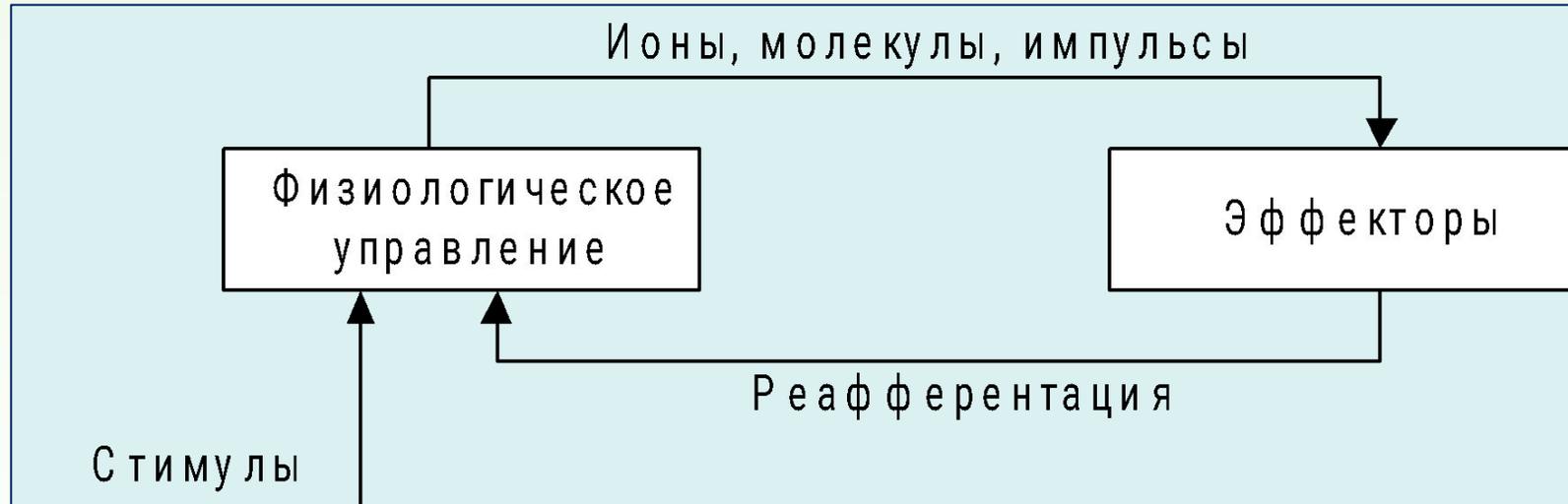
## Механизм генетического управления



Генетическая система, получая от остальных систем энергию и информацию в виде метаболитов (продуктов обмена веществ) или в виде гормонов роста в период становления организма, управляет процессами синтеза необходимых веществ и поддерживает жизнедеятельность остальных систем организма.

# ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

## Система физиологического управления



- ❑ Поведенческие реакции организма осуществляются системой физиологического управления. Функционирование эффекторных и других систем, потребляющих энергию: мышцы, органы обоняния, органы осязания, работающие ткани внутренних органов, приводит к увеличению расхода вещества и энергии, который должен компенсироваться увеличением темпов синтеза вещества и энергии в метаболической системе.
- ❑ На этом уровне физиологическое управление обеспечивает адекватное управление и снабжение всех подсистем в соответствии с возникающими потребностями: генетическая система образует структуру биологической системы, а физиологические процессы в системах осуществляют ее функцию (устойчивости и подвижности).

# ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

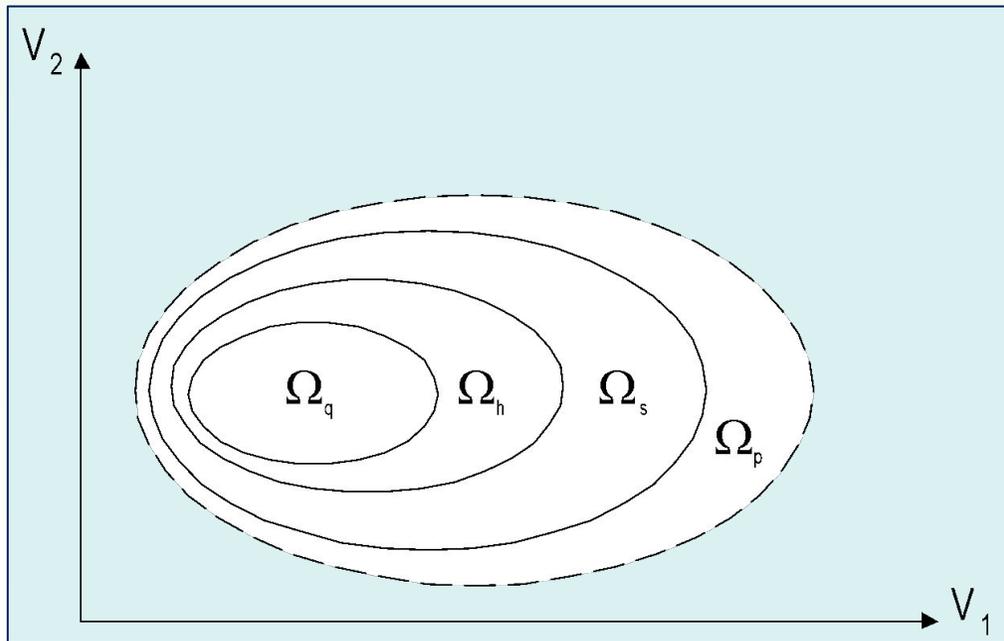
- При описании живых систем используются два типа величин характеризующих функционирование или состояния той или иной системы. Один из них связан с количеством веществ. Эти величины, называются **уровнями**.
  - *Пример: уровень сахара в крови, концентрация различных субстратов или ферментов в клетках, содержание гемоглобина в крови, температура тела, содержание биомассы в некотором объеме, количество животных данного вида на единице площади и т.д.*
- Другой тип переменных связан с изменением уровней, характеризующих динамику процессов. Эти величины, называются **темпами**.
  - *Пример: темп синтеза ферментов, темп поступления кислорода в ткани, темпы роста популяции данного вида и т.д.*
- **Уровни** отражают достигнутое состояние системы, а **темпы** - ее активность, интенсивность протекания в ней процессов.

# ГОМЕОСТАЗ И РЕГУЛЯЦИЯ ПАРАМЕТРОВ

- Сохранительные свойства биологических систем связаны с поддержанием гомеостаза, обеспечивающим постоянство существенных для жизнедеятельности системы переменных при наличии возмущений во внешней среде.
- **Гомеостаз** организма является результатом одновременного действия многочисленных и сложно организованных регуляторных механизмов, что предполагает наличие в организме целого набора "биологических" приборов (термостатов» регуляторов давления и т. п.), что и составляет гомеостатический механизм.
- Гомеостаз обеспечивает:
  - состояние равновесия в живых организмах, относящееся к различным функциям и химическому составу жидкостей и тканей;
  - осуществляется процесс, посредством которого поддерживается это равновесие.
- В живых системах имеет место иерархия трех уровней.

# ГОМЕОСТАЗ И РЕГУЛЯЦИЯ ПАРАМЕТРОВ

## Иерархия целей в биологической системе



На плоскости ( $v1, v2$ ) можно выделить:

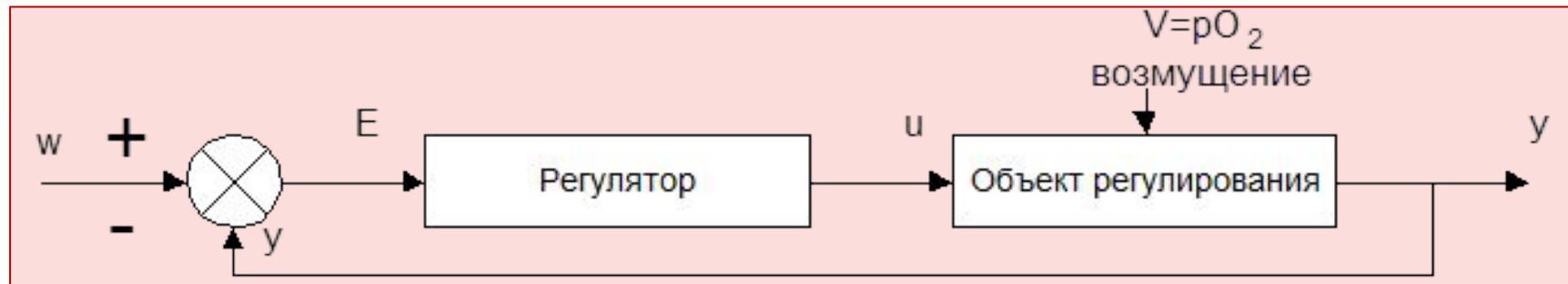
- область  $\Omega_s$  где регуляторные механизмы биосистемы обеспечивают существование стационарных режимов;
- меньшую область  $\Omega_h$ , в которой поддерживается гомеостаз.
- еще более узкую область  $\Omega_q$ , для которой характерно наиболее высокое качество функционирования биосистемы.
- По мере ухудшения условий в системе происходит "отказ" от иерархически менее важных целей, связанных с получением "оптимальных характеристик" (область  $\Omega_q$ ). Дальнейшее ухудшение условий приводит к потере гомеостатических свойств (выход изображающей точки за пределы области  $\Omega_h$ ), а затем и потере способности системы обеспечить стационарный режим при выходе за пределы области  $\Omega_s$ .
- В этом случае жизнедеятельность системы может поддерживаться лишь некоторое ограниченное время за счет запасов вещества и энергии, имеющих в системе, и расход которых временно позволяет сохранять равенство темпов расходования веществ в местах их траты и скорости поступления веществ к этим местам из "дело" внутри системы (область  $\Omega_p$ ).

# Примеры

## Простой автоматический регулятор по отклонению с отрицательной ОС



## Общая схема механизма регулирования темпа поступления кислорода в ткани



$E = w - y$  - управляющий сигнал

# Типы и средства управления

## **Вещественное управление**

использует самые различные фармакологические, гормональные, химические и другие агенты в твердом, жидком и газообразном состоянии для управления состоянием живого организма и его отдельными физиологическими подсистемами.

## **Энергетическое управление**

предусматривает воздействие на биологическую систему в целом или на ее подсистему физических управляющих агентов, не изменяющих количество вещества биологического объекта.

## **Энергетическое управление**

## **Вещественное управление**

## **Информационное управление**

## **Информационное управление**

- управление состоянием человека с помощью воздействия специально сформированных потоков информации на вторую сигнальную систему