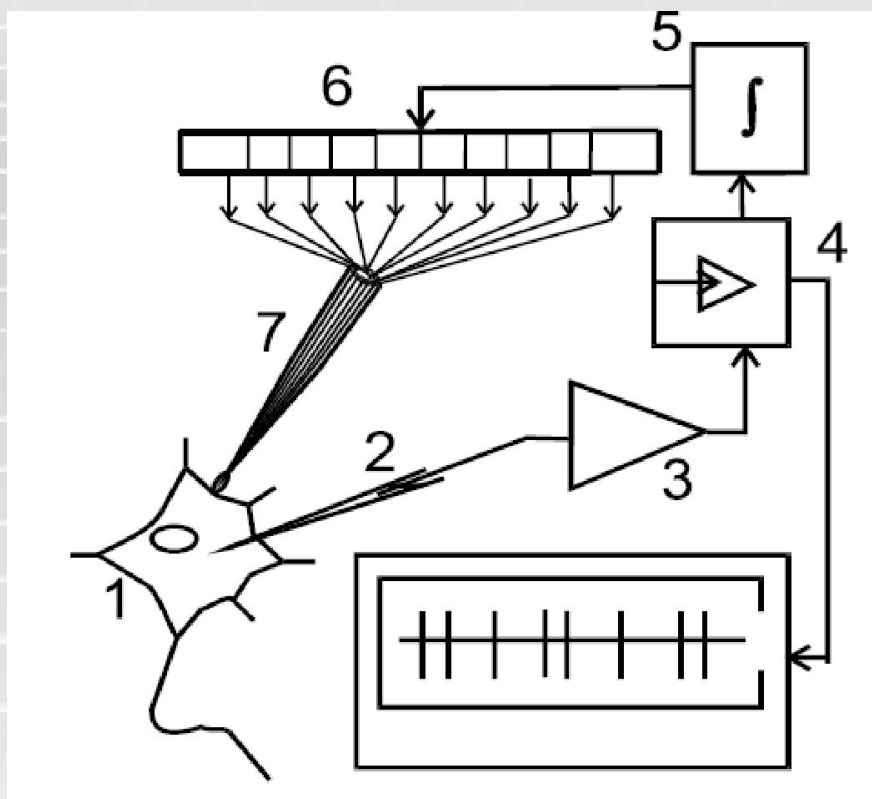


# ТЕОРИЯ БИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ



Презентационные материалы к курсу лекций  
«Теория биотехнических систем»

Для студентов направления 200300 «Биомедицинская инженерия»

Разработал: к.т.н., доцент каф. ЭГА и МТ

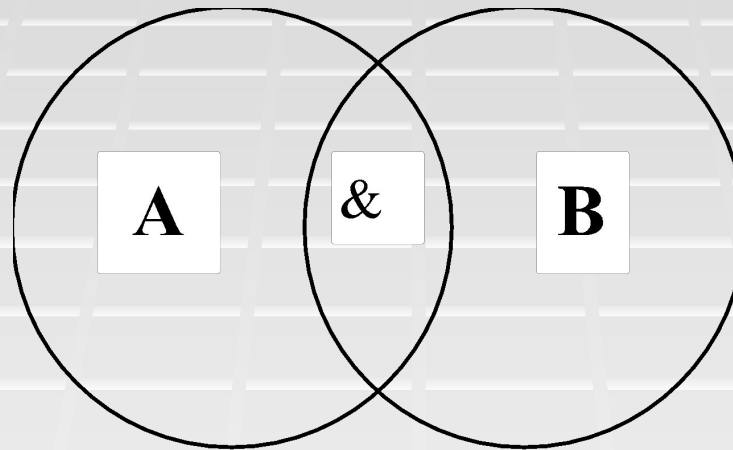
Кириченко И. А.

# Моделирование систем как метод научного познания

- ❑ **Гипотеза**, т.е. определенное предсказание, основывающееся на небольшом количестве опытных данных, наблюдений, догадок.
- ❑ **Аналогия** - суждение о каком-либо частном сходстве двух объектов.
- ❑ **Модель** (*modulus* - мера с лат.) - это объект-заместитель объекта - оригинала, обеспечивающий изучение некоторых свойств оригинала.
- ❑ **Формы соответствия** модели и оригинала могут быть различными:
  - ❑ 1) моделирование как познавательный процесс, содержащий переработку информации, поступающей из внешней среды;
  - ❑ 2) моделирование заключается в построении некоторой модели - системы (второй системы), связанной с системой-оригиналом (первой системой), причем в этом случае отображение одной системы в другой является средством выявления зависимостей между двумя системами, отображенными в соотношениях подобия, а не результатом непосредственного изучения поступающей информации.

# Принципы системного подхода

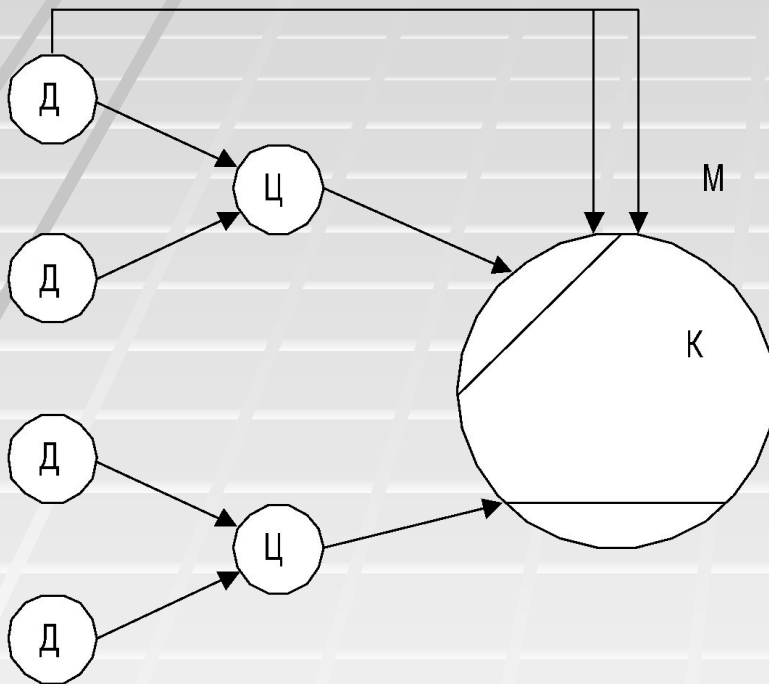
- ❑ Система  $S$  - целенаправленное множество взаимосвязанных элементов любой природы;
- ❑ Внешняя среда  $E$  - множество существующих вне системы элементов любой природы, оказывающих влияние на систему или находящихся под ее воздействием.



Система это не просто совокупность элементов и связей того или иного вида, а включает только те элементы и связи, которые находятся в области пересечения (&)

# Принципы системного подхода

## Классический подход

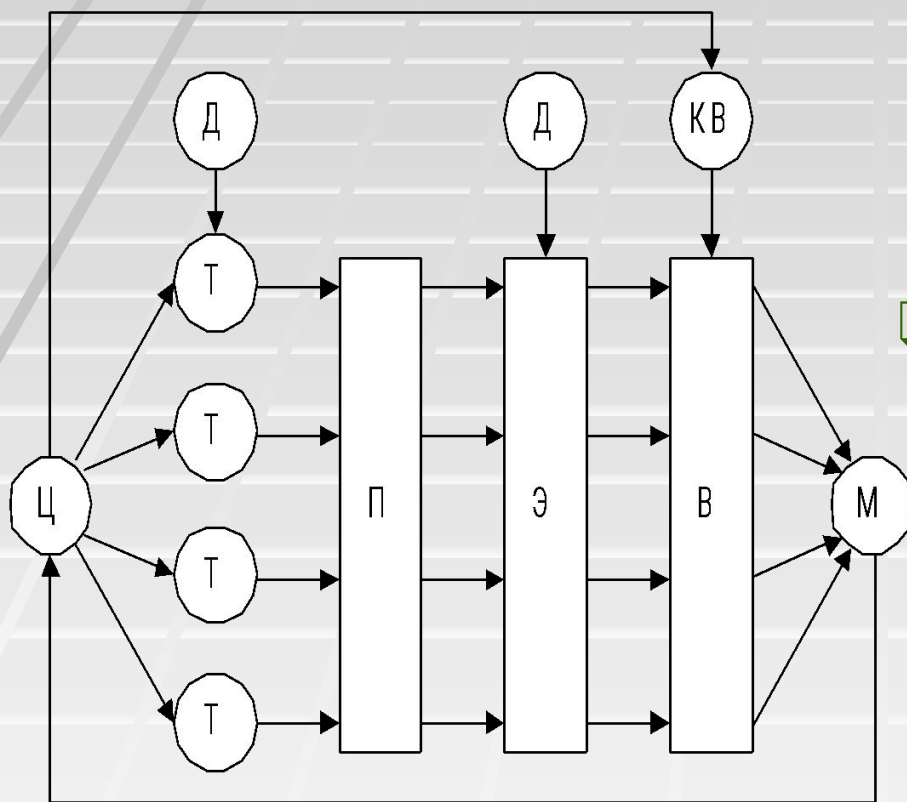


- ❑ Реальный объект, подлежащий моделированию, разбивается на отдельные подсистемы, и выбираются исходные данные  $Д$  для моделирования и, ставятся цели  $Ц$ , отображающие отдельные стороны процесса моделирования.
- ❑ По отдельной совокупности исходных данных  $Д$  ставиться цель моделирования отдельной стороны функционирования системы, на базе которой формируются некоторые компоненты  $К$  будущей модели  $М$ .
- ❑ Совокупность компонент объединяется в модель  $М$ . Т.о. разработка модели  $М$  на базе классического подхода означает суммирование отдельных компонент  $К$  в единую модель.



# Принципы системного подхода

## □ Системный подход



□ На основе исходных данных  $D$ , которые известны из анализа внешней системы, тех ограничений, которые накладываются на систему, формируется требования  $T$  к модели системы  $S$ .

□ На базе этих требований формируются ориентировочно некоторые подсистемы  $П$ , элементы  $Э$  и осуществляется наиболее сложный этап синтеза - выбор  $В$  составляющих систем, для чего используются специальные критерии выбора  $КВ$ .

# СИСТЕМА КАК ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

- Основные задачи общей теории систем:
- 1) способы представления исследуемых объектов как систем,
- 2) построение обобщенных моделей системы и моделей, различных свойств системы.

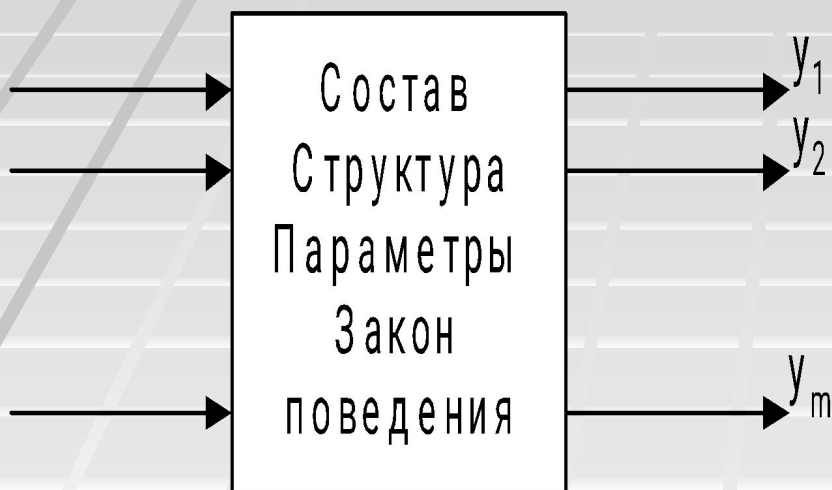
- СИСТЕМА определяется как некоторый класс подмножеств:

$$S = (M_S^i; L_S^i; K_S^i)$$

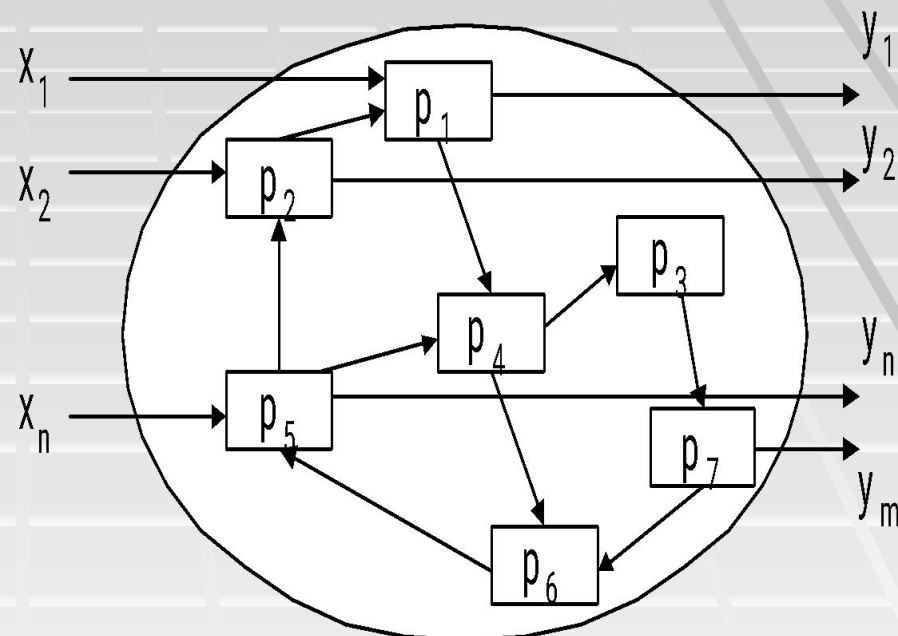
где  $M_S$  - подкласс множеств элементов системы  $S$ ;  $L_S^i$  - подкласс множеств образующихся в результате деления элементов системы  $S$  на подэлементы;  $K_S^i$  - подкласс таких множеств, в которые рассматриваемая система  $S$  сама входит в качестве элемента.

# СИСТЕМА КАК ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

□ Общая схема системы

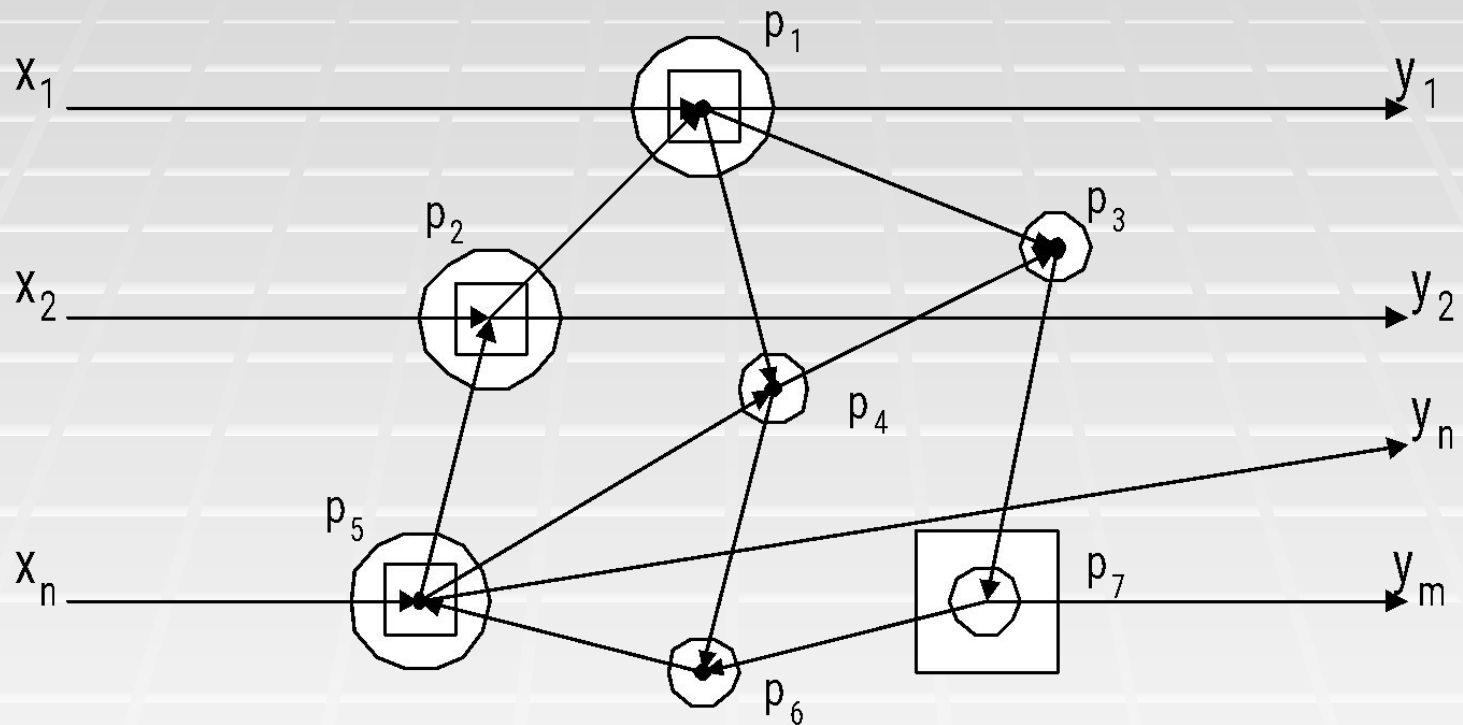


□ Блок-схема системы

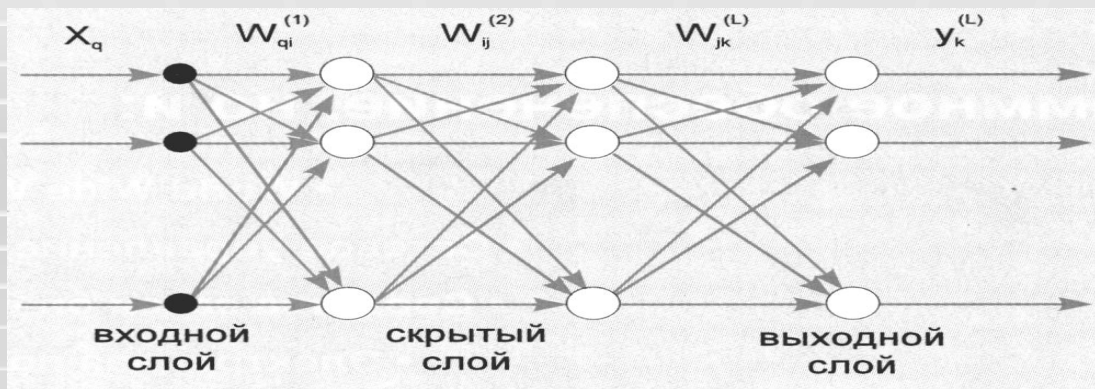


# СИСТЕМА КАК ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Представление системы в виде графа



# СИСТЕМА КАК ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ



- ✓ Совокупность  $N$  изолированных элементов еще не является системой.
- ✓ Для изучения системы нужно провести  $N$  исследовательских процедур.
- ✓ Для исследования системы из  $N$  элементов необходимо изучить  $N(N-1)$  связей.
- ✓ Если характеризовать связи простейшим образом, т.е. отмечать в любой момент времени  $T$  только наличие либо отсутствие воздействия, то общее количество состояний системы равно  $2^{N(N-1)}$ .
- ✓ Так при  $N=7$  это количество определяется числом  $2^{42} > 4 \times 10^{12}$ .

# СИСТЕМА КАК ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

## ☐ Классификация систем по сложности

- ☐ 1) **простые системы**, состоящие из небольшого числа элементов и характеризующиеся простым динамическим поведением,
- ☐ 2) **сложные системы**, структура которых отличается разветвленностью и разнообразием связей, но поддается точному описанию,
- ☐ 3) **очень сложные системы**, точно и подробно описать которые нельзя.

## ☐ Классификация систем по характеру поведения

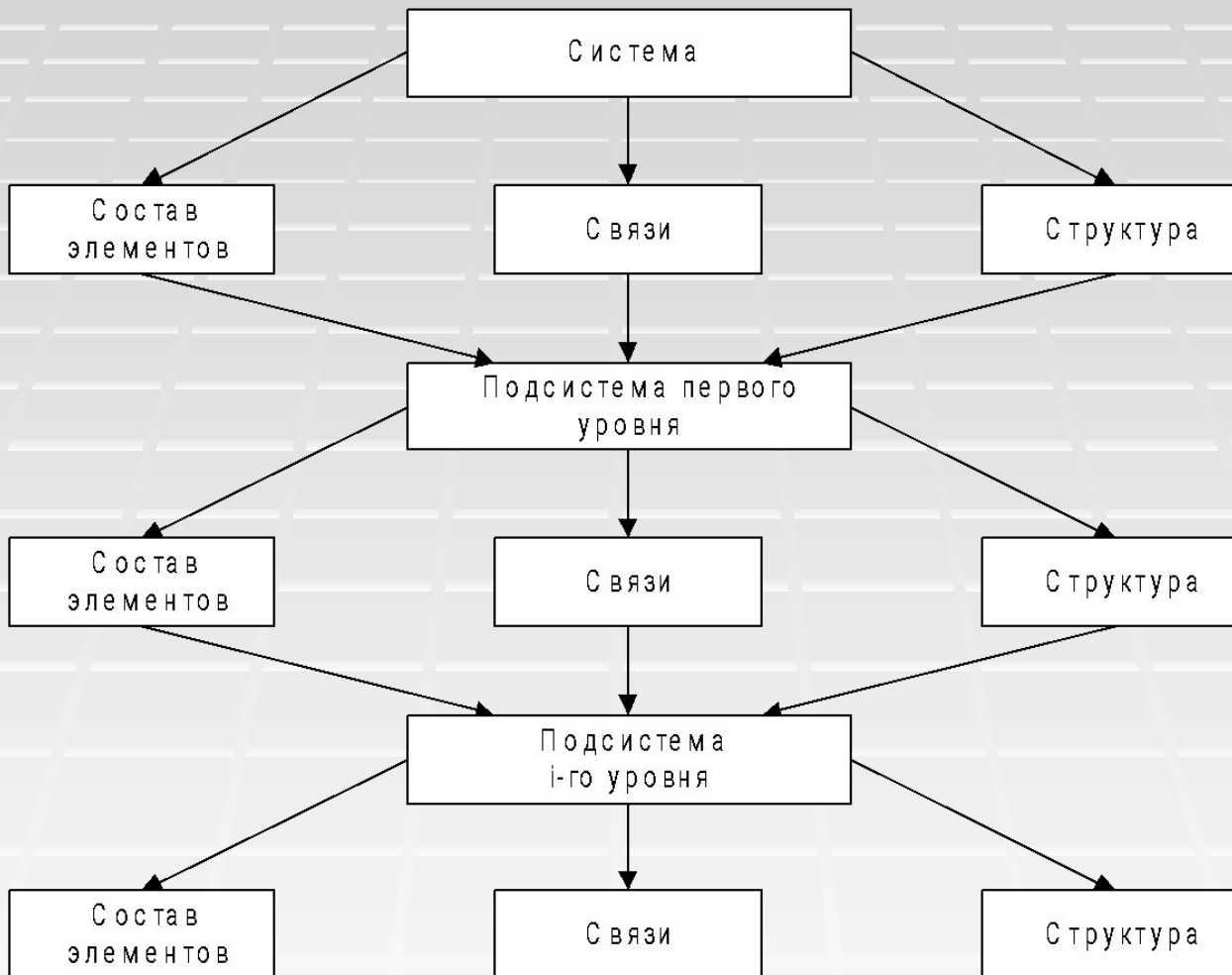
- ☐ 1) **детерминированные**, для которых точно известен закон поведения,
- ☐ 2) **стохастические**, для которых можно определить вероятность того или иного ее состояния.

# СИСТЕМА КАК ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

- ❑ Классификация систем по информационным входам и выходам
  - ❑ 1) **информируемые системы**, имеющие хотя бы один информационный вход;
  - ❑ 2) **информирующие системы**, имеющие хотя бы один информационный выход;
  - ❑ 3) **информационные системы**, имеющие некоторое количество информационных входов и выходов .
- ❑ Классификация систем по характеристикам элементов: *линейные, нелинейные и гистерезисные системы*
- ❑ Классификация систем по типу связей между элементами: *замкнутые, разомкнутые, с непосредственными и опосредованными связями, прямыми и обратными связями.*

# Способы описания систем

- Морфологическое описание системы





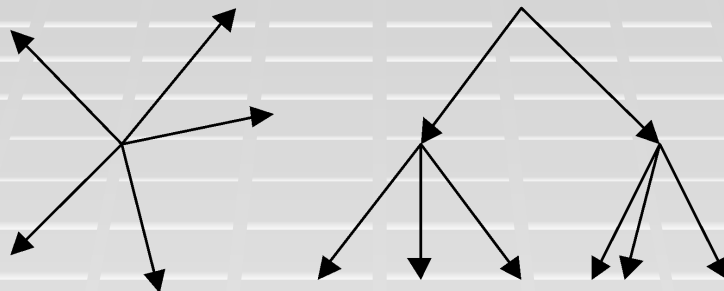
# Способы описания систем

- ❑ **Морфологическое описание** начинается с характеристики элементного состава, который может быть **гомогенным** (содержать однотипные элементы), **гетерогенным** (содержать разнотипные элементы), **смешанным**.
- ❑ Затем исследуются **свойства элементов**:
  - ▢ **по содержанию** (информационные, энергетические, вещественные смешанные);
  - ▢ **по степени специализации** (для однотипных функций, для близких (смежных) функций, для разнотипных функций);
  - ▢ **по степени свободы** (программные, адаптированные и инициативные);
  - ▢ **по времени действия** (регулярные, непрерывные, нерегулярные).
- ❑ **Характеристика связей** между элементами внутри системы и между системой и средой: **информационные, энергетические, вещественные, смешанные**

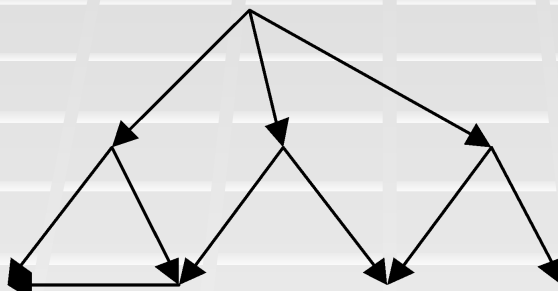
# Способы описания систем

- Структурные свойства систем определяются характером отношений между элементами системы:

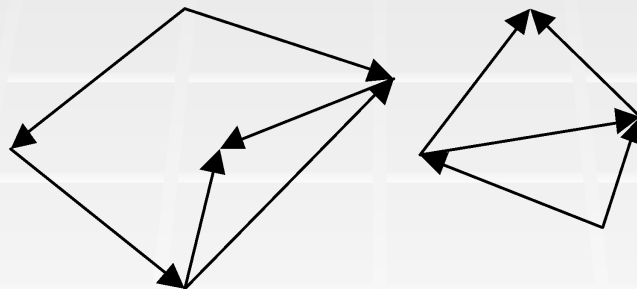
□ иерархические



## МНОГОСВЯЗНЫЕ



□ смешанные



# Способы описания систем

Пример:

При количестве элементов  $n = 20$  полное число связей между элементами системы  $n(n-1) = 380$ , число вариантов системы 2.

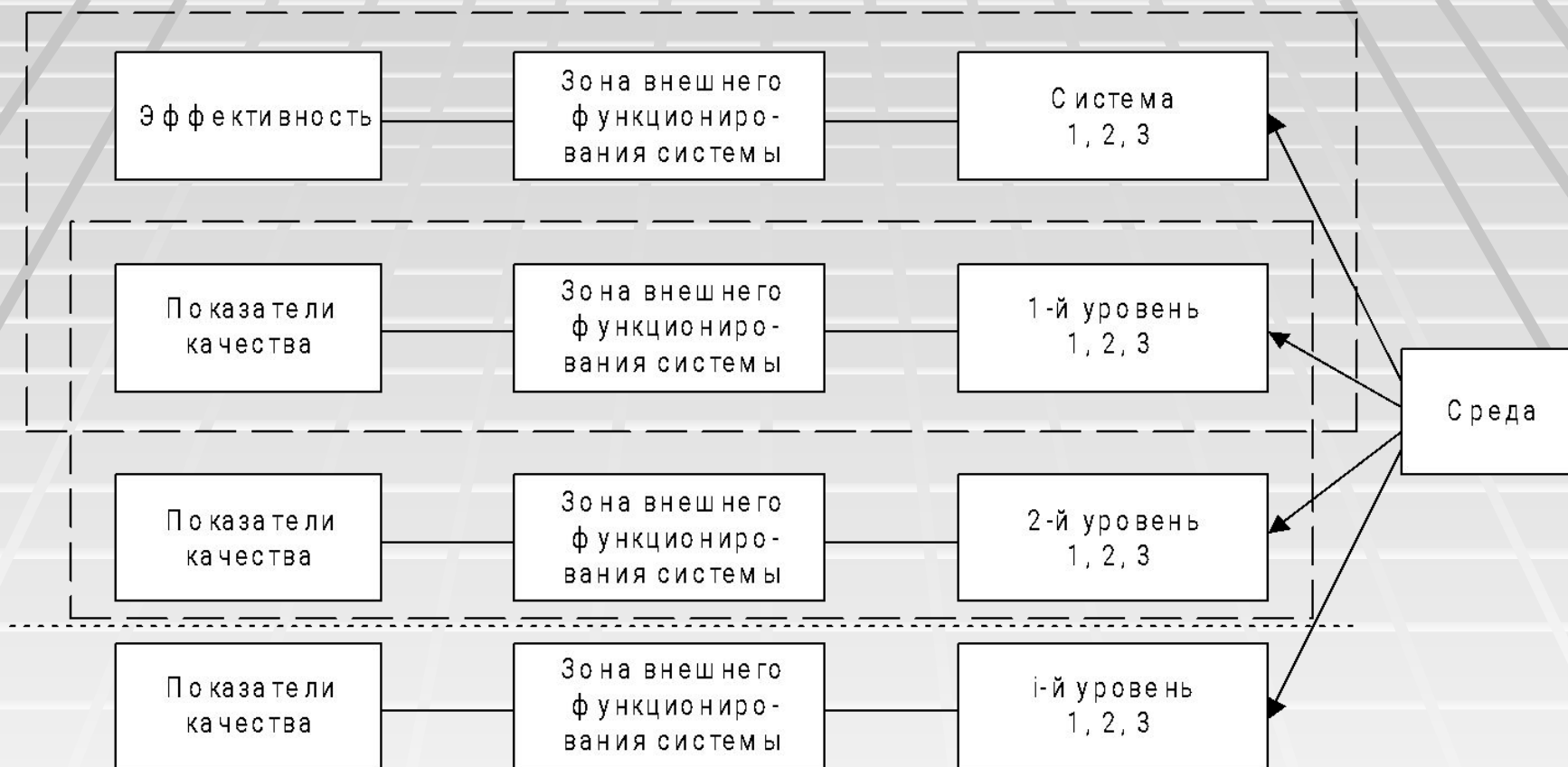
Если эта система разделена на  $K=4$  подсистемы  $n=5$  элементов в каждый, а для всех  $k$  подсистем  $n(n-1)K=80$ . Число связей между подсистемой  $K(K-1)=12$ .

Т.о. общее число связей  $80+12=92$  вместо 380.

- Различают следующие типы подсистем (элементов):
- **эффекторные**, способные преобразовывать управляющие воздействия и воздействовать веществом, энергией или информацией на другие подсистемы, соседние системы и среду;
- **рецепторные**, способные преобразовывать внешние воздействия в информационные сигналы;
- **рефлексивные**, способные воспроизводить внутри себя процессы воздействия на информационном уровне;
- **неопределенные**, которые не могут быть точно отнесены ни к одному из перечисленных типов.

# Способы описания систем

## Функциональное описание системы



## Способы описания систем

- ❑ Функциональное описание исходит из целевых функций (одной или нескольких) системы:
  - ❑ пассивное существование в качестве материала для других систем;
  - ❑ обслуживание систем более высокого порядка;
  - ❑ противостояние другим системам и среде (выживания);
  - ❑ поглощение или подавление других систем;
  - ❑ преобразование других систем и среды.
- ❑ Информационное описание системы позволяет оценить организованность системы, характеризует циркулирующие в системе информационные потоки, определяет упорядоченность системы и выражает способность системы предсказывать свое будущее поведение, дает перспективу.

# БИОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

- Рассмотрение организма с позиций системного анализа
- 1. Существование организма как целостной системы в условиях частых изменений физико-химических свойств внешней среды связано со значительными энергозатратами. На первом месте на всех уровнях биологической организации выступает экономичность обмена веществ. При этом высшие организмы переходят к более энергоемким продуктам питания (от растительной пищи к животной).
- 2. Сравнения низших и высших форм показывает, что простейшие одноклеточные организмы находятся в негативных условиях, с одной стороны вследствие несовершенства форм преобразования энергии питательных веществ (основной процесс преобразования - брожение), а с другой, в результате большей площади контакта с внешней средой по отношению к объему организма, что приводит к значительным удельным энергозатратам. У высших форм более совершенны клеточные преобразования энергии (окислительное фосфорилирование).
- 3. На более высоких уровнях развития клетки, объединенные в одном организме, изолируют себя от управляющей внешней среды, создавая промежуточную, более регулируемую внутреннюю среду.

# БИОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

- Рассмотрение организма с позиций системного анализа
- 4. Появление внутренней среды, необходимость поддержания параметров этой среды на условиях нормального функционирования организма приводит к появлению специализированных систем регулирования параметров внутренней среды (температуры, кислотности, давления и т.д.). На уровне отдельных слоев организма принцип экономичности принимает формы минимизации расхода энергии.
- 5. У высших форм организмов постоянный контроль за работой отдельных органов и систем обеспечивается разветвлением рецепторной подсистемой.
- 6. Происходит обособление восприятия и обработки информации от двигательной деятельности, формируется нервная система, функции которой не производительной, а целиком управленческие, организующие.
- 7. Выполнение функций может происходить под влиянием сразу нескольких подсистем, а само влияние выражается в различных физико-химических способах передач управляющих сигналов: гидродинамическом, гуморальном, нервном и т.д.

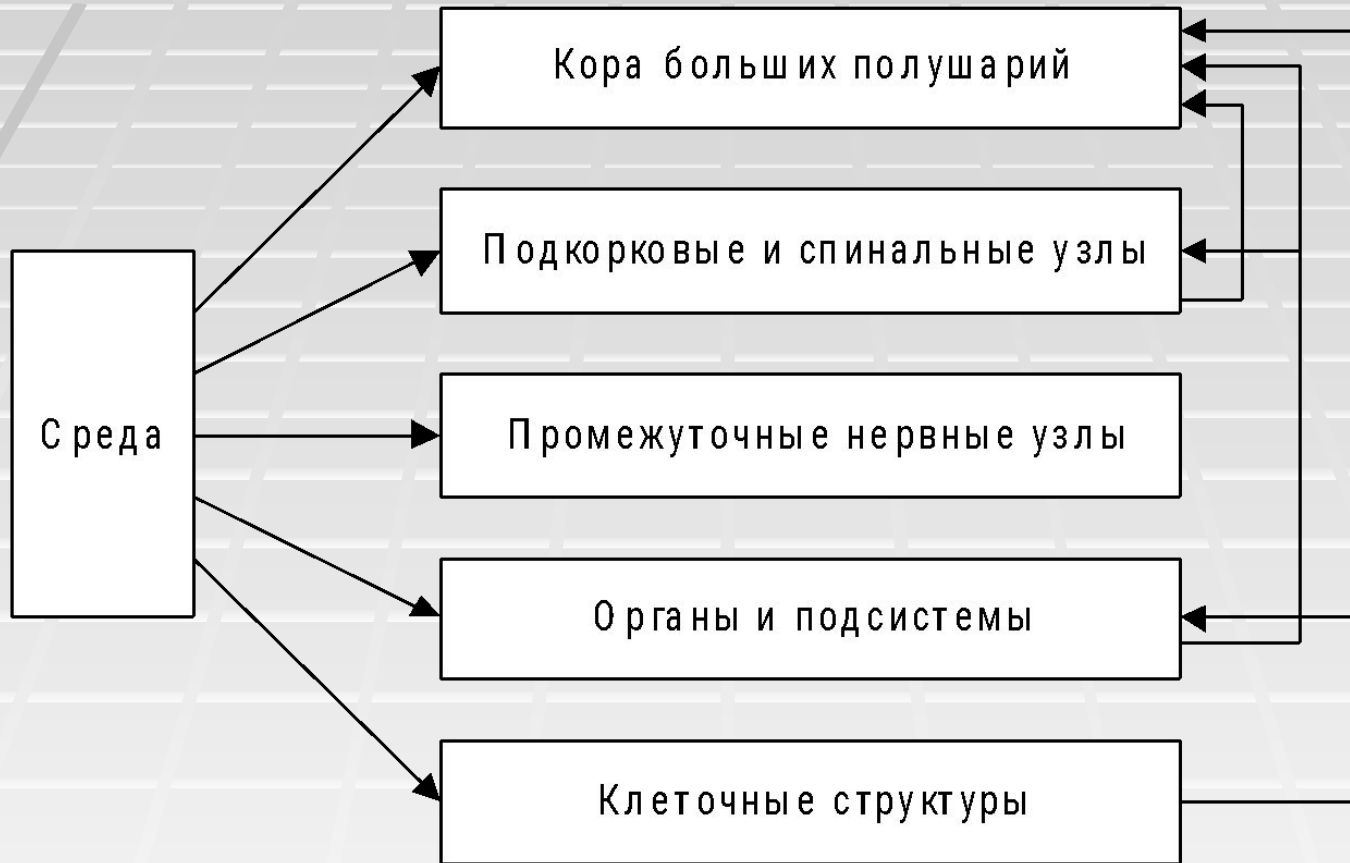
# БИОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

- Некоторые принципы организации управления, действующие в биологических системах.
- 1. Анализ результатов физиологических исследований позволяет легко обнаружить иерархическую организацию этих подсистем.
- 2. Органы и подсистемы организма, управляемые нервными центрами, решают отдельные частные задачи регулирования в соответствии со своей сложно организованной внутренней структурой.
- 3. Иерархичность структуры организма приводит к тому, что взаимодействие нервной системы с органами и подсистемами строится на принципе последовательности уровней.
- 4. Для нормального функционирования всего организма необходим обмен информацией между уровнями как с верху вниз, так и снизу вверх.



# БИОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Упрощенная схема многоуровневого управления



# БИОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

- Зависимость функционального уровня организма от режима воздействия
- 1. **Совокупность существенных переменных**, описывающих физико-химические свойства внутренней среды организма и физические характеристики **определяет функциональный уровень организма.**
- 2. В состоянии режима покоя, или слабых воздействий каждая подсистема организма работает по принципу наименьшего взаимодействия.
- 3. При сильных внешних воздействиях на организм принцип наименьшего взаимодействия нарушается, возникают эффекты непосредственного возмущающего воздействия одних подсистем на другие - эффекты иерархических влияний, доминирования, конкурентных отношений.
- 4. Попадая в экстремальные условия организм стремится поддержать постоянство наиболее важных показателей в ущерб менее ответственным, т.е. действует принцип поддержания постоянства внутренней среды.

# БИОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

## □ Организация выполнения функций управления

- 1. В организации выполнения функций у высших организмов принимает участие сразу несколько уровней управления. При этом регулирующий фактор может передаваться разными путями: нервными, гормональными, гидродинамическими, биохимическими и пр.

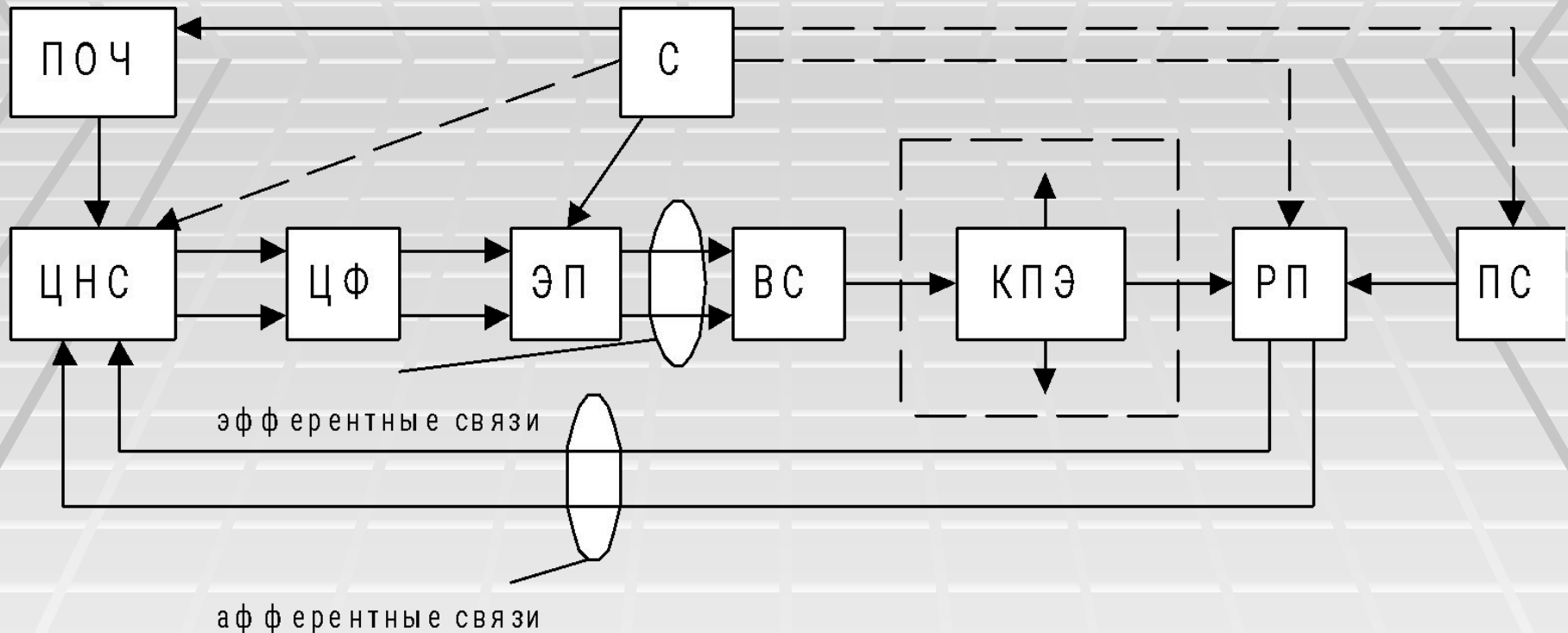
*Пример: На низших уровнях используется биохимический и гидродинамический пути. На высших уровнях используется гормональный и нервный (нейрогуморальный).*

- 2. Скорость протекания процессов при различных способах передачи сигналов различна. Поэтому для одновременного функционирования всех уровней целостного организма характерен принцип разновременности процессов.

*Пример: Время запаздывания б передаче управляющих сигналов нервным путем достигает 0,3 сек., химическим путем - 3 сек, нейрогуморальным - 3 мин., гормональном - 7 мин. кванты поведения и погрешности созревания составляют соответственно 10 и 30 дней, а жизненные процессы и процессы деградации - 15 и 70 лет. Первые 4 показателя (0,3сек,-7мин.) соответствует гомеостатическим механизмам регуляции, а остальные адаптивным процессам и генетическим эффектам.*

# ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗМА

## Общая схема функциональной системы

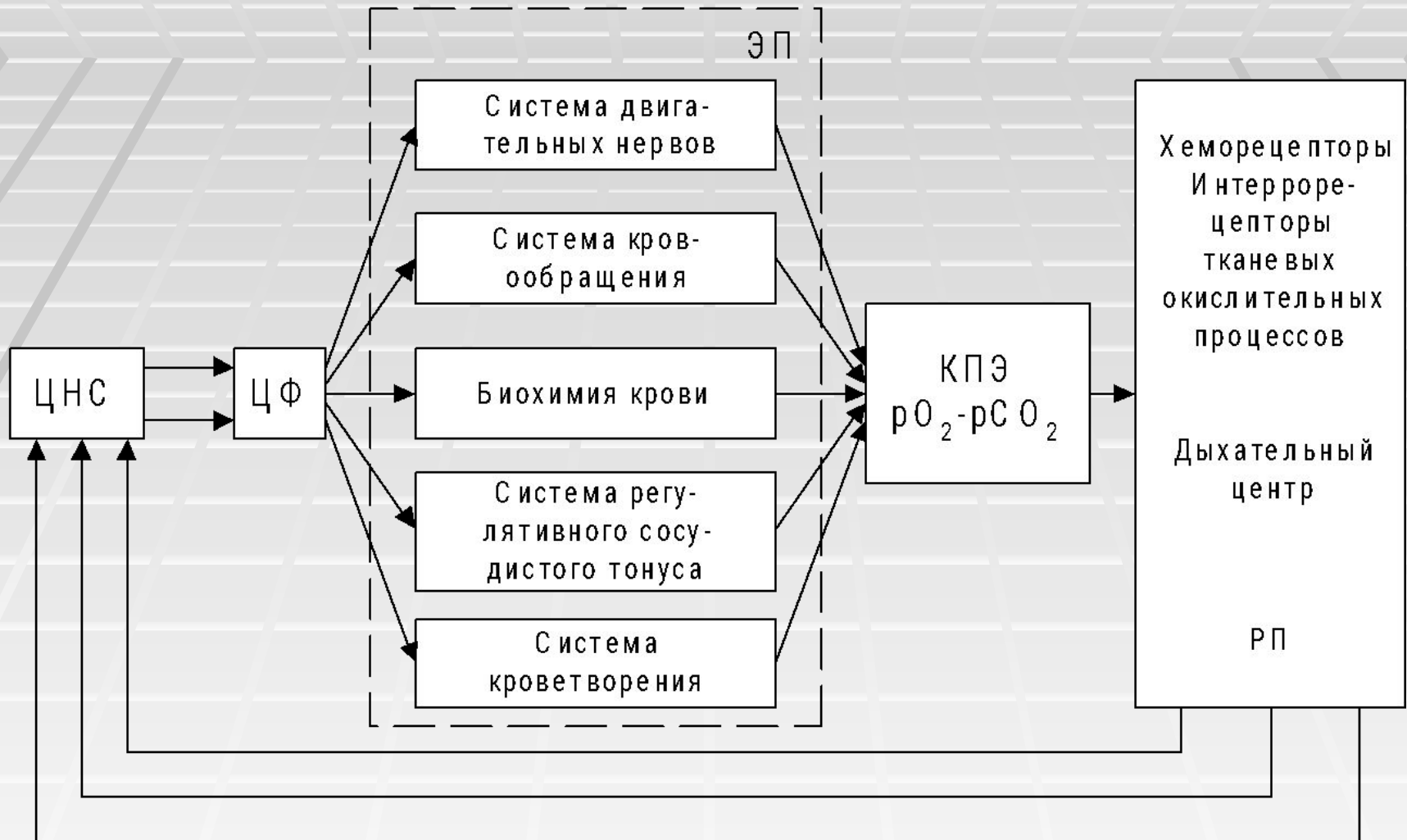


*КПЭ - конечный полезный эффект, ПОЧ - подсистема органов чувств, РП - рецепторные подсистемы. ЦФ - целевая функция, ВС - внутренняя среда. ЭП - эффекторные подсистемы, ПС - параметры внешней среды, С - внешняя среда, ЦНС - центральная*

*нервная система.*

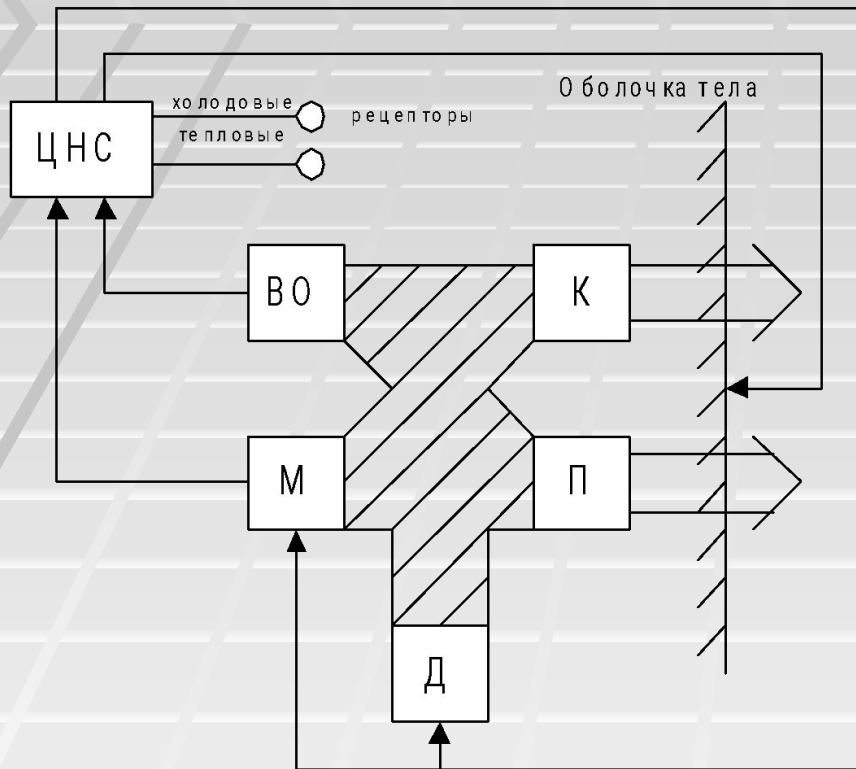
# ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗМА

## Система внешнего дыхания



# ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗМА

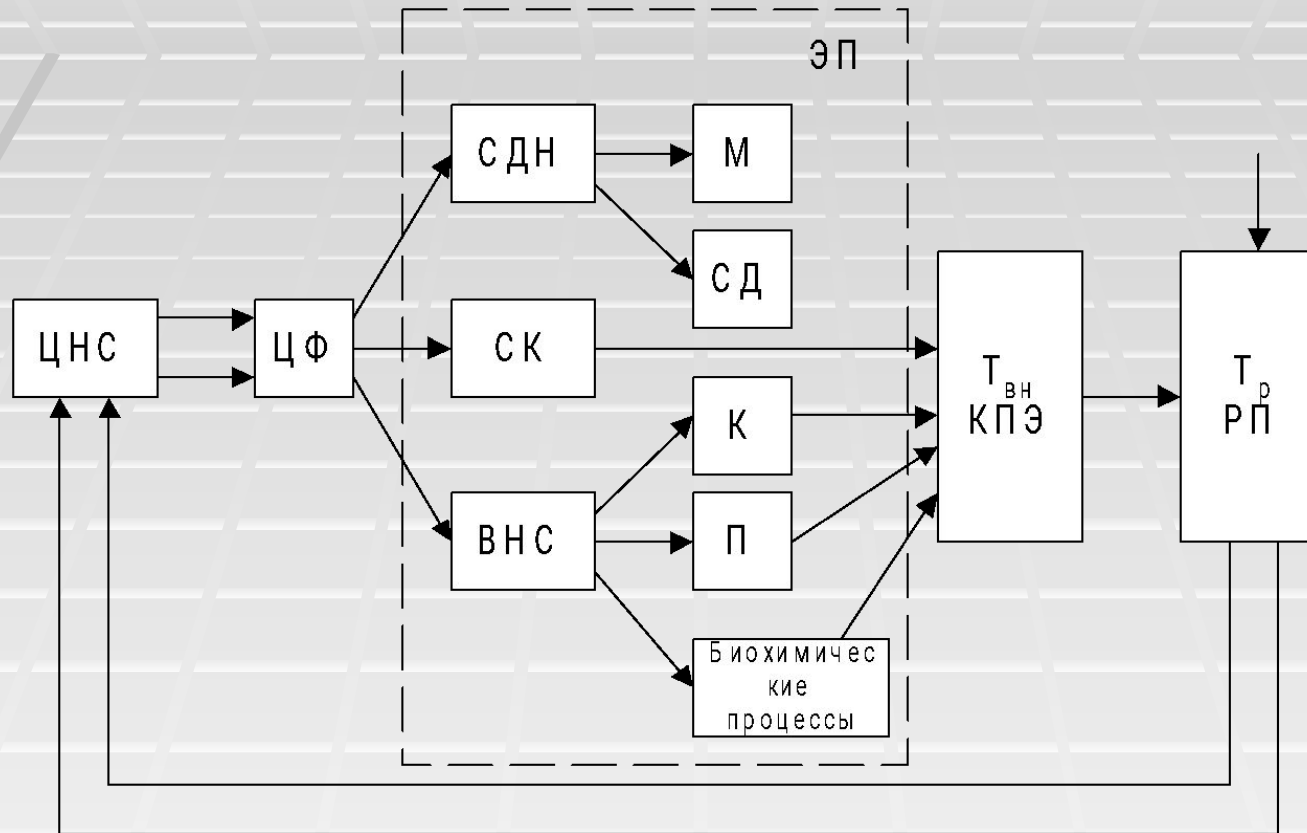
## Система терморегуляции



- ЦНС - центральная нервная система,
- М - мышцы,
- ВО - внутренние органы.
- Д - дыхание.
- П - потоотделение,
- К - изменение интенсивности кровотока.

# ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗМА

## Функциональная схема системы терморегуляции



ЦНС - центральная нервная система, ЦФ - целевая функция, СДН -система двигательных нервов, СК - система кровообращения, ВНС -вегетативная нервная система. ЭП - эффекторные подсистемы, М -мышцы. СД - система дыхания, К - кровоток, П - потоотделение, РП - рецепторные подсистемы.

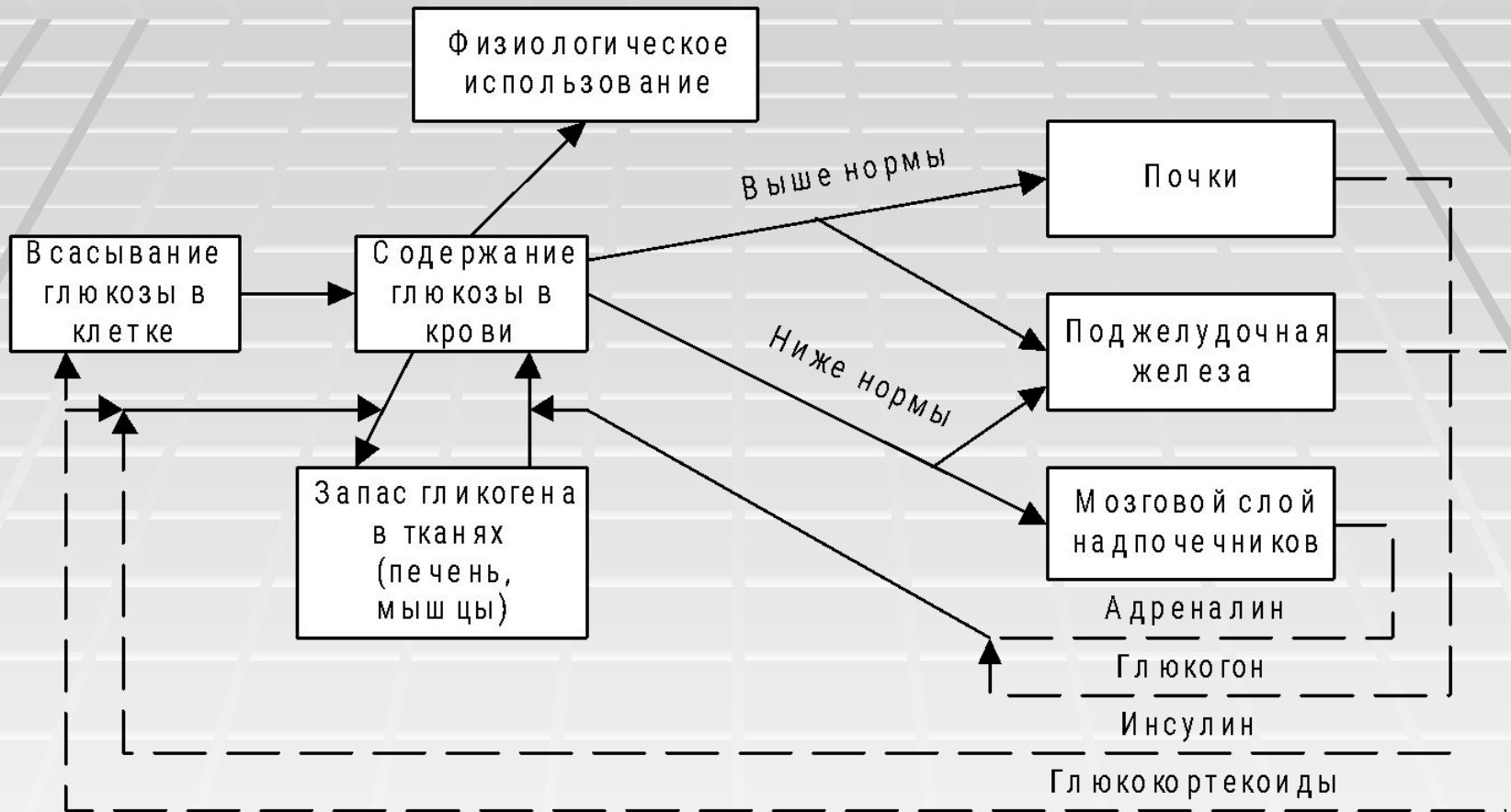
# ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗМА

- ❑ В качестве конечного полезного эффекта (КПЭ) выступает  $T_{\text{внутр.}}$
- ❑ Основной переносчик тепла - кровь.
- ❑ Передача тепла внутри организма осуществляется путем конвекции, обеспечиваемой кровообращением.
- ❑ Регулирующие воздействия, оказывающих влияние на температуру тела:
  - ❑ теплопродукция определяется процессами окисления в мышцах ( $M$ ) и внутренних органах ( $BO$ )',
  - ❑ теплоотдача определяется изменением величины поверхности тела, учащенным дыханием ( $D$ ), потоотделением ( $П$ ), изменением интенсивности кровотока ( $K$ ).
- ❑ Конвекцией удаляется 15% тепла путем нагревания молекул воздуха, соприкасающихся с поверхностью организма, 25% теплоотвода составляет испарение влаги, присутствующей на коже почти 60% тепла удаляется в результате излучения.



# ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗМА

## Система регуляции сахара в крови

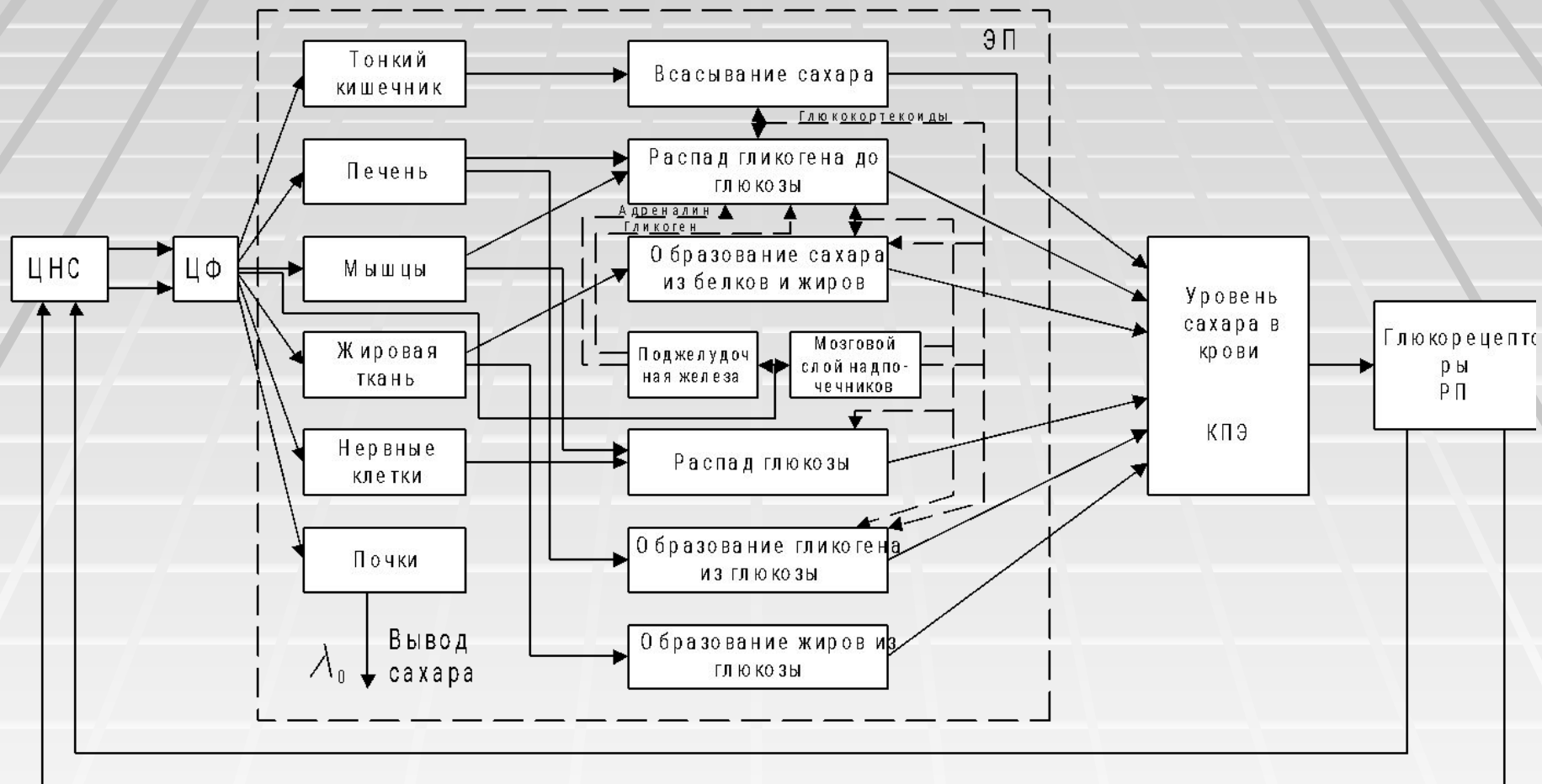


# ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗМА

- ❑ Система регуляции сахара в крови - система клеточного обмена, поддерживающие содержание глюкозы в крови.
- ❑ Отличительной особенностью системы является гормональный механизм управления.
- ❑ Важнейшим источником энергии для организма служит сахар, который находится в крови в виде глюкозы.
- ❑ Различают несколько процессов, регулирующих уровень глюкозы в крови.
- ❑ 1. Увеличение поступление глюкозы в кровь обусловлено всасыванием сахара в тонком кишечнике (под воздействием глюкокортикоидов, вырабатываемых корой надпочечников): распадом гликогена в печени и мышцах до глюкозы (усиливается под действием адреналина и гликогена и замедляется под действием инсулина и глюкокортикоидов) образованием сахара из белков и жиров в печени (усиливается глюкокортикоидами и ослабляется инсулином).
- ❑ 2. Понижение уровня сахара происходит в результате распада глюкозы в мышцах и нервных клетках (усиливается под действием инсулина и тироксина) образование гликогена из глюкозы (усиливается под действием инсулина и глюкортикоидов) этот процесс ведет к аккумулялированию углеводов в печени и мышцах образованию жиров из глюкозы.

# ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗМА

## Система регуляции сахара в крови



# ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

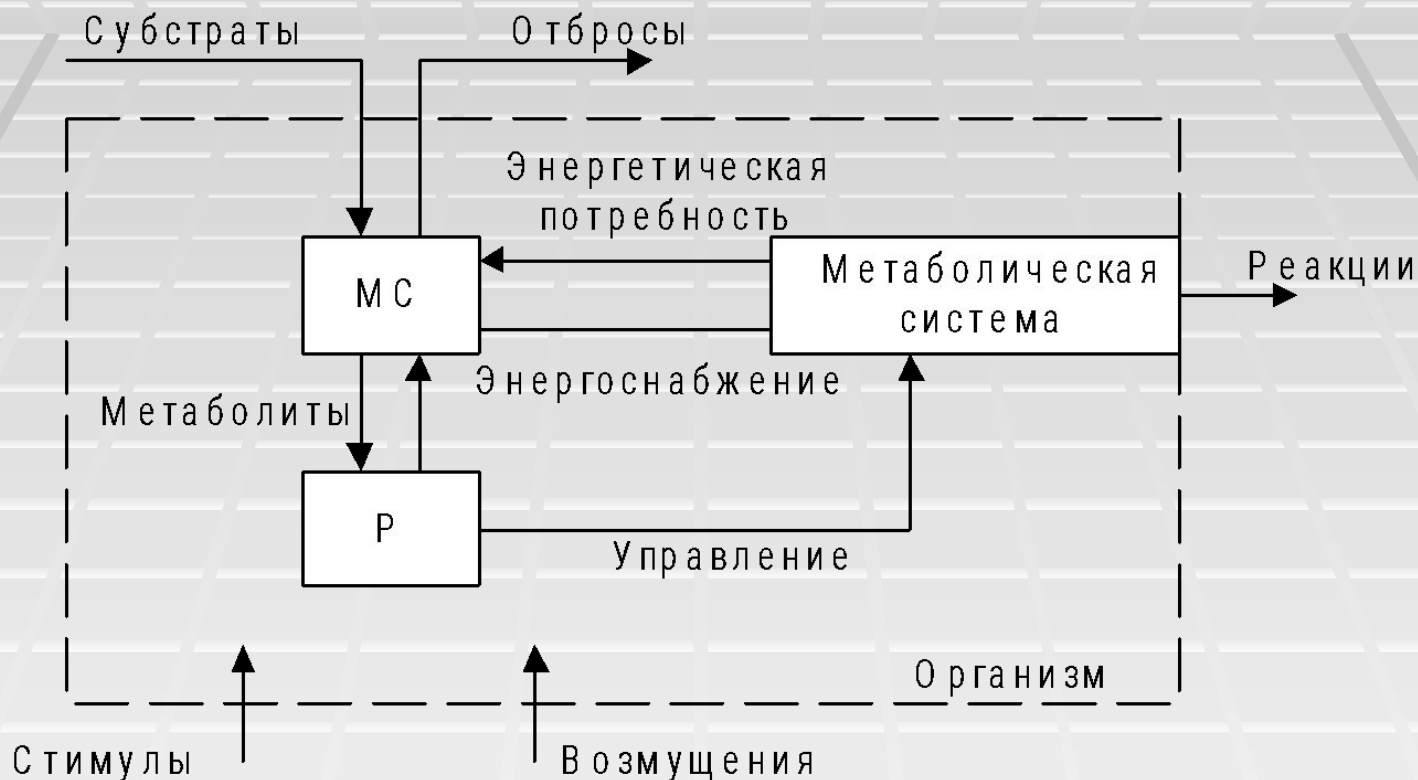
- ❑ 1. Любая биологическая система необычайно сложна, включает множество разнообразных подсистем с многообразными и подвижными связями и функциями, что приводит к большому количеству возможных состояний.
- ❑ 2. При изучении биологической системы приходится считаться с непрерывно изменяющимся комплексом множества факторов, активно воздействующих на систему или на подсистему.
- ❑ 3. Состояния биологической системы описывается набором физиологических процессов и большим количеством разнородных медико-биологических показателей, число которых окончательно не установлено. При этом процессы и показатели неоднозначно определяют состояние системы.
- ❑ 4. Для биосистем характера качественная неоднородность, проявляющаяся в том, что в рамках одной и той же функциональной системы совместно и слажено работают разнородные подсистемы с разными постоянными времени, с качественно различными управляющими сигналами (химическими, физическими, информационными).
- ❑ 5. Большое число параметров, описывающих биологическую систему, - затрудняет, а иногда и исключает возможность их одновременного фиксирования для получения представления о мгновенном состоянии системы.

# ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

- ❑ 6. Отсутствие количественных характеристик состояния и функций биологической системы приводит к тому, что результат внешних управляющих воздействий на нее не может быть предсказан однозначно.
- ❑ 7. Неоднозначность реакции на один и тот же набор сигналов внешней среды или смежных иерархических уровней указывает так же на нестационарность самих биосистем.
- ❑ 8. Изменчивость и индивидуальность параметров приводит к широкому использованию в медицине и биологии методов математической статистики (биометрии)
- ❑ 9. Большие трудности возникают при измерении параметров внутренней среды биологических систем без нарушения их целостности, без внесения искажений в измеряемый параметр из-за физиологичности эксперимента.
- ❑ 10. Сложность измерений связана так же со сравнительно малыми абсолютными значениями измеряемых величин при больших уровнях шумов.

# ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

## Схема потоков энергии и информации в организме



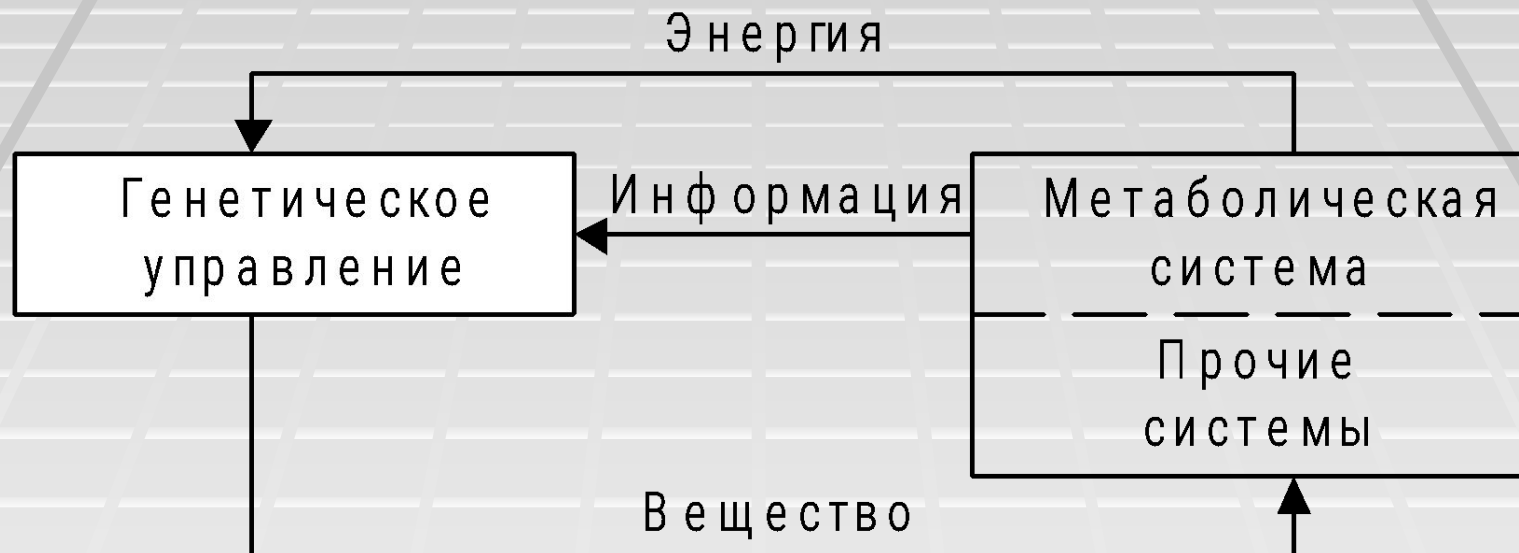
МС - метаболическая система, Р - блок регуляторных механизмов, Э - блок эффектов, Субстраты - исходные и промежуточные продукты обмена веществ (метаболитов)

# 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

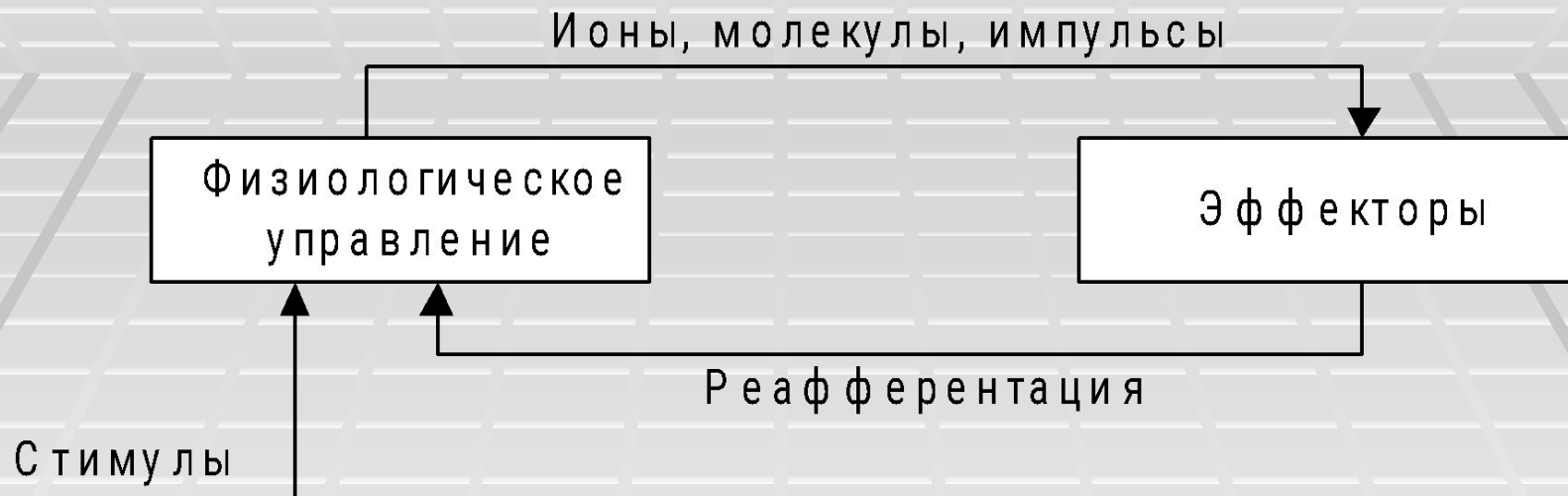


- Генетическая система, получая от остальных систем энергию и информацию в виде метаболитов (продуктов обмена веществ) или в виде гормонов роста в период становления организма, управляет процессами синтеза необходимых веществ и поддерживает жизнедеятельность остальных систем организма.



# 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

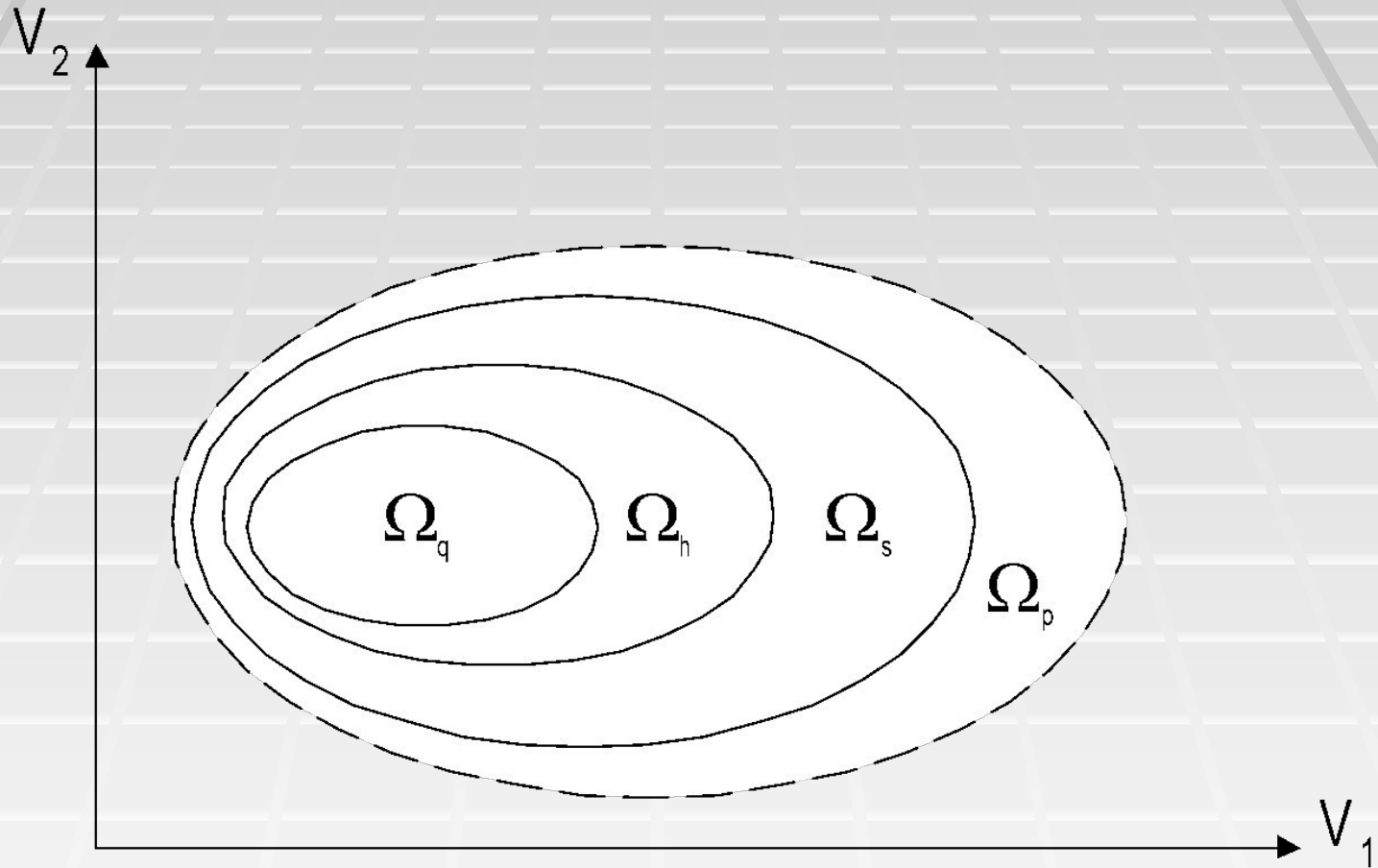
- При описании живых систем используются два типа величин характеризующих функционирование или состояния той или иной системы. Один из них связан с количеством веществ. Эти величины, называются **уровнями**.
- *Пример: уровень сахара в крови, концентрация различных субстратов или ферментов в клетках, 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:
  - ❑ во-первых, состояние равновесия в живых организмах, относящееся к различным функциям и химическому составу жидкостей и тканей;
  - ❑ во-вторых, осуществляется процесс, посредством которого поддерживается это равновесие.
- ❑ В живых системах имеет место иерархия трех уровней.

# ГОМЕОСТАЗ И РЕГУЛЯЦИЯ ПАРАМЕТРОВ

Иерархия целей в биологической системе



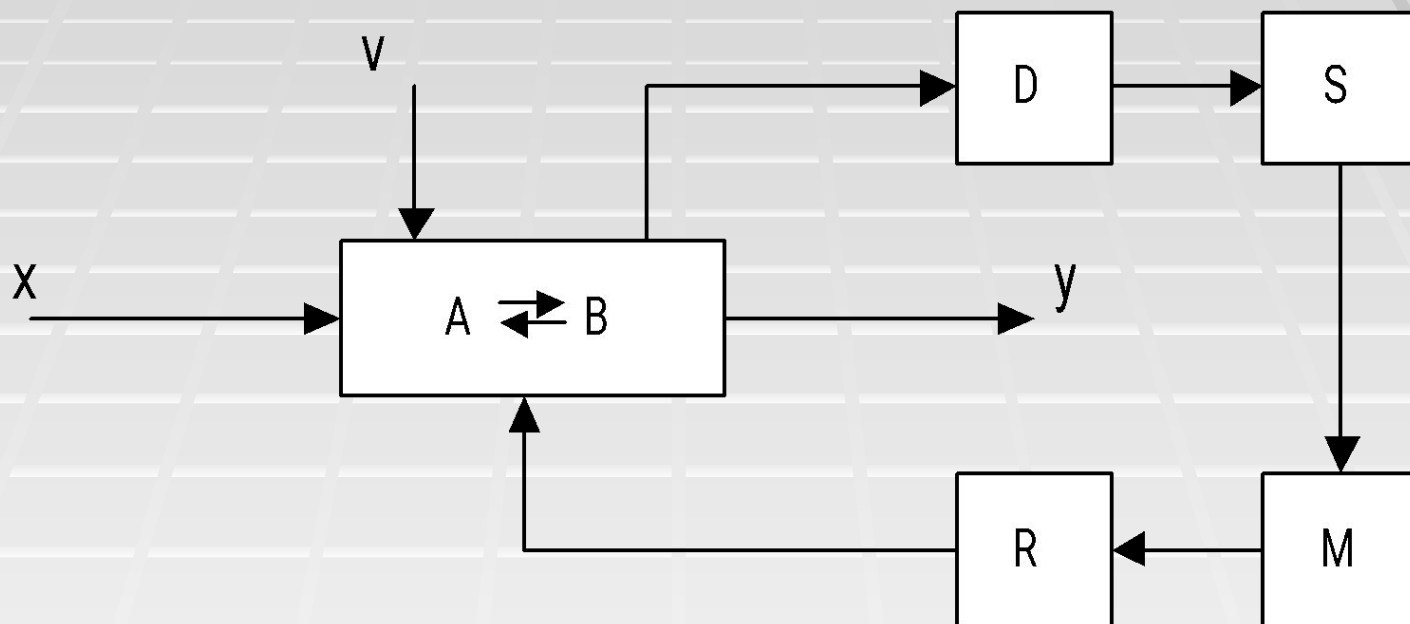
# ГОМЕОСТАЗ И РЕГУЛЯЦИЯ ПАРАМЕТРОВ

## Иерархия целей в биологической системе

- Если сигналы и рассматривать как постоянные возмущения, то на плоскости  $(v_1, v_2)$  можно выделить область  $\Omega_s$  регуляторные механизмы биосистемы обеспечивают существование стационарных режимов и меньшую область  $\Omega_h$ , в которой поддерживается гомеостаз. Наконец, условно можно выделить 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 "дела" внутри системы (область  $\Omega_p$ ).

# ГОМЕОСТАЗ И РЕГУЛЯЦИЯ ПАРАМЕТРОВ

Простой внешний контур активного управления и внутренний механизм пассивного управления в метаболической системе



- $S$  - чувствительный элемент;  $D$  - эффект;  $M$  - устройство обработки информации;  $A \rightleftharpoons B$  - изменение реакции  $x$ ,  $y$  - соответствие входной и выходной потоки вещества.

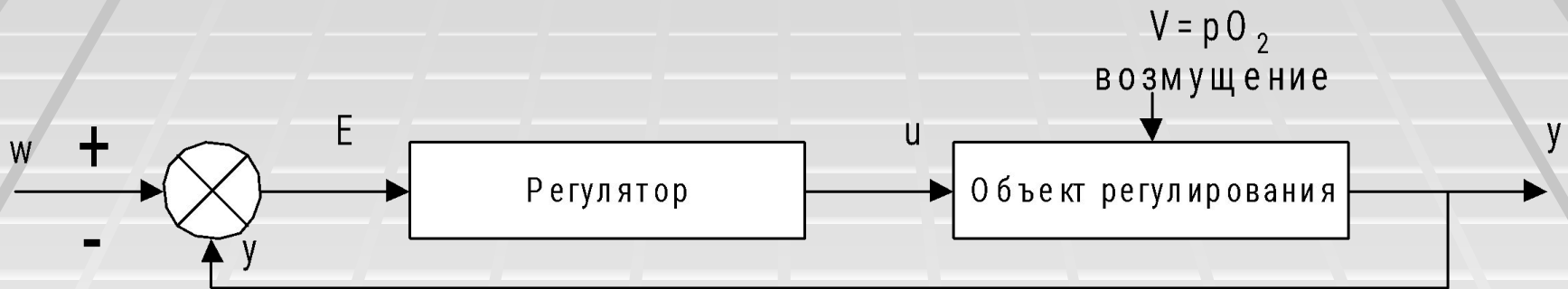
# ГОМЕОСТАЗ И РЕГУЛЯЦИЯ ПАРАМЕТРОВ

Простой автоматический регулятор по отклонению с отрицательной ОС



# ГОМЕОСТАЗ И РЕГУЛЯЦИЯ ПАРАМЕТРОВ

Общая схема механизма регулирования темпа поступления кислорода в ткани

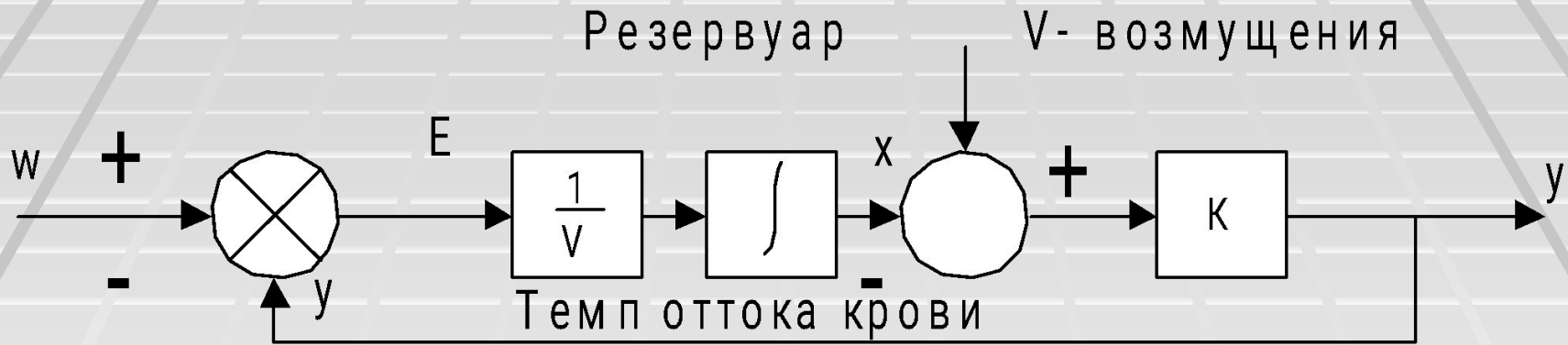


- ❑ Орган (объект регулирования) потребует кислород с темпом  $u$ , а целью регулирования является обеспечение поступления кислорода с тем же темпом (выходная величина)  $y$ .
- ❑ Сигнал рассогласования поступает на вход регулятора, который вырабатывает управляющий сигнал  $E = w - y$ , поступающий на вход объекта регулирования, подверженный внешнему возмущающему воздействию  $v = pO^2$  (градиент напряжения кислорода между тканями и артериальной кровью).



# ГОМЕОСТАЗ И РЕГУЛЯЦИЯ ПАРАМЕТРОВ

## Схема пассивной регуляции темпа поступления кислорода в ткани



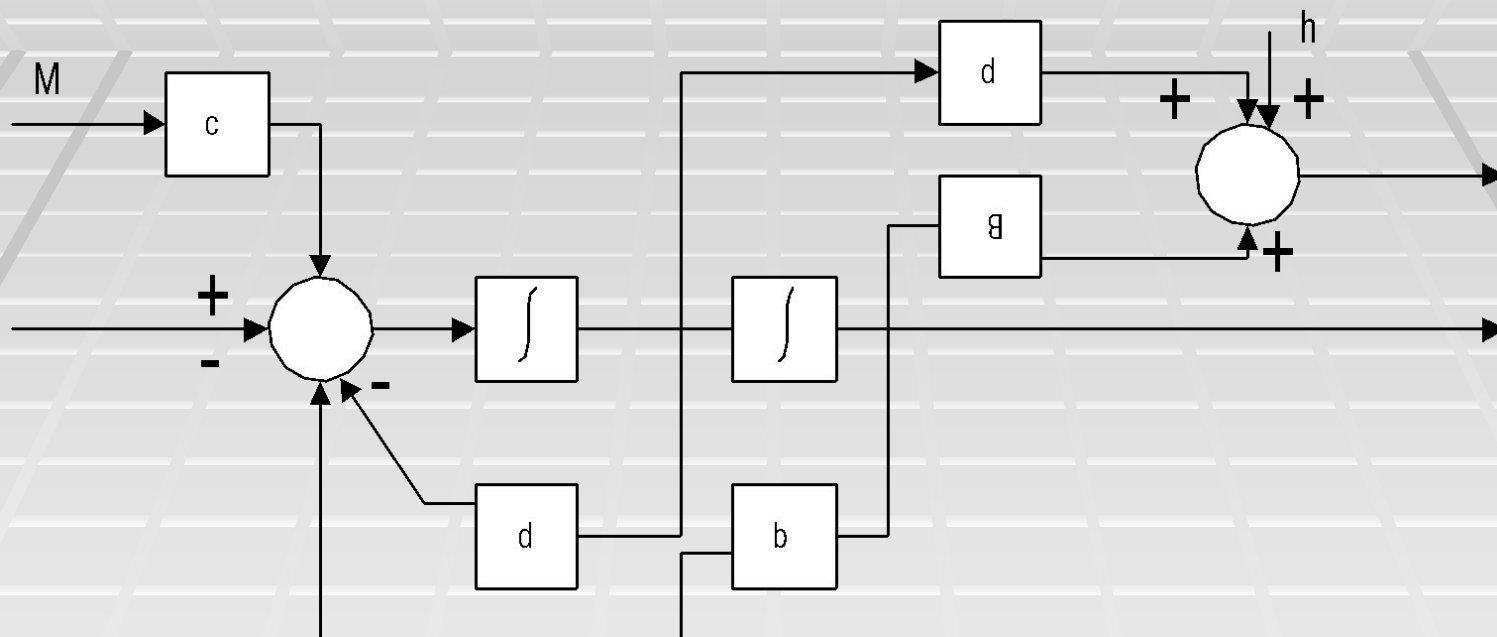
Разность между темпами потребления и поступления, накапливаясь, дает напряжение кислорода в тканях

$$x = \frac{1}{V} \int_0^T (y - w) dt + x_0,$$

где  $x_0$  - исходное значение концентрации кислорода (при  $t=0$ );  
 $V$ - объем тканевого резервуара.

# ГОМЕОСТАЗ И РЕГУЛЯЦИЯ ПАРАМЕТРОВ

## Схема моделирования дыхательного хемостата Гродинза



Выходными сигналами модели являются уровни вещества.

$M$ - темп выделения  $\text{CO}_2$  в процессе метаболизма ( $M=\text{const}$ );

$h$ - вспомогательная константа;

$a, b, c, d, g$ - коэффициенты, определяемые структурой дыхательной системы.

В схеме хемостата имеются два интегратора, с выходными переменными.

# ПРИНЦИПЫ СИНТЕЗА БИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

## Определение и общие свойства БТС

- ❑ **Биотехническая система (БТС)** представляет собой совокупность биологических и технических элементов, объединенных в единую функциональную систему целенаправленного поведения.
- ❑ Основным свойством БТС является **суперадаптивность**, обусловленная наличием двух контуров адаптации - внешнего и внутреннего.
- ❑ **Внешний контур** обеспечивает БТС возможность выполнять свою целевую функцию в условиях переменных воздействий внешних факторов.
- ❑ **Внутренний контур** (или многие контуры) позволяет элементам БТС взаимно адаптироваться к изменению состояния друг друга, вызванного воздействием внешних или внутренних факторов.
- ❑ Т.о., в БТС наличие биологических звеньев позволяет придать общим свойствам системы особую пластичность, улучшить адаптивные характеристики во внешнем контуре адаптации (особенно в системах типа "человек" - "машина" - "окружающая среда").

# ПРИНЦИПЫ СИНТЕЗА БИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

## Основные принципы сопряжения технических и биологических элементов

1. Принцип адекватности, требующий согласования основных конструктивных параметров и "управленческих характеристик" биологических и технических элементов БТС.
2. Принцип единства информационной среды, требующий согласования свойств информационных потоков, циркулирующих между техническими и биологическими элементами как в афферентных, так и в эффекторных цепях БТС.

# ПРИНЦИПЫ СИНТЕЗА БИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

## Принципы бионического подхода

- ❑ 1. При построении структурно-функциональной схемы БТС используется принцип обработки основных потоков информации специализированными периферическими системами.
- ❑ 2. Периферические системы могут "очувствляться", а информация может перераспределяться по различным сенсорным воспринимающим входам.
- ❑ 3. Основные элементы системы обмениваются информацией, что позволяет осуществлять процедуры внешней и внутренней адаптации.
- ❑ 4. Используется свойственный живым организмам принцип качественных оценок ситуации с последующим уточнением с помощью относительных измерений и сравнение с выбранным эталонным порогом.
- ❑ 5. Вводится специальный контур системы регенерации (контур нормализации состояния оператора), управляемый системой текущей диагностики.

# ОБЩИЕ ВОПРОСЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ В БТС

## Общие вопросы теории моделирования БТС

- ☐ В области естественных наук наиболее распространенными являются два вида моделирования:
  - ☐ **физическое;**
  - ☐ **математическое.**
- ☐ Процесс физического моделирования состоит в изучении посредством анализа некоторого макета, сохраняющего физическую природу системы.
  - ✓ *Пример: модель метательного аппарата, исследуемая в аэродинамической трубе, искусственное сердце, искусственные легкие и т. д.*
- ☐ Модели физического типа имеют органическую сферу применения, т.к. не для всяких явлений и объектов могут быть построены физические аналоги. Это привело к распространению математического моделирования объектов и процессов. Динамика функционирования различных по физической природе систем зачастую описывается однотипными математическими зависимостями.
- ☐ Математическую модель строят на основе законов и закономерностей, выявленных фундаментальными науками.
  - ✓ *Пример: одними и теми же уравнениями может быть описан электрический колебательный контур и пружинный маятник. Математическое моделирование основано на том факте, что различные изучаемые явления могут иметь одинаковое математическое описание.*

# ОБЩИЕ ВОПРОСЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ В БТС

## Классификация математических моделей

- ❑ **Одномерные вероятностные модели** : параметрические; непараметрические.
  - ❑ При построении параметрической модели распределение случайных величин аппроксимируется известными вероятными законами распределения (чаще всего нормальным законом).
  - ✓ *Пример: когда в справочнике указано, что у здорового человека в состоянии покоя объем вдыхаемого воздуха составляет 400-800 мл, это значит, что распределение величины объема моделируются равномерным законом.*
  - ❑ Непараметрическими моделями называются те, у которых закон распределения случайных величин неизвестен.
- ❑ **Многомерные вероятностные модели**
  - ❑ Представляют собой многомерные описания состояния биотехнических систем и процессов в них протекающих, к признакам этих систем относят существенные параметры, характеризующие определенные единицы наблюдения.
  - ❑ Двухмерное пространство признаков, образованное двумя переменными, содержит скопление точек на плоскости.
  - ❑ Трехмерное пространство, образованное тремя переменными содержит облака точек - наблюдений.
  - ✓ *Пример: геометрические размеры и биохимические характеристики клетки, интервалы между зубцами ЭКГ и т. д.*

# ОБЩИЕ ВОПРОСЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ В БТС

## Детерминированные модели

- а) С непрерывным пространством и временем представляют собой функциональные или аналитические зависимости. Эти модели чаще всего отображают процессы, а не состояния.
- ✓ *Пример: в фармакологии при описании зависимости "доза-эффект" при описании физиологических процессов: обмена веществ, роста и развития и т. п.*
- б) С дискретным пространством и временем (так называется логические). Используются при решении ряда комбинаторных задач.



# ОБЩИЕ ВОПРОСЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ В БТС

## Модели процессов управления

- ☐ Управления в БТС может осуществляться с использованием обратной связи и без нее. В соответствие с этим модели процессов управления могут быть разделены на группы:
  - ☐ - модели с незамкнутыми контурами;
  - ☐ - модели с замкнутыми контурами.
- ☐ В модели с незамкнутыми контурами отсутствует ОС, т.е. это открытая система, которой свойственно регулирование по возмущению. При этом учитывается только информация о величине возмущения, но не о результатах регулирования.
- ✓ *Пример: использование глюкозы для подкормки организма в период его ослабления.*
- ☐ В моделях с замкнутыми контурами управления осуществляется регулирование по отклонению, в величине которого за счет обратной связи учитывается информация о результатах регулирования. Это замкнутые системы управления и саморегулирующиеся.
- ✓ *Пример; введение лекарственных препаратов, снижающих уровень сахара в крови, больному сахарным диабетом.*

# ОБЩИЕ ВОПРОСЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ В БТС

## Основные этапы моделирования

### ☐ 1. Постановка цели моделирования

- ✓ Для одной и той же системы можно составить множество моделей. Они будут отличаться степенью детализации и учета тех или иных особенностей системы и режимов ее функционирования.

### ☐ 2. Создание концептуальной модели

- ✓ Концептуальная (или содержательная) модель – это словесное описание системы – ее состав и структура, свойства входящие в нее элементов и причинно – следственные связи.

### ☐ 3. Формирование информационного обеспечения модели

- ✓ При создании концептуальной модели определяются качественные и количественные параметры БТС и внешних воздействий на нее. К качественным параметрам относят те, которые нельзя оценить в каких- то единицах измерений. Для количественных параметров необходимо определить их конкретные значения, которые будут использованы в виде исходных данных при моделировании.

### ☐ 4. Разработка математической модели

### ☐ 5. Выбор метода моделирования

- ✓ Разработанная математическая модель может быть исследована различными методами: аналитическими; имитационными.

# ОБЩИЕ ВОПРОСЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ В БТС

## Основные этапы моделирования

### ☐ 6. Технические средства моделирования

### ☐ 7. Корректировка модели

☐ При выявлении недопустимого рассогласования модели и системы возникает необходимость в корректировке модели. При этом могут быть выделены следующие типы изменений:

- ✓ глобальные (требуют для устранения разработки новой модели);
- ✓ локальные (требуют частичного изменения математической модели);
- ✓ параметрические (изменения некоторых параметров (калиброванных)).

### ☐ 8. Проверка адекватности модели

### ☐ 9. Планирование экспериментов с моделью

- ☐ а) Стратегическое планирование.
- ☐ б) Тактическое планирование.

### ☐ 10. Обработка измерений имитационного эксперимента

### ☐ 11. Использование результатов моделирования

# ОБЩИЕ ВОПРОСЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ В БТС

## Метод поэтапного моделирования

### ☐ **Подготовительный (этап 1)**

- ✓ Разрабатывается структурно – функциональная схема БТС, конкретизируются её целевая функция (ЦФ) и возможные режимы работы. Определяется биологический объект и предварительный алгоритм его функционирования в БТС.
- ✓ На основании априорных данных создается модель БТС с математической моделью биологического элемента.

### ☐ **Управленческое согласование характеристик элементов БТС (этап 2)**

- ✓ Осуществляются итерационные процедуры согласования характеристик элементов БТС в едином контуре управления.
- ✓ Практическое значение результатов этого этапа заключается в том, что можно отобрать операторов для БТС эргатического типа или подобрать прямой биологический аналог человеческому организму при экспериментах.

# ОБЩИЕ ВОПРОСЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ В БТС

## Метод поэтапного моделирования

### ☐ Информационное согласование (этап 3)

- ✓ Исследуются информационные процессы, обеспечивающие соблюдение принципов адекватности и идентификации информационной среды.
- ✓ Корректируются решающие правила, заложенные в виде программ в системы обработки информации о состоянии биологического объекта;
- ✓ Разрабатываются специальные требования к техническим устройствам, согласующим информационные и управленческие характеристики технической и биологической частей БТС, получившие названия логических фильтров – преобразователей (ЛФП).

### ☐ Заключительный (этап 4)

- ✓ Проводится исследование БТС в полунатурных (модельных) и натурных условиях.
- ✓ Идет обработка данных эксперимента и окончательная корректировка математической модели.
- ✓ Подготавливаются задания на инженерную разработку БТС.

# КЛАССИФИКАЦИЯ БТС

По характеру основной целевой функции БТС разделены на 3 группы:

- - БТС медицинского назначения (БТС – М);
- - БТС эргатического типа (БТС – Э) с человеком – оператором в качестве управляющего звена;
- - БТС целенаправленного управления поведением целостного организма (БТС – У).

В настоящее время к этим группам дополнительно относятся:

- БТС лабораторного анализа (БТС-ЛА);
- Мониторные системы (МС);
- БТС искусственного жизнеобеспечения.

# БТС медицинского назначения (БТС – М)

- БТС-М предназначены для использования в медицинских целях, главным из которых являются:
  - 1) *Диагностика состояния живого организма (текущая), проводимая в реальном масштабе времени, и дифференциальная, осуществляемая в процессе апостериорной медико-биологической информации.*
  - 2) *Управление состоянием организма для его нормализации (методами дискретной или непрерывной коррекции).*
  - 3) *Временная или длительная компенсация утраченных функций органов или физиологических систем живого организма.*
  - 4) *Протезирование и коррекция функций сенсорных систем или двигательного аппарата.*
  - 5) *Различные медико-биологические исследования и лечебные процедуры, связанные с применением приборов активного вмешательства, сочлененных с живым организмом в единую БТС.*



# БТС медицинского назначения (БТС – М)

- ❑ Вся медико-биологическая информация разделяется на **медленно изменяющиеся процессы (МИП)** и **быстроизменяющиеся процессы (БИП)**. При этом к **МИП** относят процессы, частота изменения которых ниже 1 Гц, а мгновенные значения могут быть выражены цифрой.

*Пример:*

- ✓ частота сердечных сокращений;
- ✓ частота дыхания;
- ✓ температура тела и др.

- ❑ К **БИП** относятся, главным образом, электрофизические процессы, характеризующиеся изменением электрических потенциалов на поверхности кожи или на отдельных локальных участках организма под ее покровами.

*Пример:*

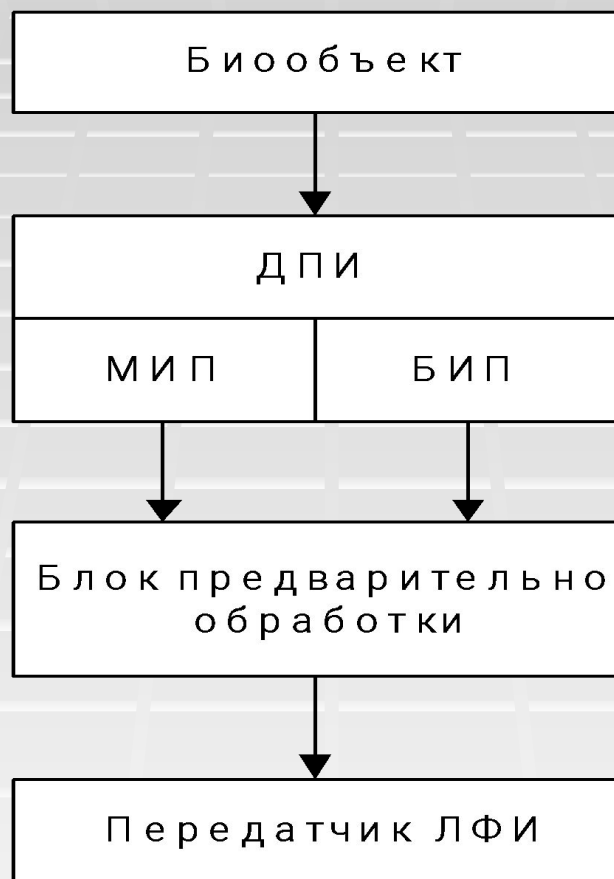
- ✓ электрокардиосигнал (ЭКС) (ЭКГ);
- ✓ электроэнцефалограмма (ЭЭГ);
- ✓ электромиограмма (ЭМГ) и др.

- ❑ Частотные спектры БИП находятся в диапазоне 0,1...1000 Гц.



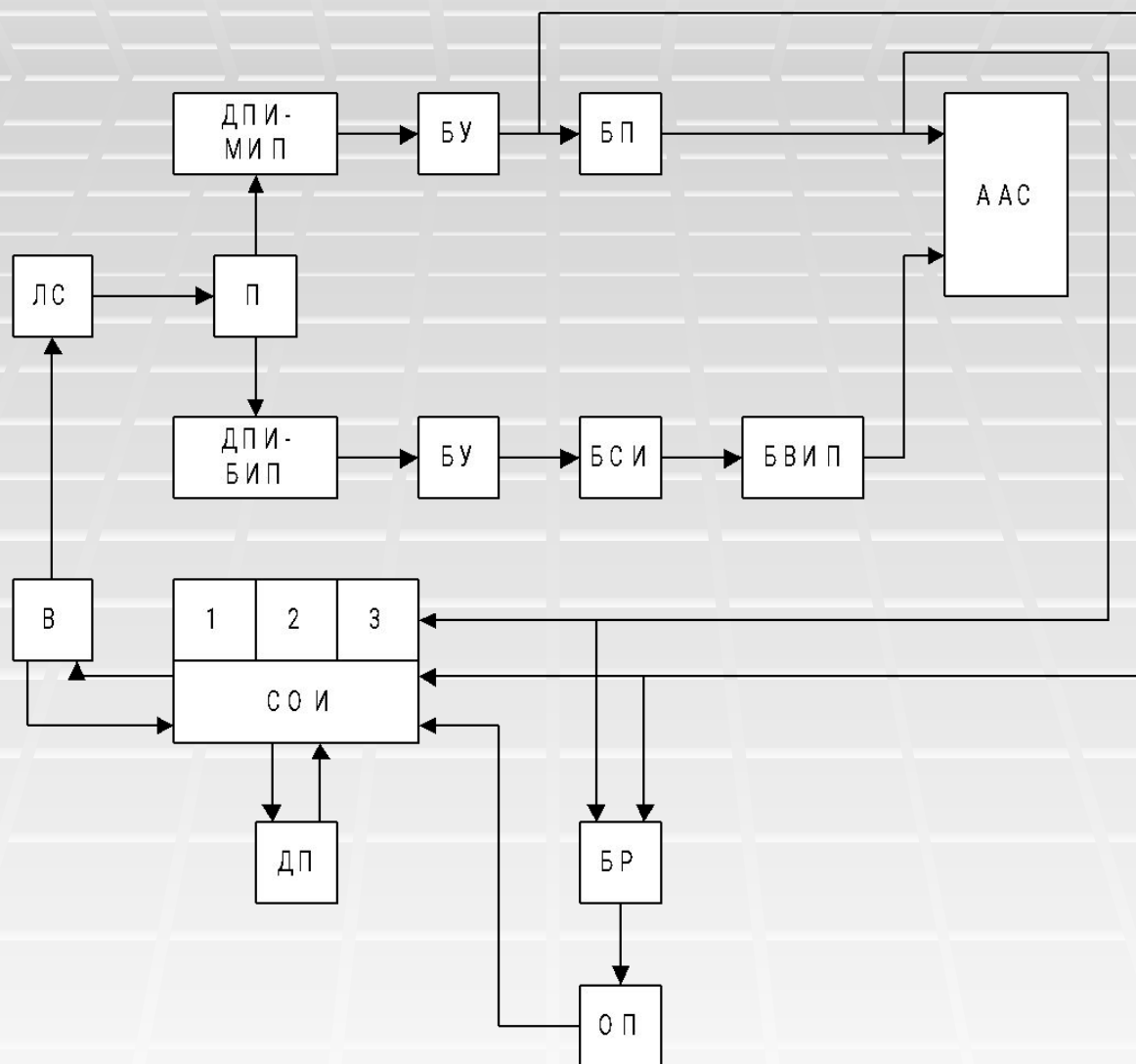
# БТС медицинского назначения (БТС – М)

Схема получения медико-биологической информации



# БТС медицинского назначения (БТС – М)

*Структурная схема измерительно-информационной БТС – М*



## Биотехнические системы эргатического типа (БТС – Э)

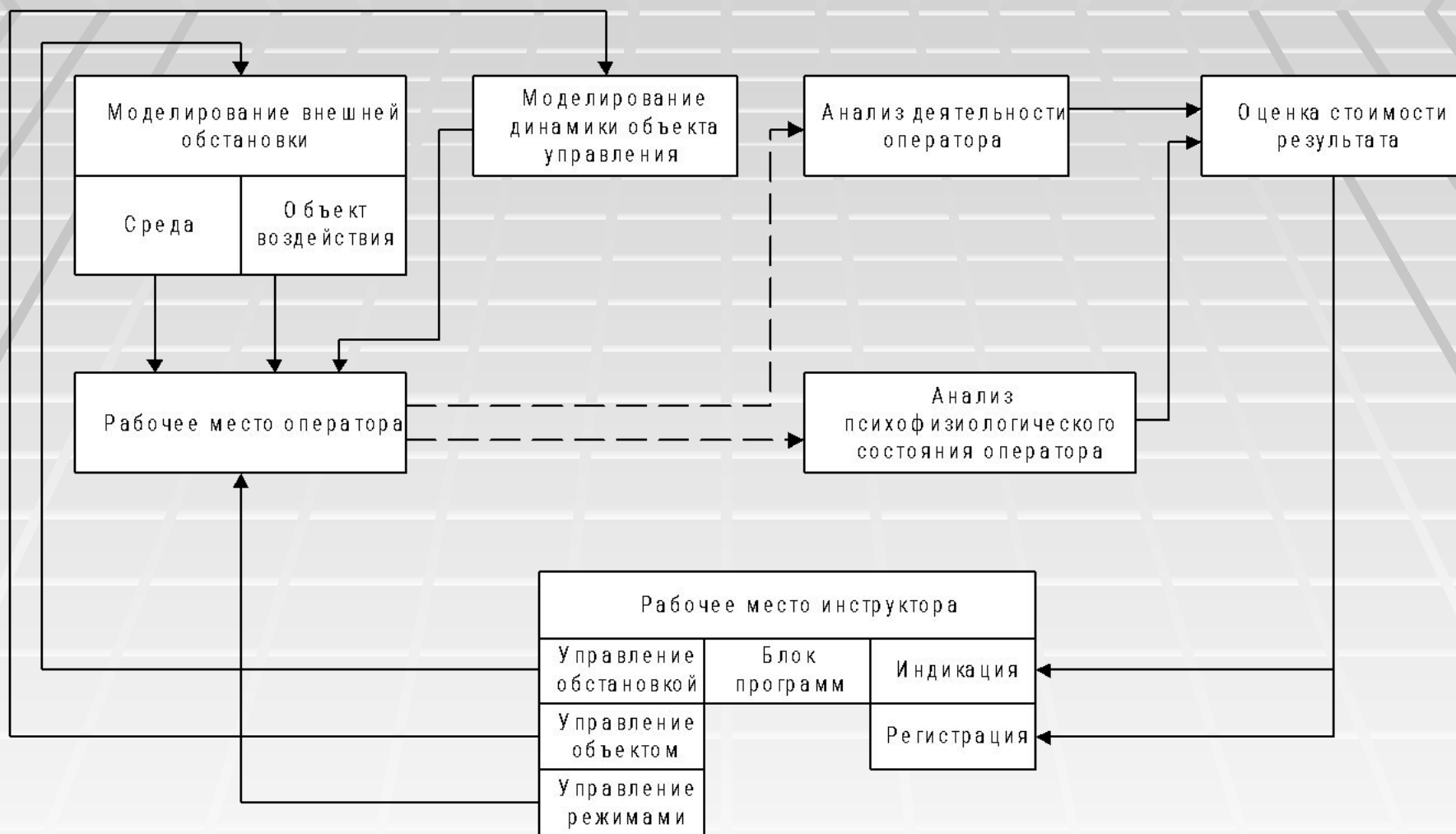
- В подобных системах (БТС – Э) или (по общепринятой терминологии) в системах “человек-машина” биологическое звено представлено человеком-оператором, выполняющим различные функции в замкнутом контуре управления технической системой.
- В процессе анализа и синтеза БТС – Э практически приходится иметь дело с моделированием на четырех уровнях:
  - тканевом (в случае моделирования процессов метаболизма при определении энергозатрат организма человека в процессе деятельности);
  - органном (при бионических исследованиях органов восприятия для оптимального сопряжения их с техническими элементами информационных каналов);
  - организменном (при исследовании поведения оператора в процессе управления динамическими процессами);
  - популяционном (про разработке методов управления популяцией живых организмов с целью организации их целенаправленного поведения).

## Биотехнические системы эргатического типа (БТС – Э)

- Техническая реализация метода поэтапного моделирования воплощается в тренажерно – моделирующем комплексе (ТМК). ТМК является многоцелевой универсальной системой, предназначенной для:
  - учета человеческого фактора на ранних стадиях синтеза БТС – Э;
  - оптимизация режима работы оператора, выработки количественных оценок эффективности их деятельности на пультах управления различных конструкций и разработки инженерных рекомендаций по усовершенствованию существующих систем управления эргатического типа;
  - получение априорной информации с целью обоснования модели идеального оператора применительно к системе данного типа;
  - разработки методик профотбора, обучения и тренировок операторов, а так же для подготовки операторов методов стадийной тренировки;
  - тренировки операторов комплексов и систем в период их разработки задолго до их воплощения в действующие – конструкции.

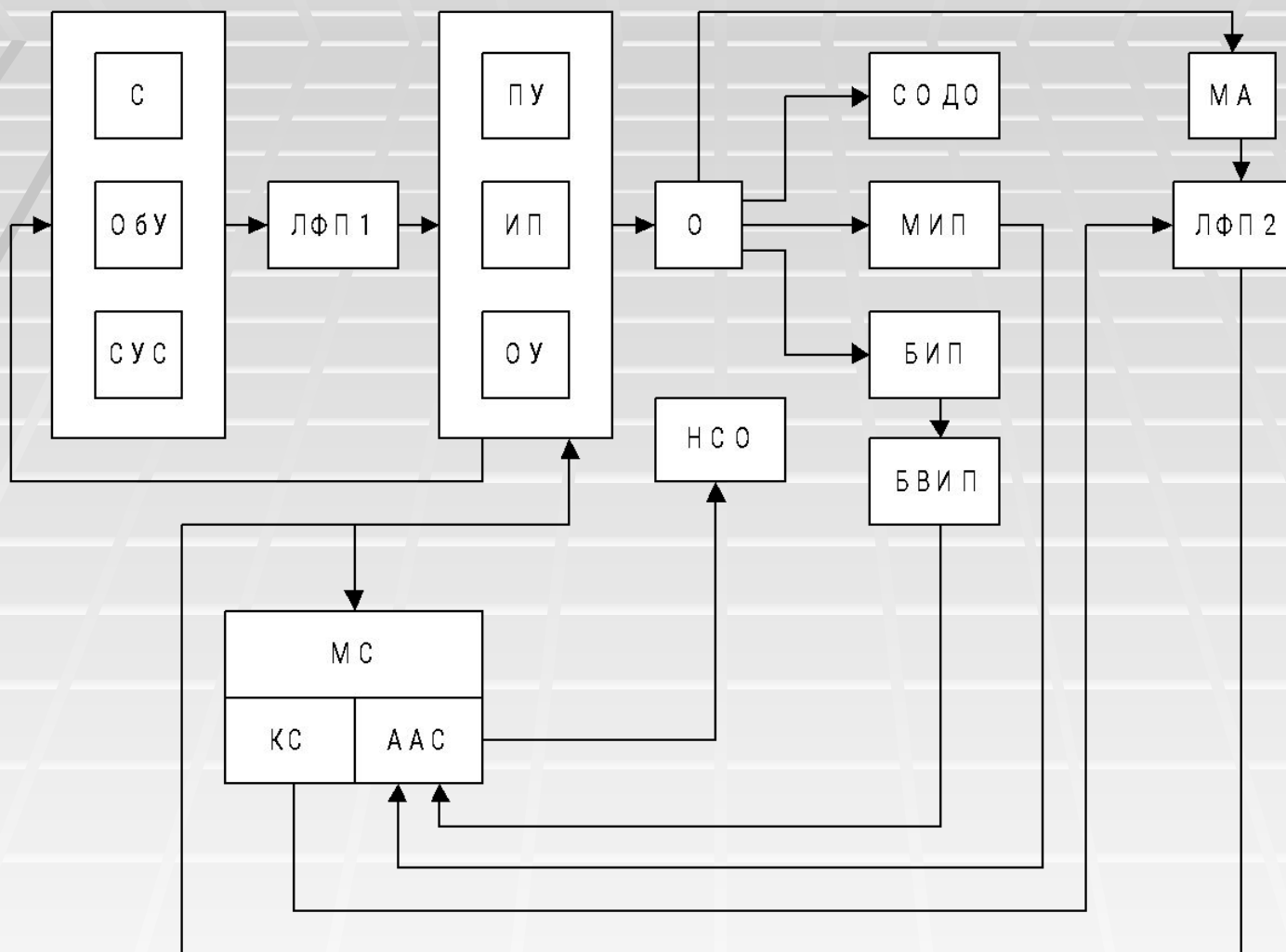
# Биотехнические системы эргатического типа (БТС – Э)

## Структурная схема тренажерно – моделирующего комплекса



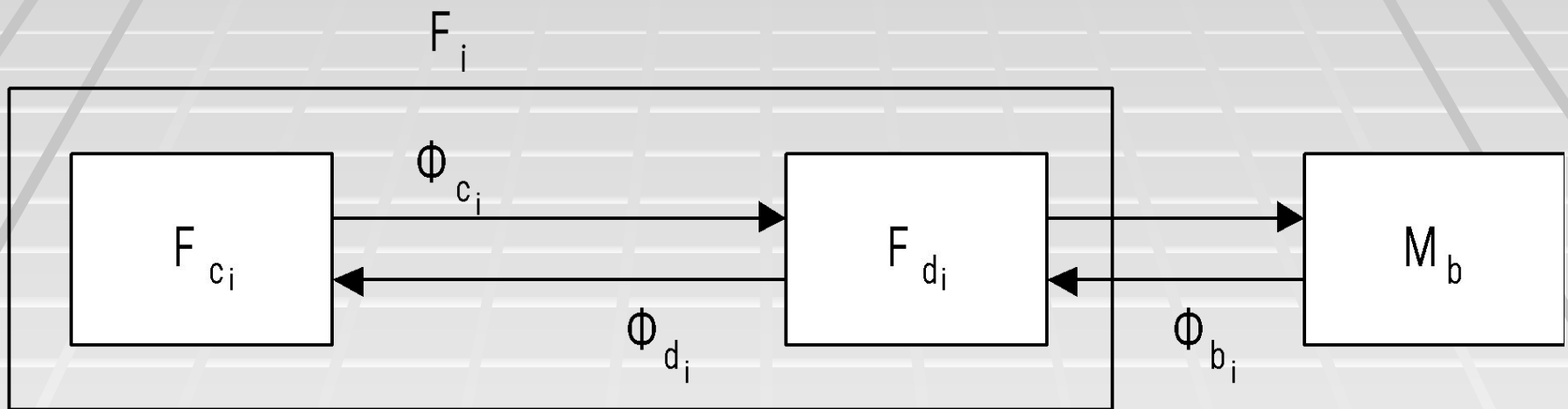
# Биотехнические системы эргатического типа (БТС – Э)

*Структурная схема адаптивной БТС – Э*



# Биотехнические системы управления (БТС-У)

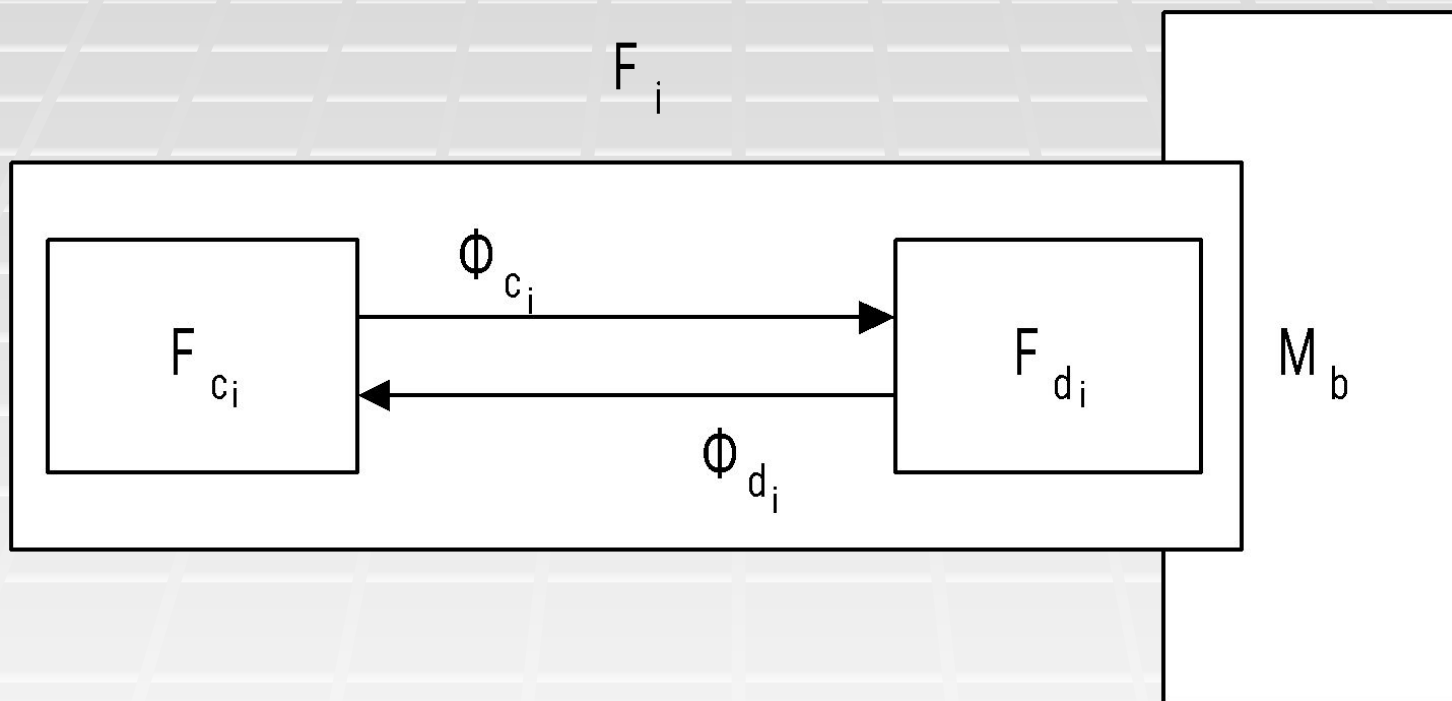
## Экстракорпоральный искусственный орган



$M_b$ - биологический организм,  $F_i$ -искусственный орган,  
 $F_{ci}$ -управляющий процессор,  $F_{di}$ -исполнительный процессор,  
 $\Phi_{ci}$ -управляющая среда,  
 $\Phi_{di}$ -управляемая среда

# Биотехнические системы управления (БТС-У)

Интракорпоральный искусственный орган



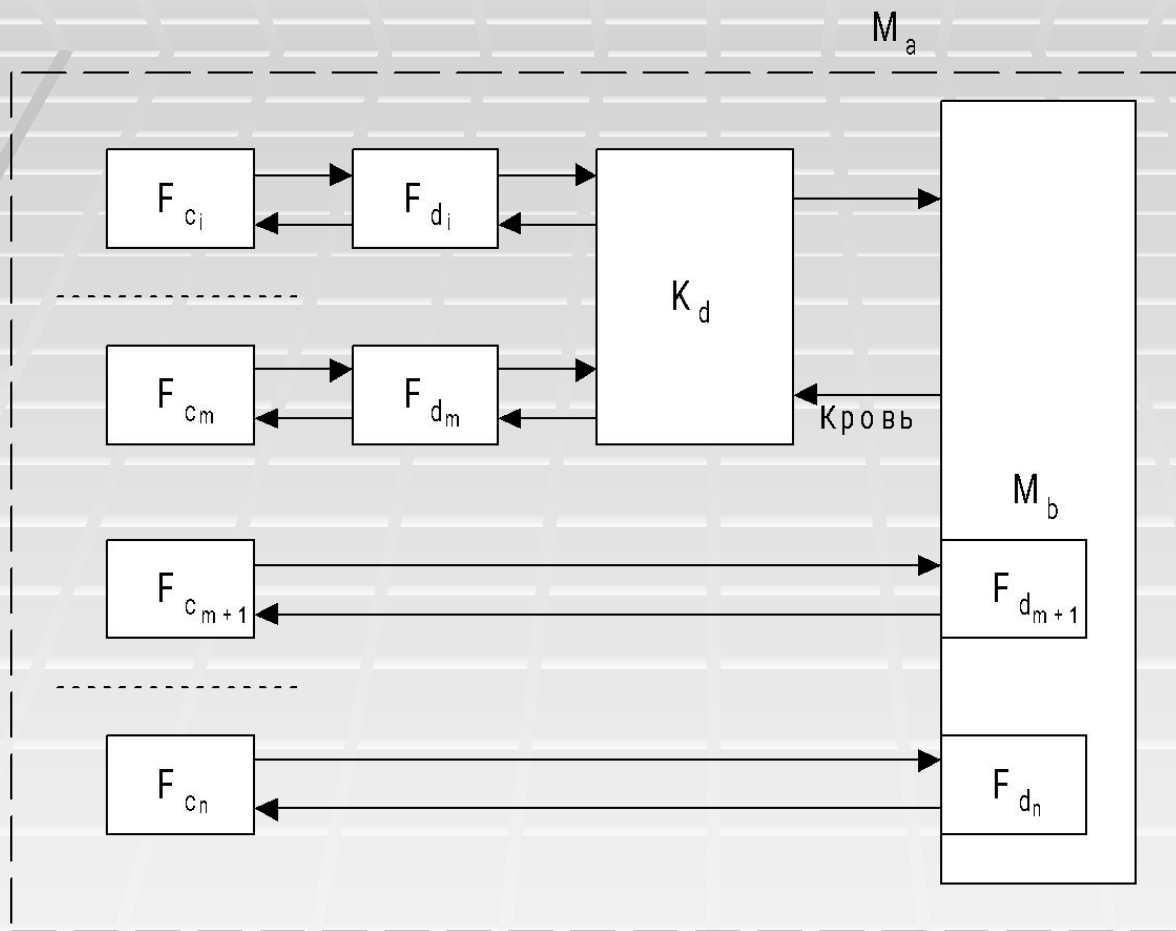


# Биотехнические системы управления (БТС-У)

| Искусственный орган $M_{bi}$ | Управляющее воздействие органа          | Управляющий процессор $F_{ci}$                                                                  | Исполнительный процессор $F_{di}$                                                                    |
|------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Сердце</b>                | Экстракорпоральный<br>Интракорпоральный | Не лимитированный источник энергии<br>Неимплантированный или имплантированный источник энергии  | Неимплантированный насос<br>Имплантированный насос                                                   |
| <b>Легкое</b>                | Экстракорпоральный<br>Интракорпоральный | Источник газов(баллоны с $O_2$ , $CO_2$ и воздухом)<br>Аппарат искусственного дыхания           | Оксигенатор<br>Легкие                                                                                |
| <b>Почка</b>                 | Экстракорпоральный<br>Интракорпоральный | Источник нестерильного диализата<br>Источник стерильного диализата                              | Диализатор<br>Брюшная полость организма                                                              |
| <b>Поджелудочная железа</b>  | Экстракорпоральный<br>Интракорпоральный | Неимплантированный дозатор инсулина<br>Неимплантированный или имплантированный дозатор инсулина | Магистраль экстракорпоральной кровопроводящей системы<br>Сосуд сердечно-сосудистой системы организма |

# Биотехнические системы управления (БТС-У)

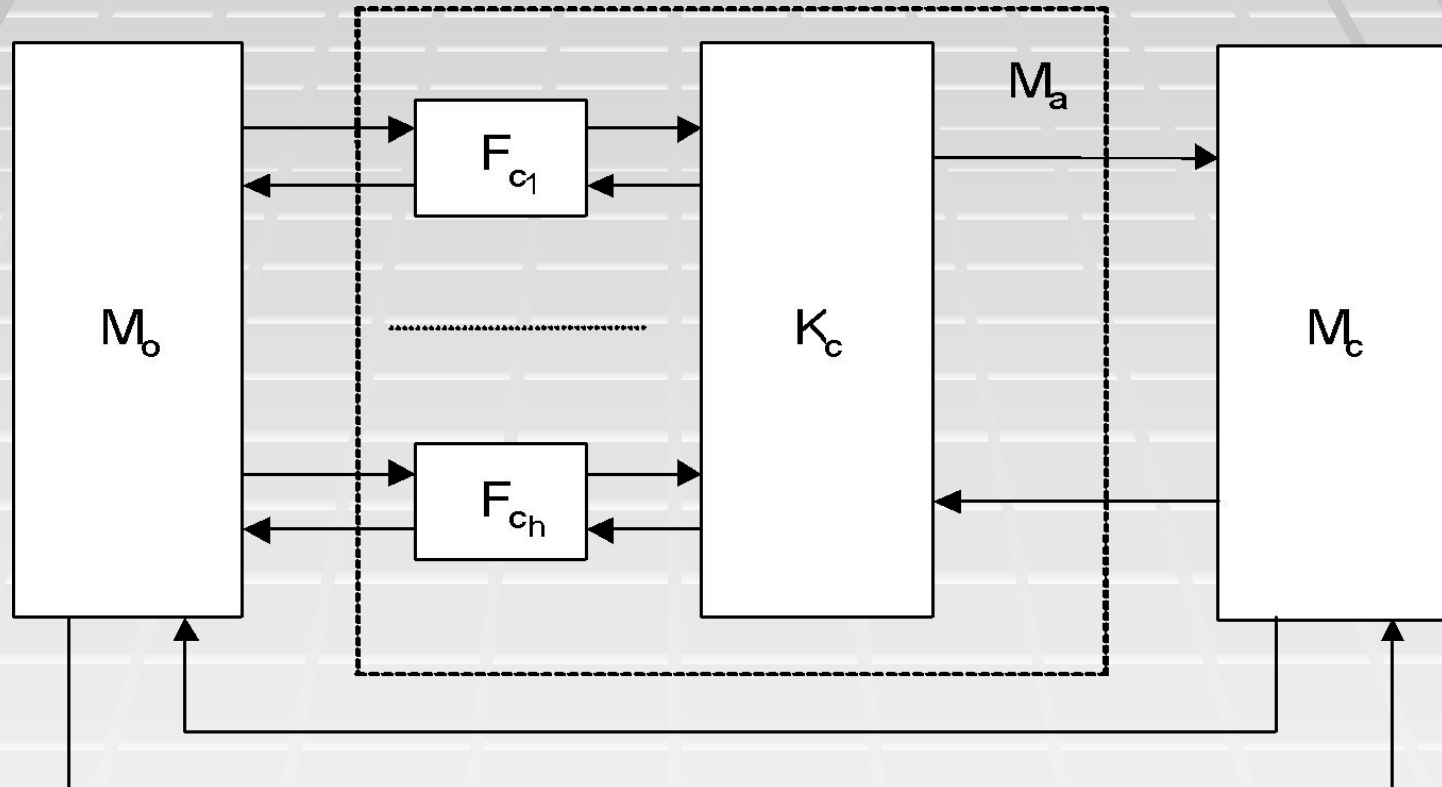
## Биотехнический организм



$M_a$  - биотехнический организм,  $K_d$  - исполнительный канал связи

# Биотехнические системы управления (БТС-У)

## Методы управления в БТС-У Децентрализованное управление

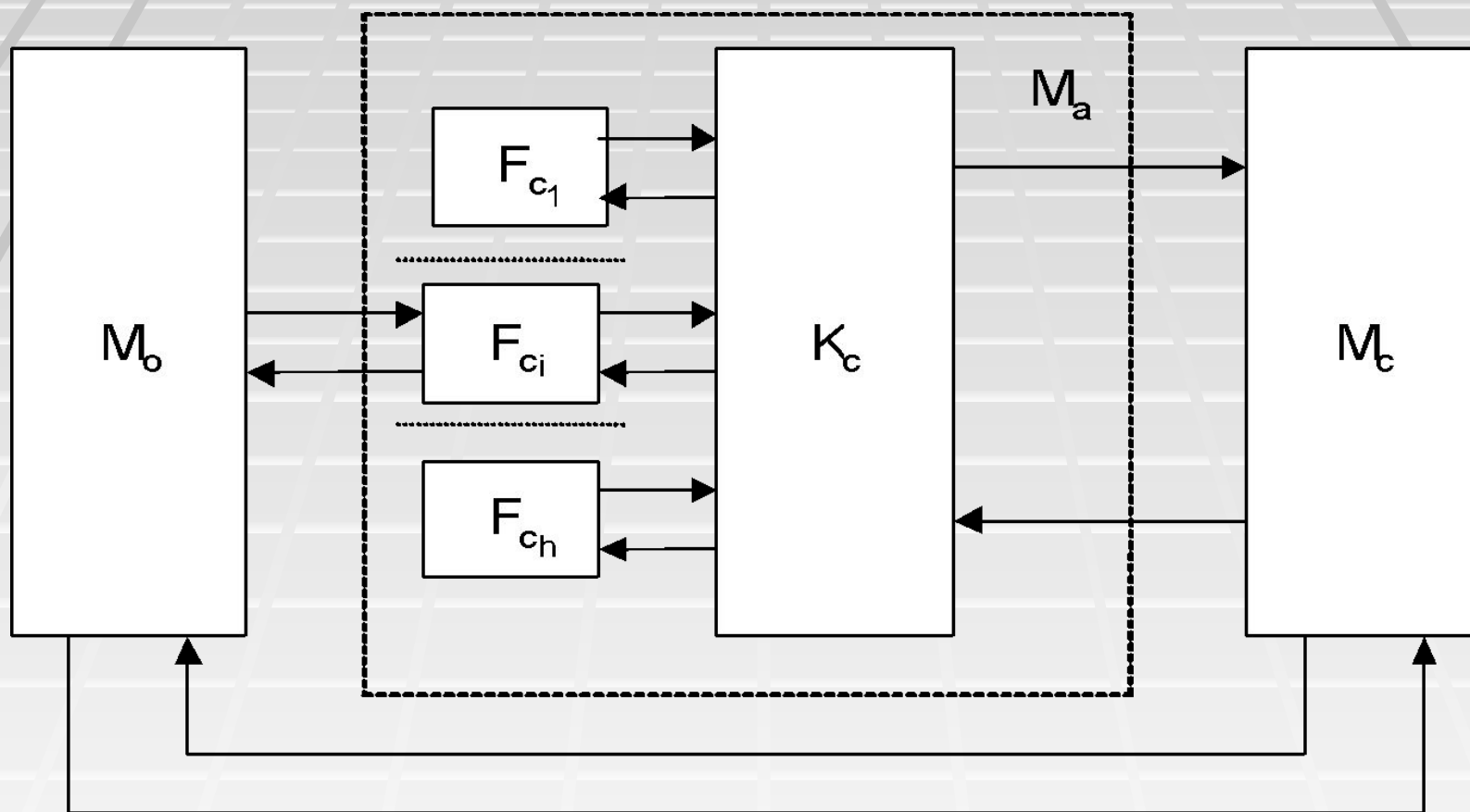


$M_a$  – биотехнический организм,  $M_o$  – оператор,  
 $M_c$  – процессор,  $K_c$  – управляющий канал связи

# Биотехнические системы управления (БТС-У)

## Методы управления в БТС-У

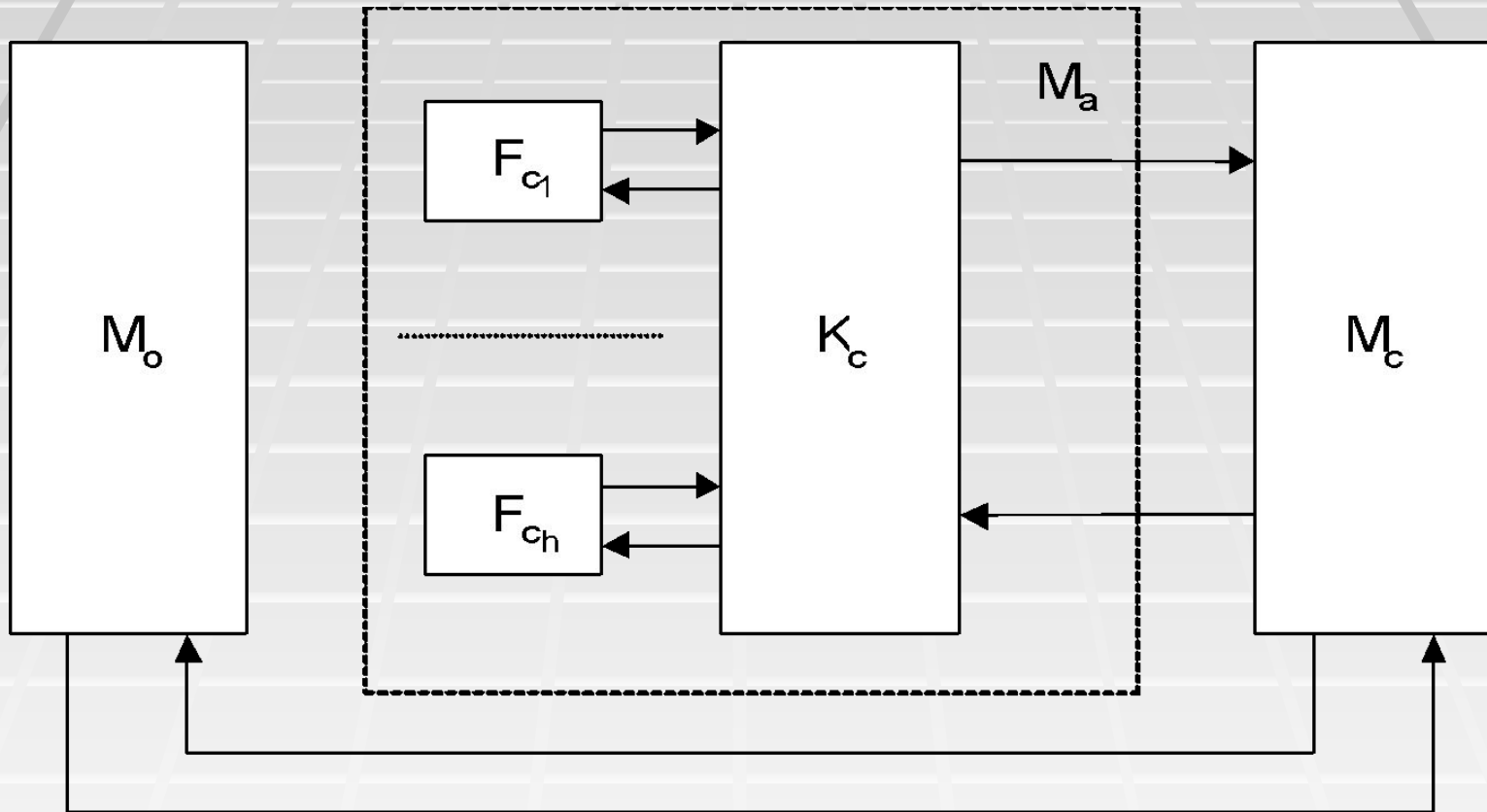
Управление с пульта универсального процессора



# Биотехнические системы управления (БТС-У)

## Методы управления в БТС-У

Объединенное управление в центральном процессоре



# Биотехнические системы управления (БТС-У)

## **Системы для замещения функций органов выделения и внутренней секреции**

### **Общие сведения о гемодиализе**

- Гемодиализ основан на обмене веществ через полупроницаемую мембрану, омываемую с одной стороны постоянным током крови, с другой - диализирующего раствора. При этом путем диффузии и ультрафильтрации происходят удаление из крови вредных и поступление нужных веществ. Корректируя состав диализирующего раствора, тип диализатора (метод подачи крови и диализирующего раствора, тип и площадь поверхности мембраны) и режим диализа (частоту и длительность сеансов), можно замещать функцию почек и поддерживать удовлетворительное состояние больных.
- Аппараты для гемодиализа состоят из трех компонентов: устройства для подачи крови, устройства для приготовления и подачи диализирующего раствора и диализатора.

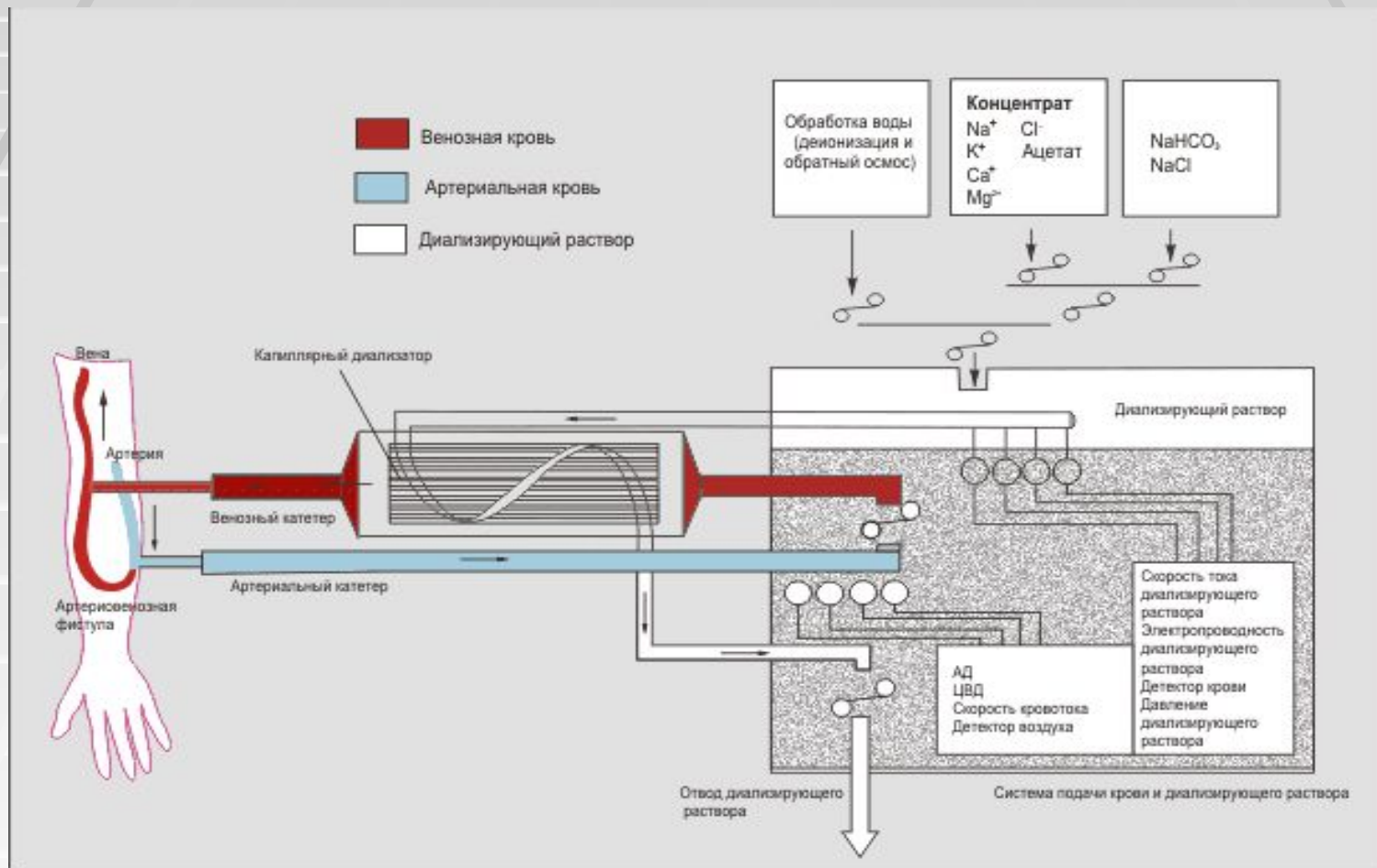
# Биотехнические системы управления (БТС-У)

## Факторы, определяющие параметры гемодиализа



# Биотехнические системы управления (БТС-У)

## Схема гемодиализа





# Биотехнические системы управления (БТС-У)

Об адекватности диализа судят по кинетике выведения мочевины. Для этого используют так называемый коэффициент выделения мочевины (КВМ) :

■  $KVM = ((1 - AMK \text{ после диализа}) : (AMK \text{ до диализа})) \times 100\%$ ,  
а также безразмерную величину

$Kt/V$ ,

где

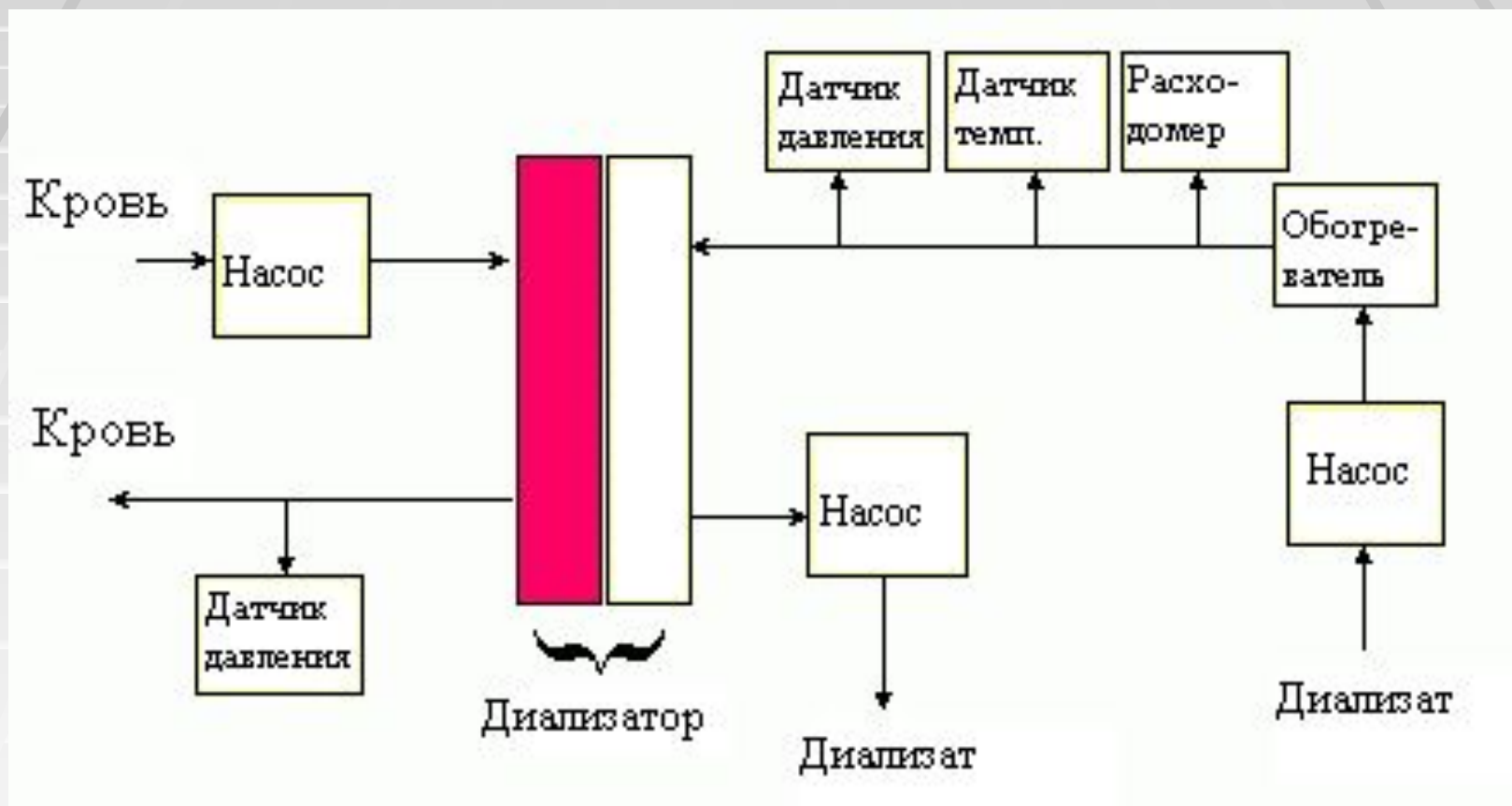
- $K$  - клиренс мочевины,
- $t$  - длительность диализа и
- $V$  - объем распределения мочевины.

Коэффициент выведения мочевины должен быть не менее 65%, что эквивалентно

$$Kt/V = 1 - 1,2.$$

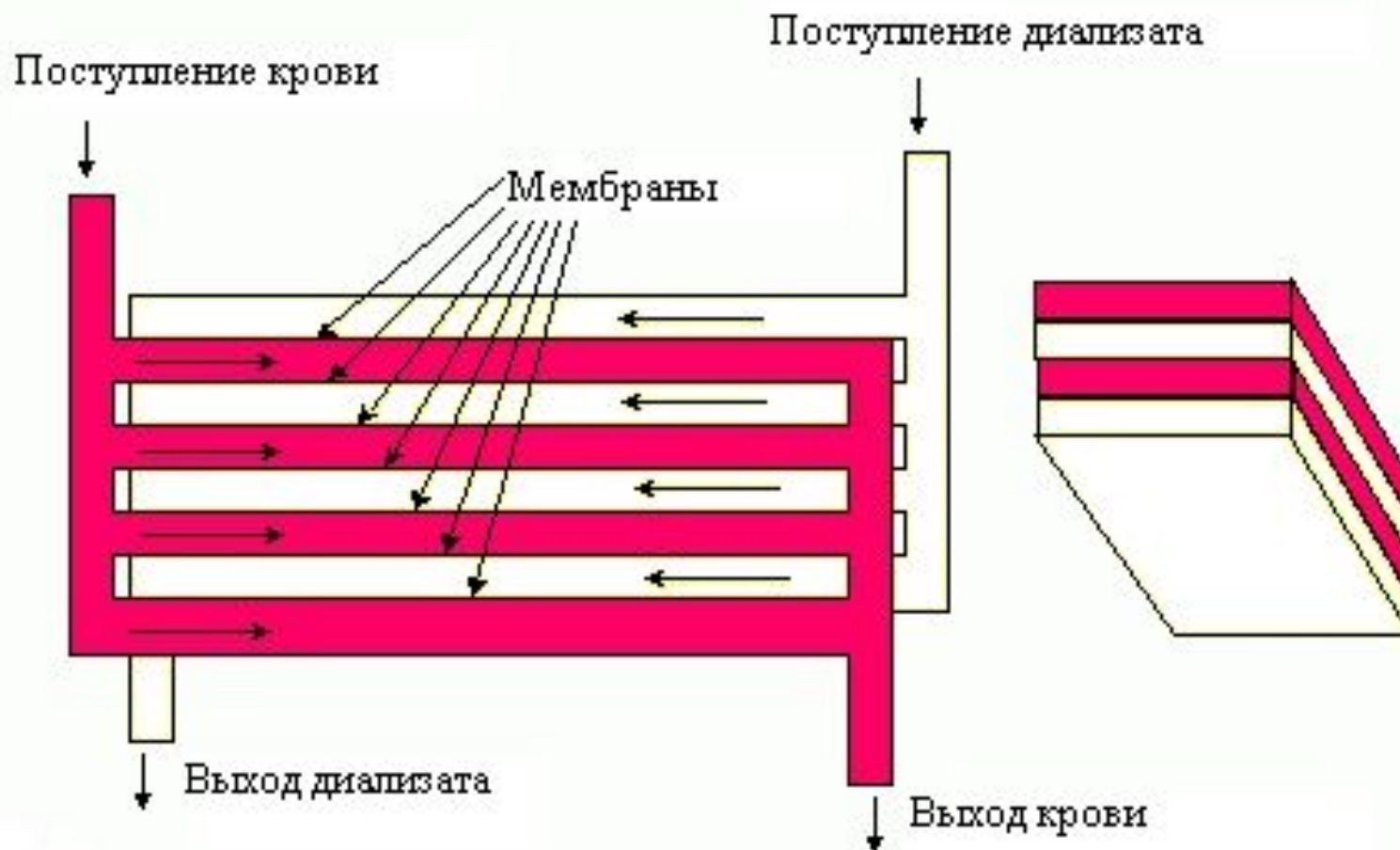
# Биотехнические системы управления (БТС-У)

## Структурная схема искусственной почки



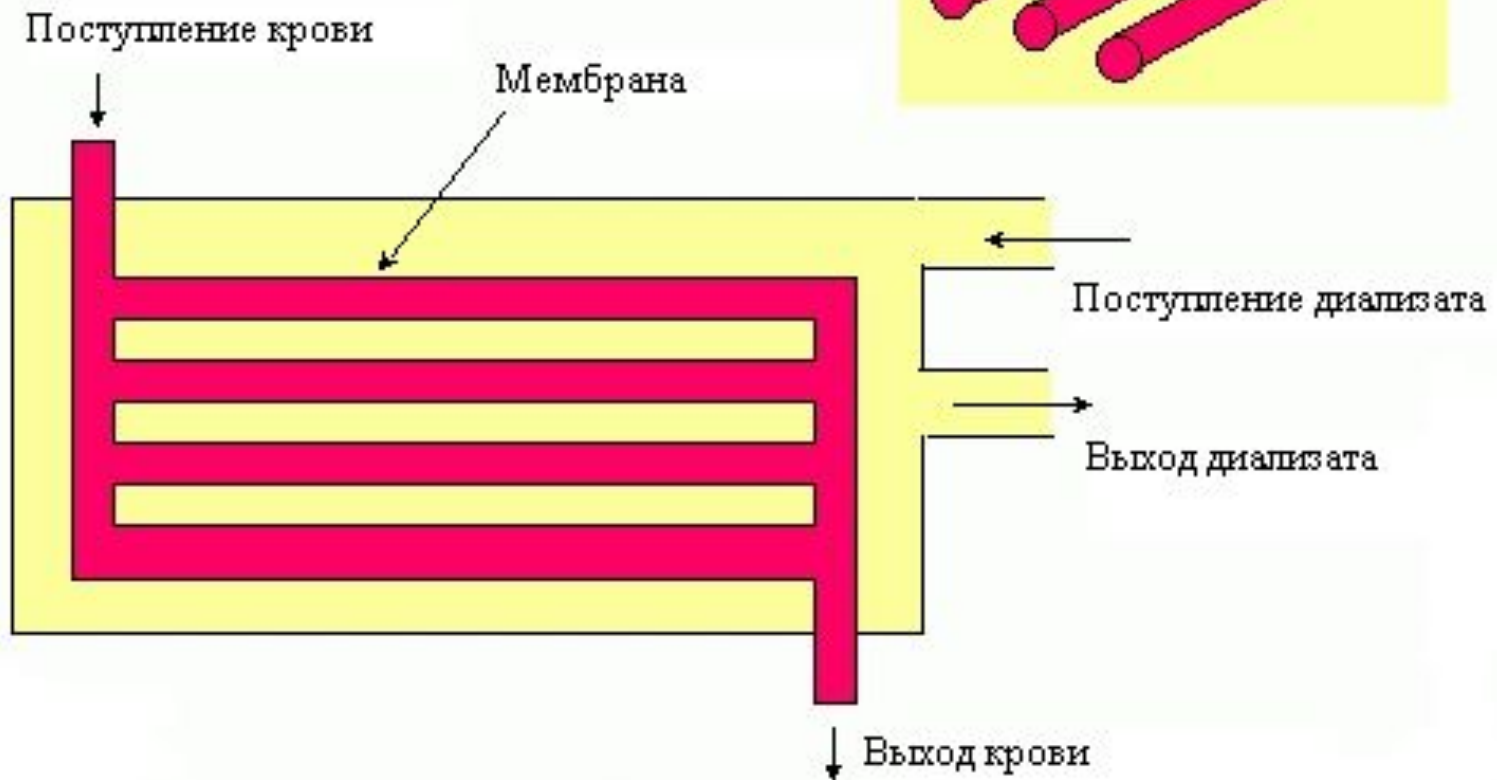
# Биотехнические системы управления (БТС-У)

## Диализатор с плоской мембраной



# Биотехнические системы управления (БТС-У)

## Капиллярный диализатор



# Биотехнические системы управления (БТС-У)

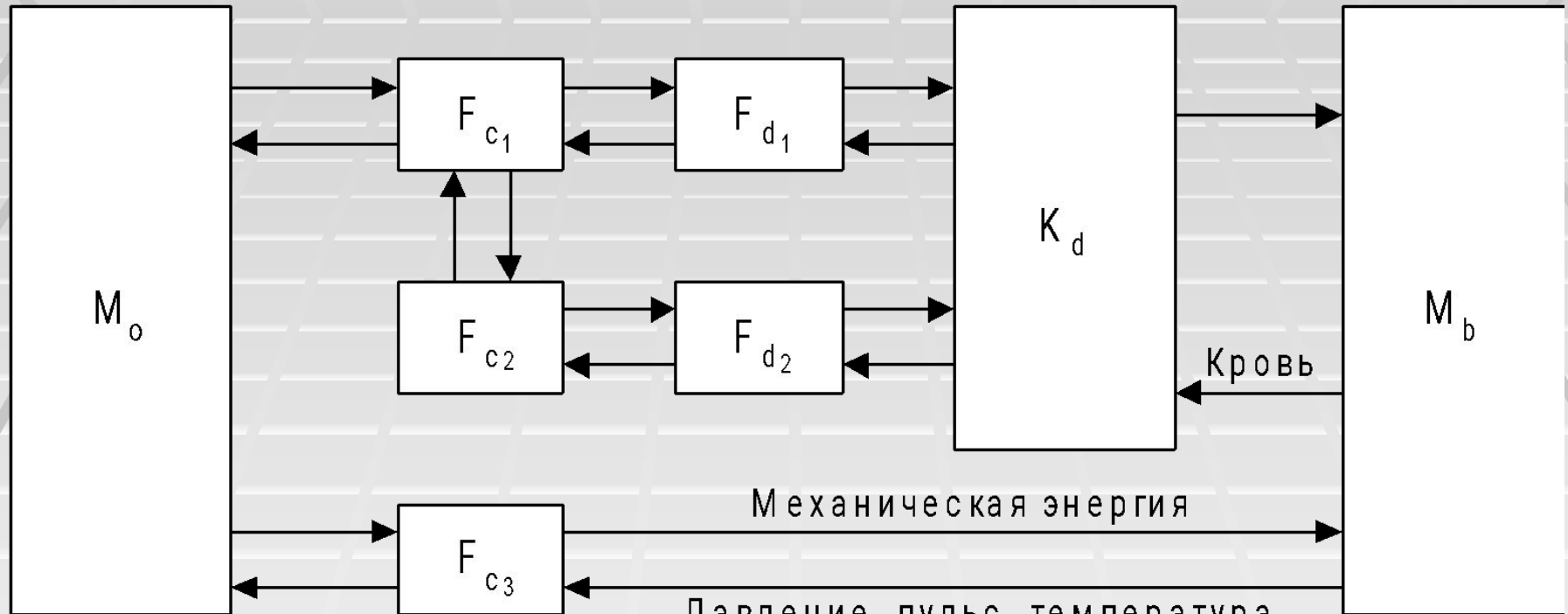
## Формула расчета скорости выделения воды искусственной почкой

$$Q=A*L*(\Delta P-\Delta p)$$

- Q - количество выделяемой воды (мл/час);
- A - площадь мембраны (м<sup>2</sup>);
- L - индекс ультрафильтрации (мл/генри\*м<sup>2</sup>\*мм рт ст)(обычно 3 - 15);
- $\Delta P$ - разность гидростатического давления через мембрану (обычно 140 мм рт ст);
- $\Delta p$ - разность осмотического давления через мембрану (обычно 25 мм рт ст)

# Биотехнические системы управления (БТС-У)

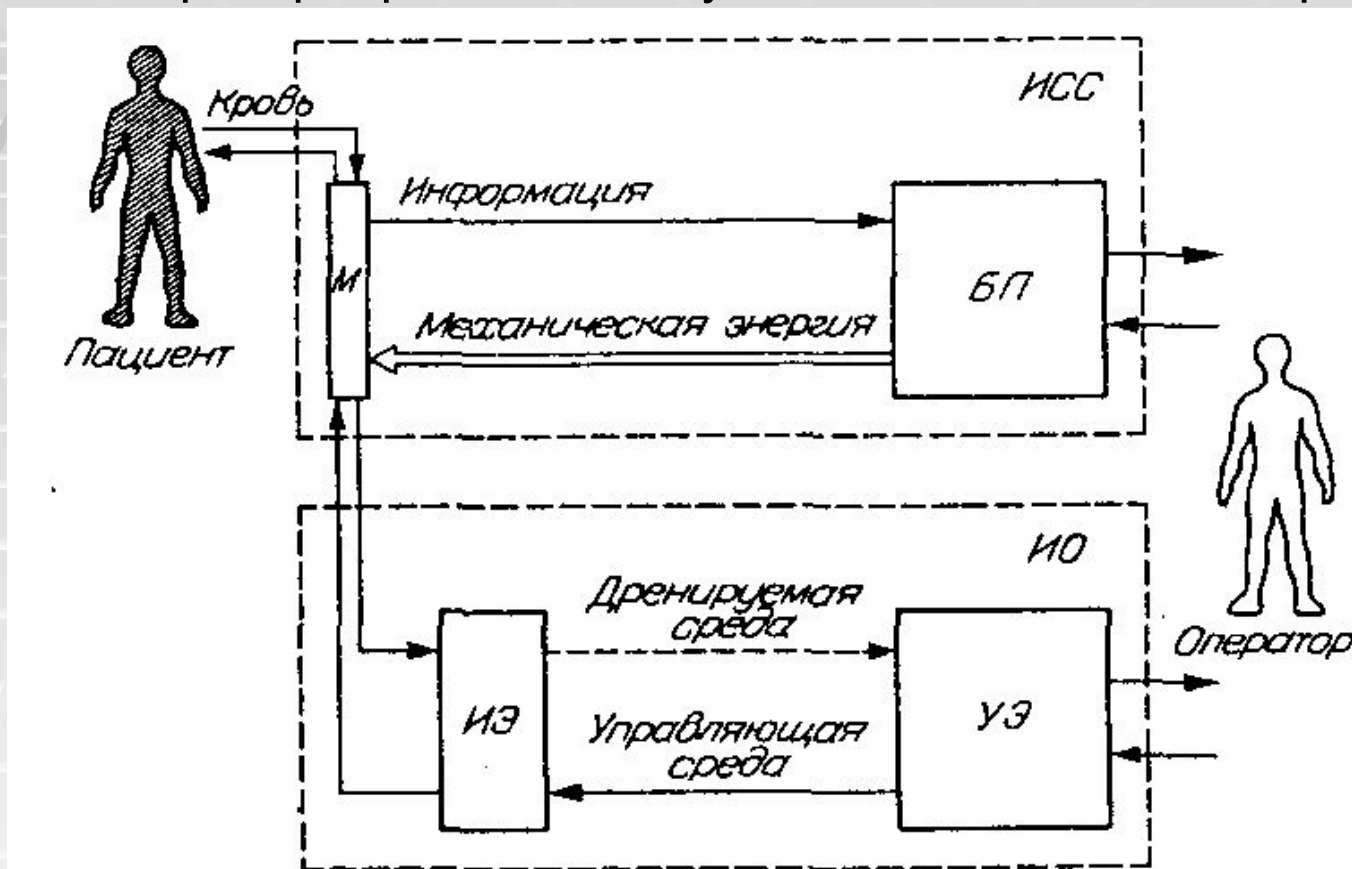
## Структура аппарата для гемодиализа



$M_o$  – оператор,  $F_{c1}$  – диализный блок,  $M_b$  – организм пациента,  
 $F_{c2}$  – перфузионный блок,  $F_{c3}$  – измеритель физиологических параметров,  
 $F_{d1}$  – диализатор,  $F_{d2}$  – разделительные камеры магистралей,  
 $K_d$  – трубопроводы кровопроводящих магистралей

# Биотехнические системы управления (БТС-У)

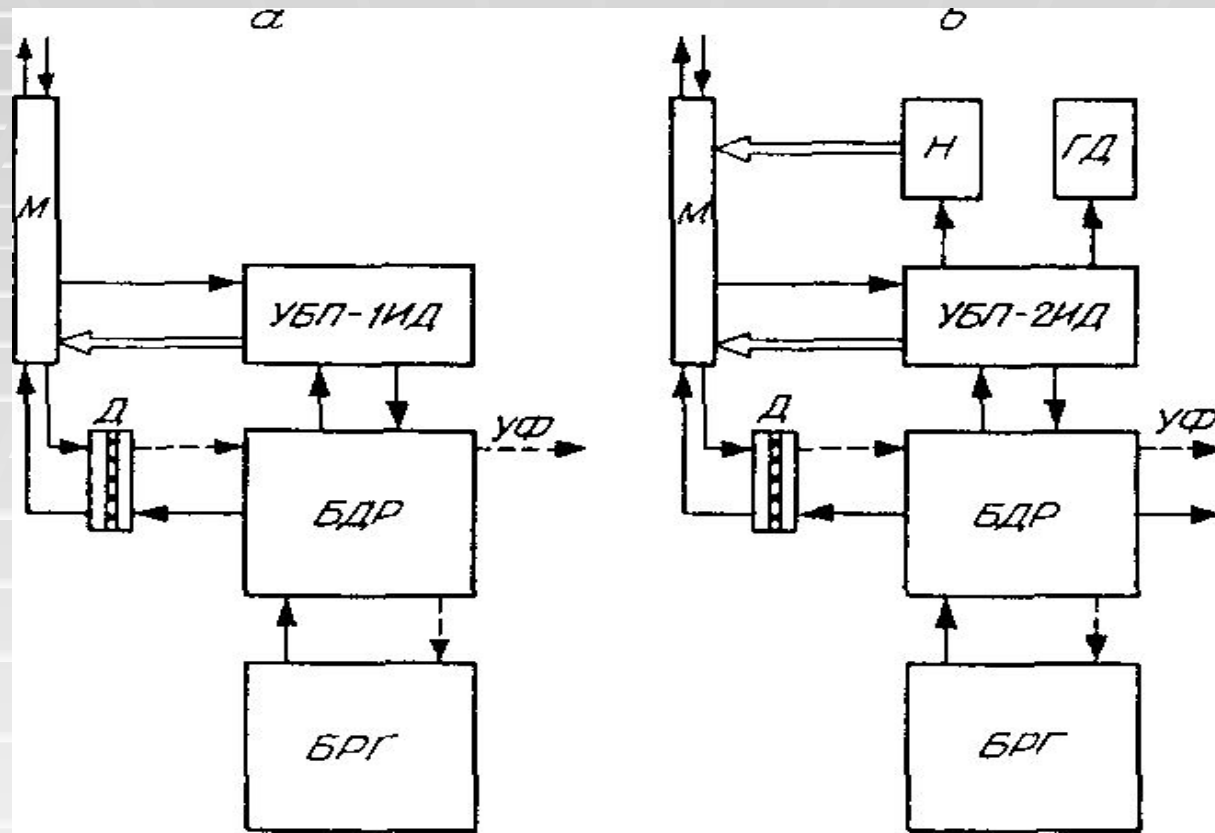
## БТС экстракорпорального искусственного очищения крови



ИСС - искусственная «серечно-сосудистая система»; М - кровопроводящие магистрали; БП - блок перфузионный; ИО - искусственный орган; ИЭ – исполнительный элемент; УЭ – управляющий элемент

# Биотехнические системы управления (БТС-У)

## Диализные аппараты с регенерацией диализата



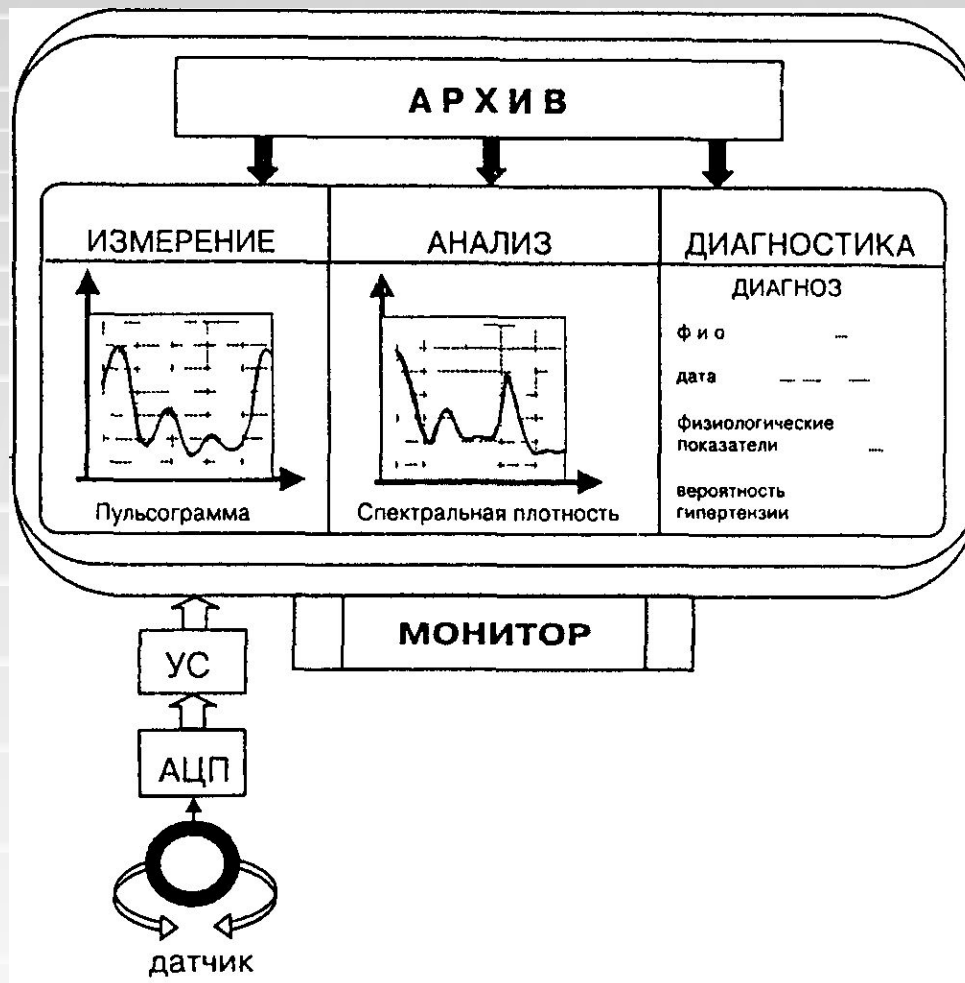
**а - РЕНАРТ-10-Р1 ; б - РЕНАРТ-1000-Р1**

М – кровопроводящие магистрали; Н - насос; УБП – универсальный перфузионный блок с измерителем давления, УФ – ультрафильтрат, ГД- графический дисплей; БДР -блок рециркуляции диализата; БРГ-блок регенерации диализата



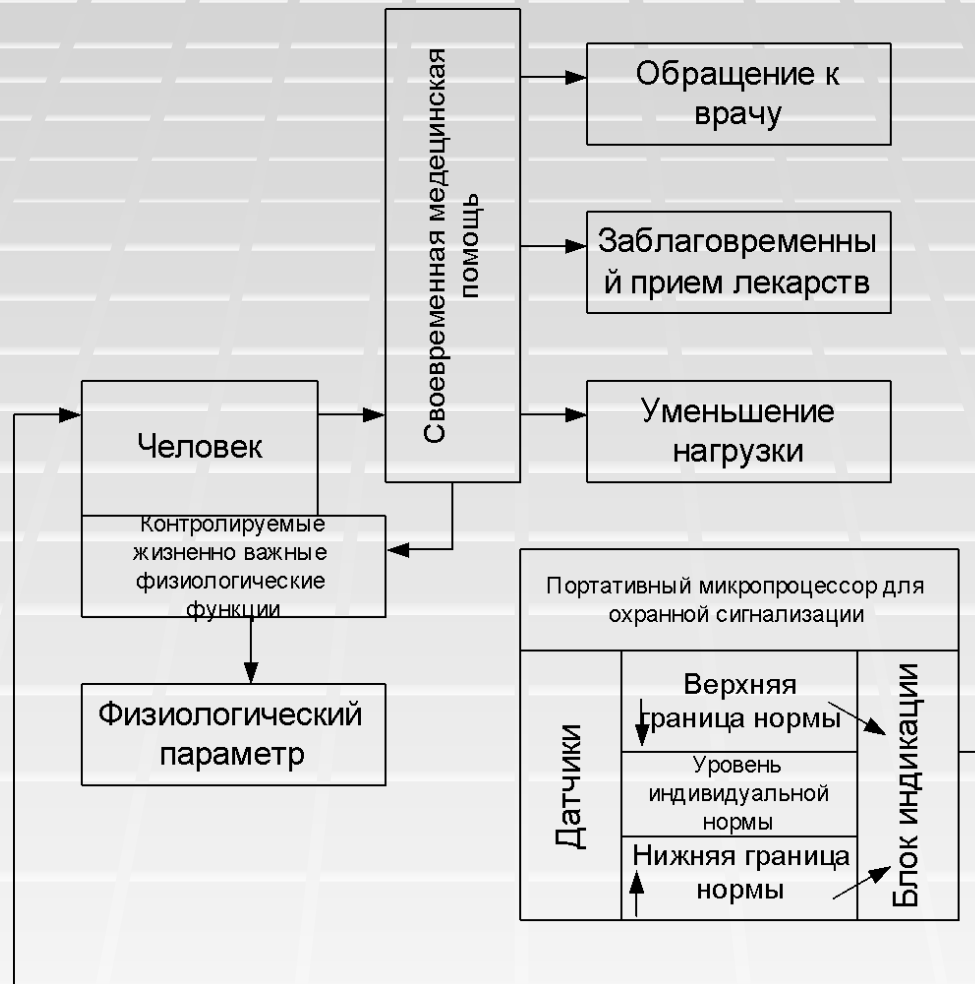
# ОХРАННАЯ СИГНАЛИЗАЦИЯ ЖИЗНЕННО ВАЖНЫХ ФУНКЦИЙ ЧЕЛОВЕКА

## КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ



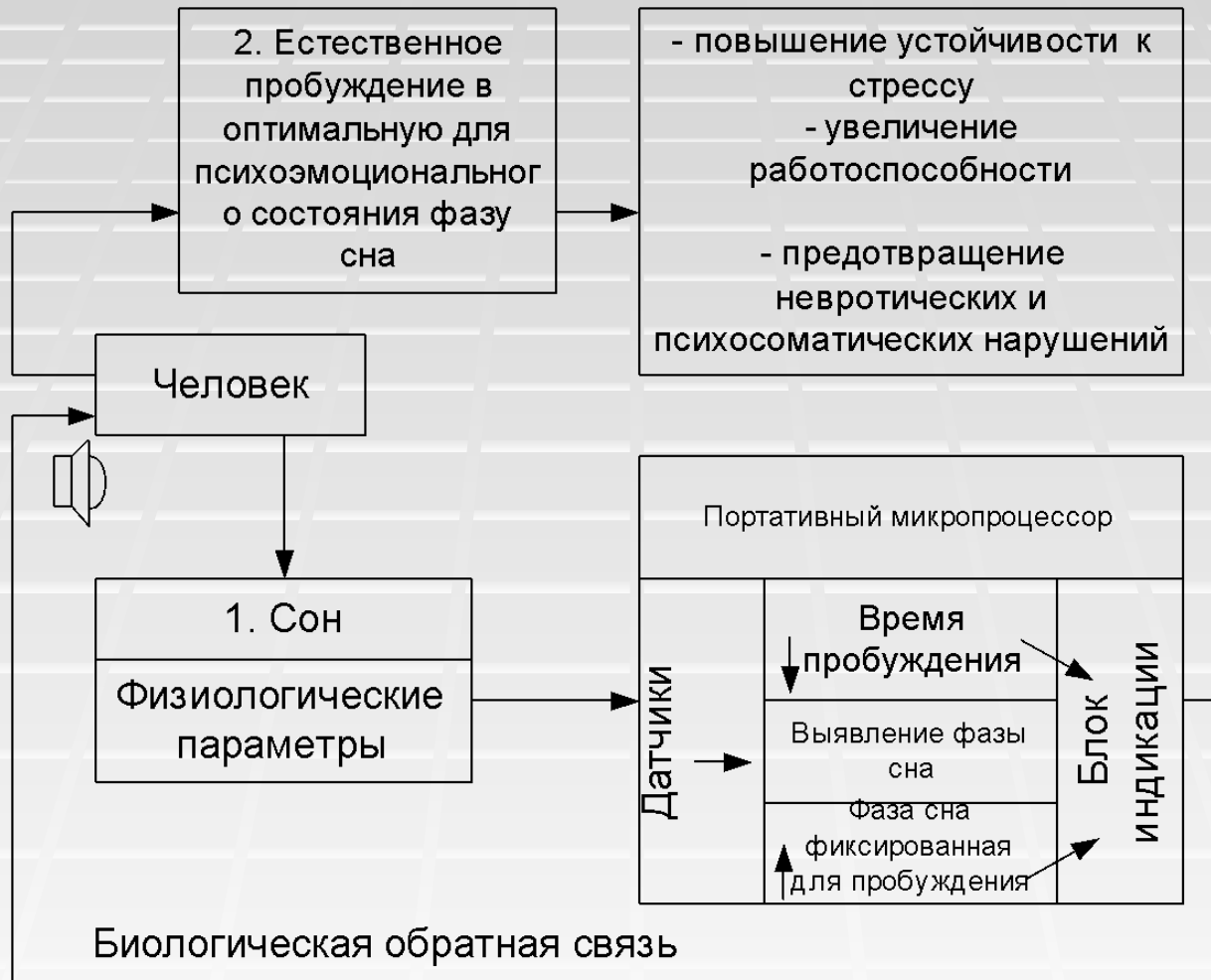
# ОХРАННАЯ СИГНАЛИЗАЦИЯ ЖИЗНЕННО ВАЖНЫХ ФУНКЦИЙ ЧЕЛОВЕКА

## БТС индивидуальной защиты физиологических функций



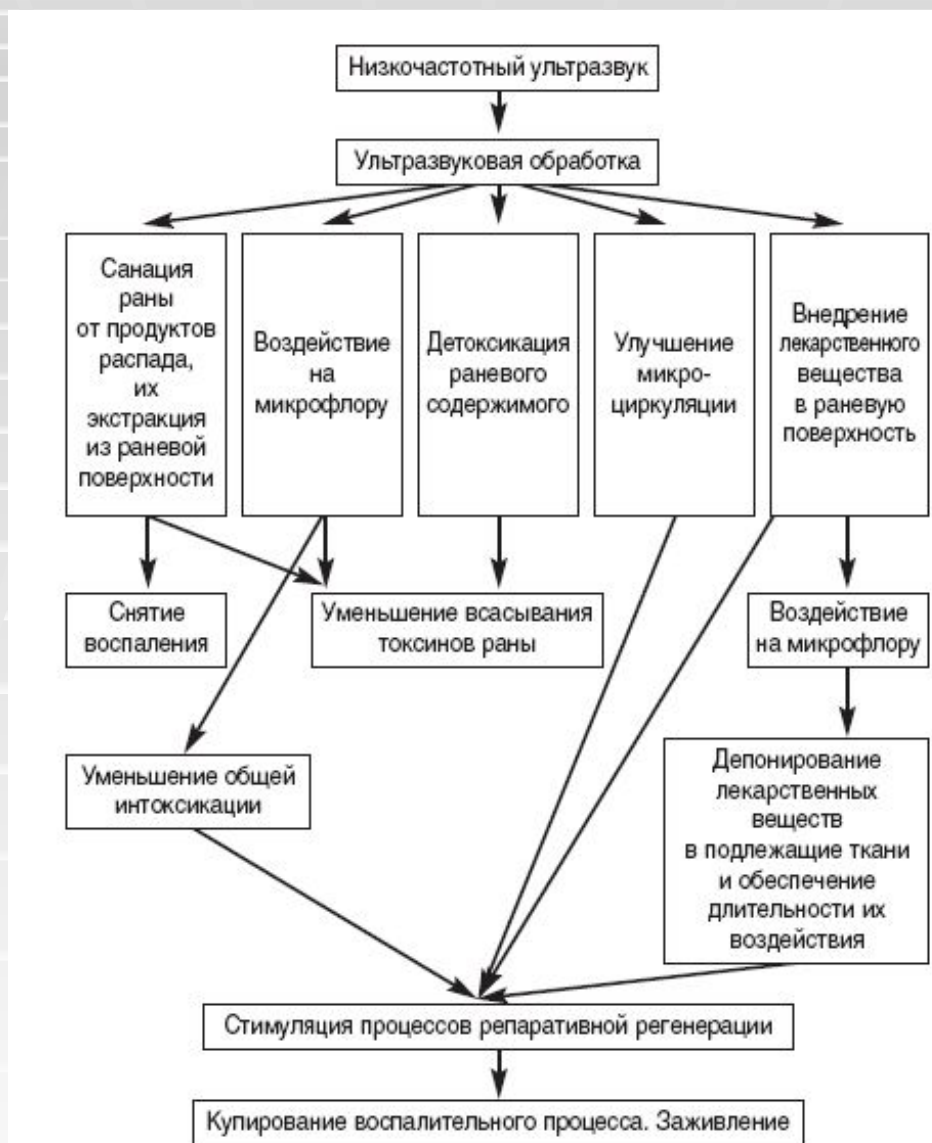
# ОХРАННАЯ СИГНАЛИЗАЦИЯ ЖИЗНЕННО ВАЖНЫХ ФУНКЦИЙ ЧЕЛОВЕКА

## БТС ПРОБУЖДЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА В ОПТИМАЛЬНУЮ ФАЗУ СНА



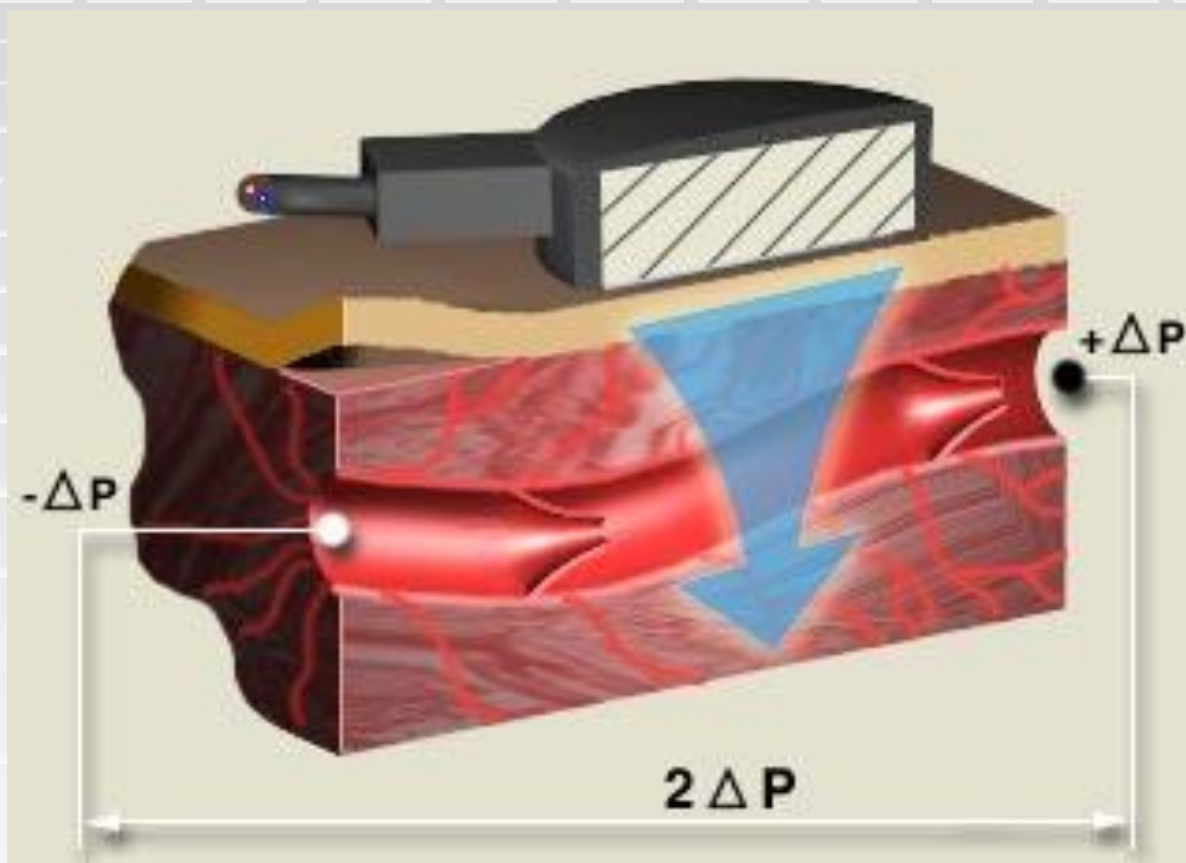
# Проектирование БТС акустического воздействия

## ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ АКУСТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ



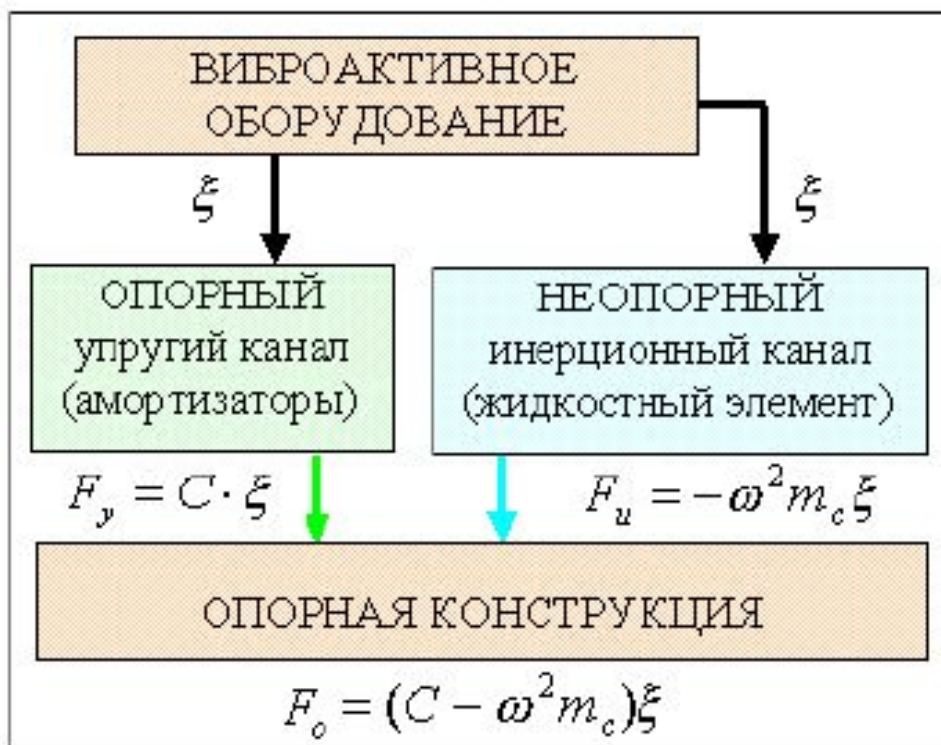
# Проектирование БТС акустического воздействия

Физиологические механизмы действия микровибраций  
на организм человека



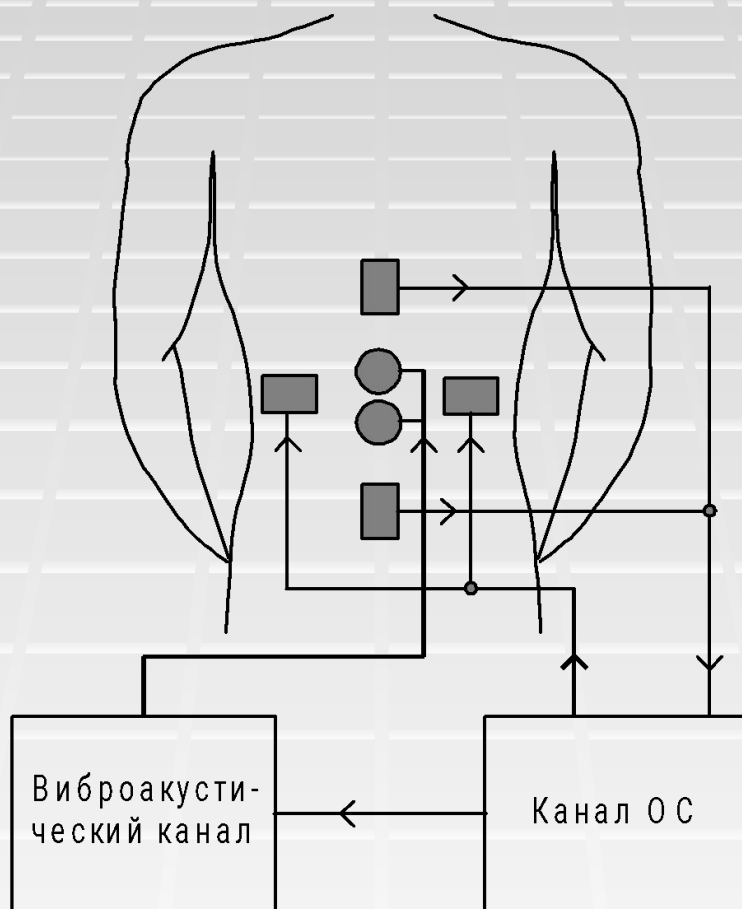
# Проектирование БТС акустического воздействия

## СХЕМА ВИБРОАКУСТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ



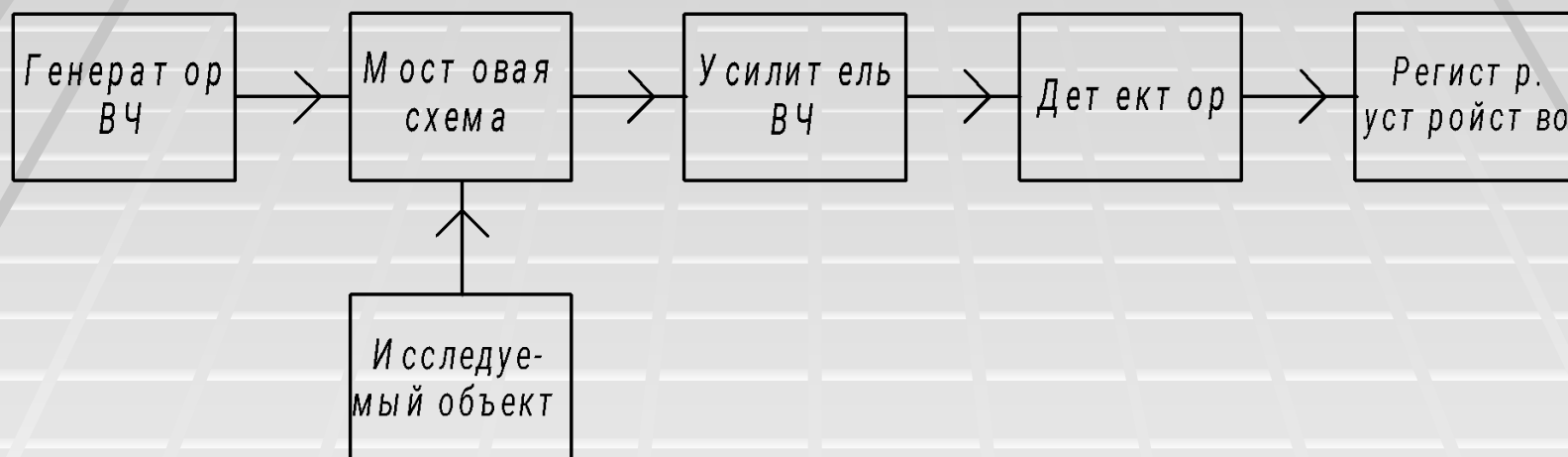
# Проектирование БТС акустического воздействия

## ВИБРОАКУСТИЧЕСКАЯ ТЕРАПЕВТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ



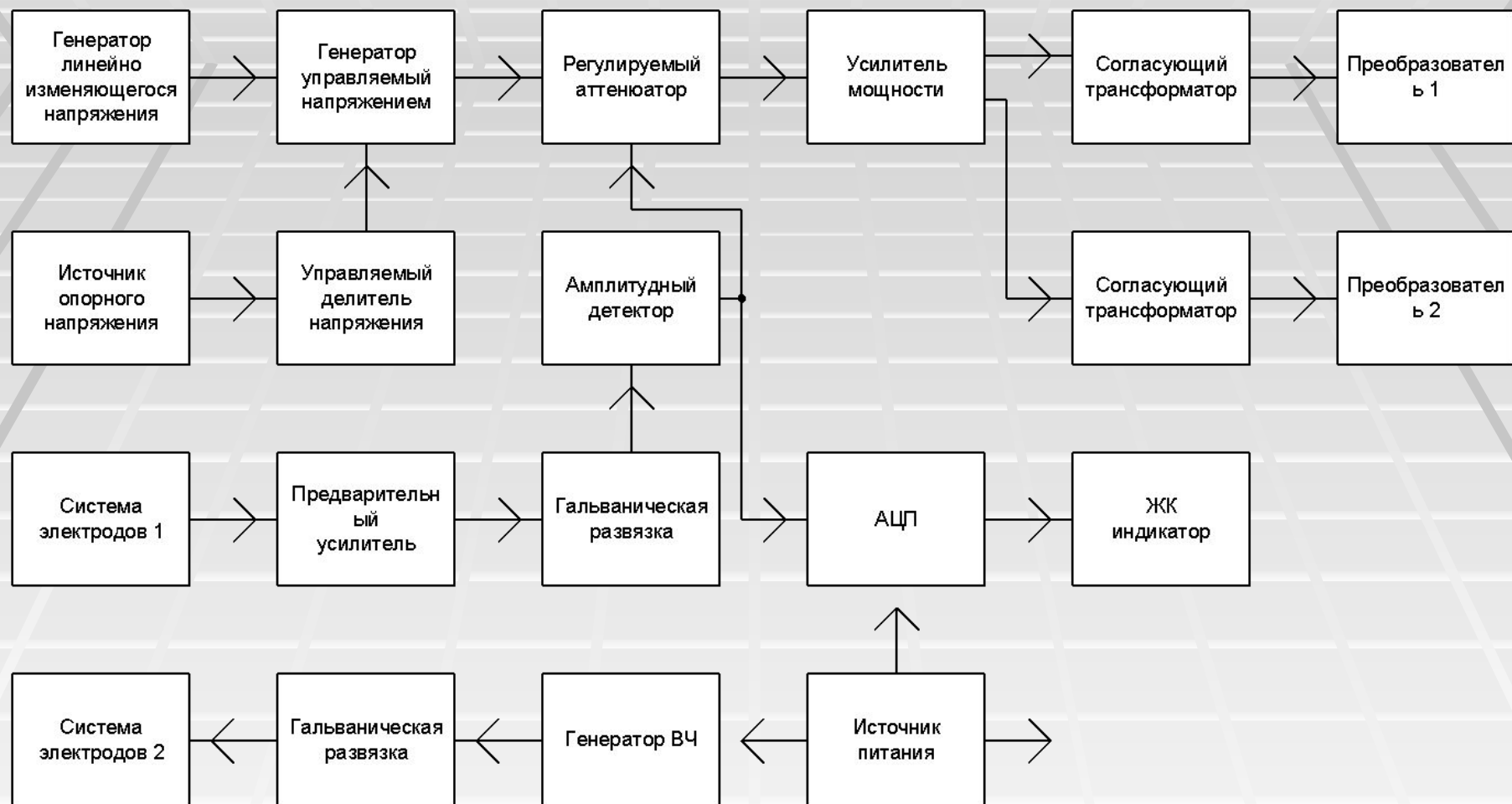
# Проектирование БТС акустического воздействия

## СТРУКТУРНАЯ СХЕМА КАНАЛА ОС



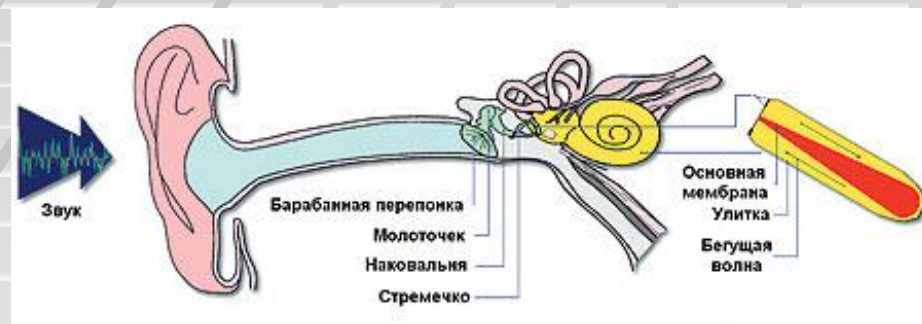


# Проектирование БТС акустического воздействия

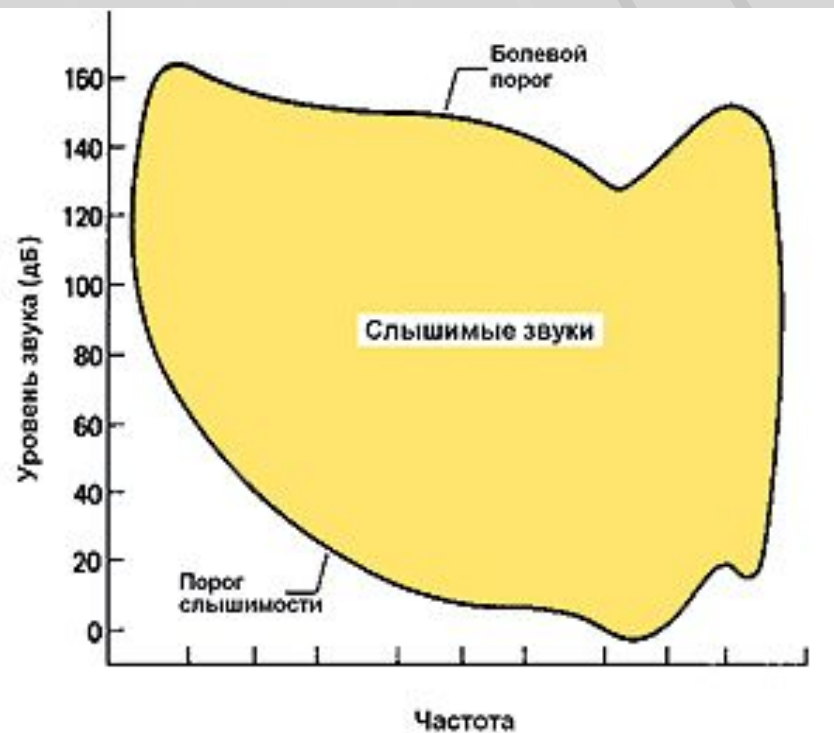


# Проектирование БТС для аудиометрии

## Строение уха человека



## Область слышимых звуков

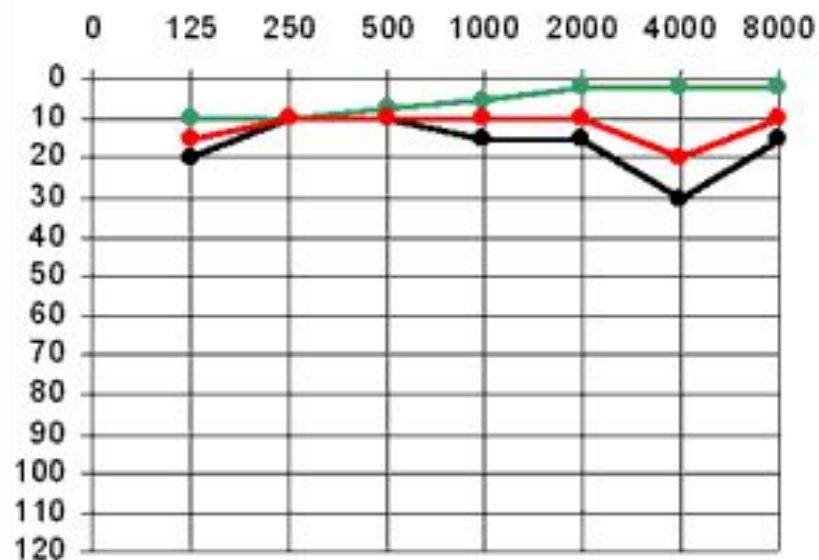


- абсолютный порог слышимости от 10 мкПа
- болевой порог до 100 Па
- опорный уровень давления 20,4 мкПа

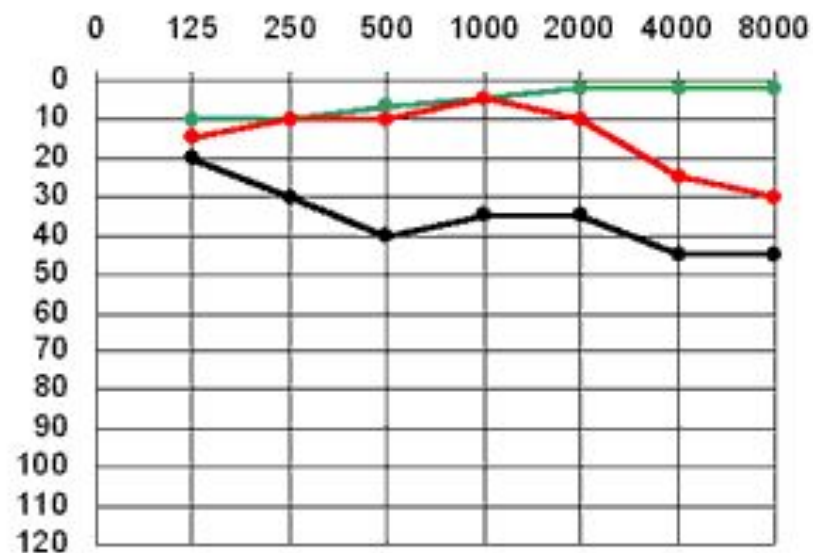
# Проектирование БТС для аудиометрии

## Пример построения тональной аудиогаммы

ПРАВОЕ УХО



ЛЕВОЕ УХО



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:

- до лечения
- после лечения
- нормальная аудиограмма

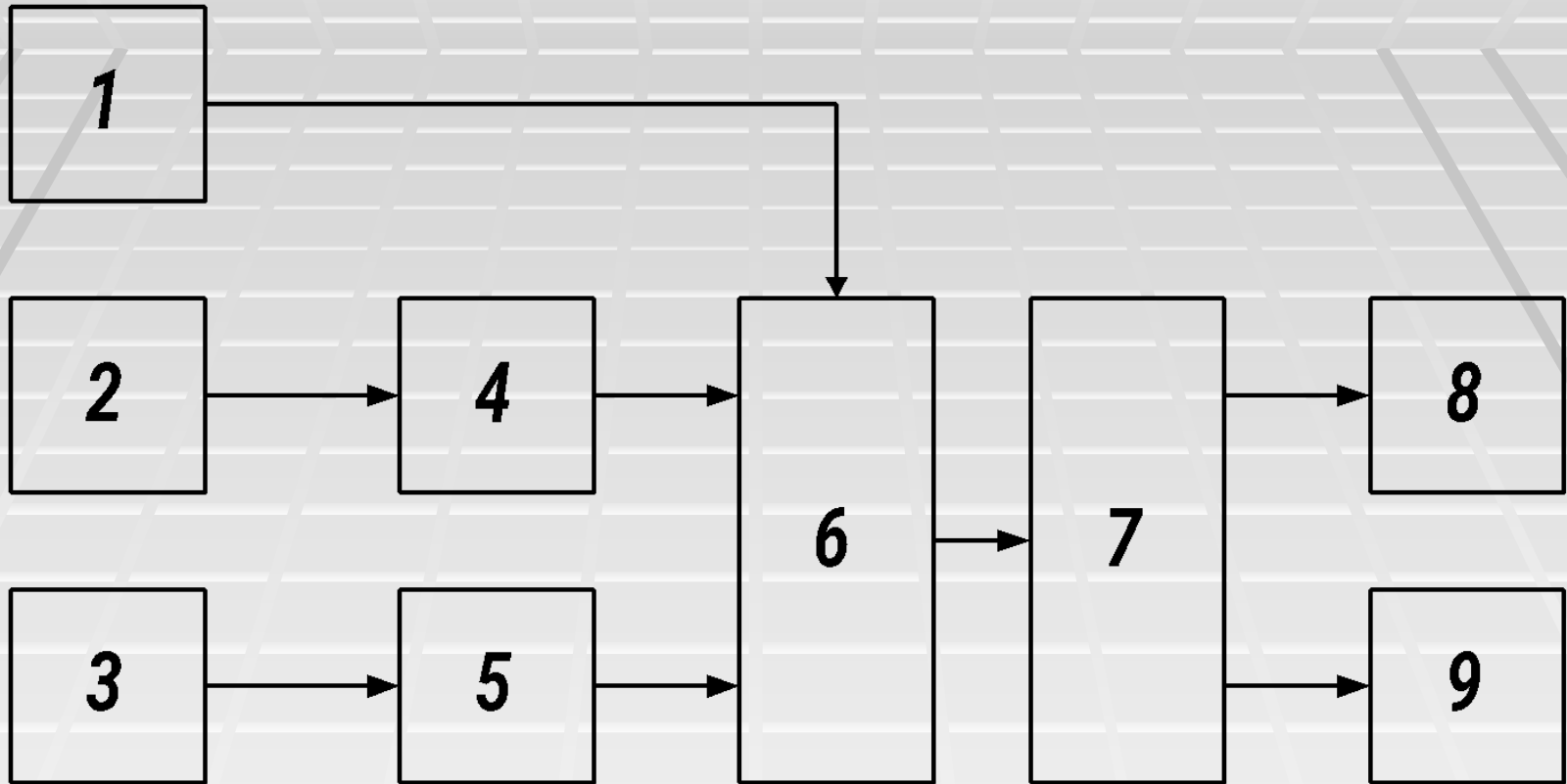
# Проектирование БТС для аудиометрии

## Классификация множества качественных характеристик порогов слуха

| N | Характеристика ПС                         | Значения характеристики                                                                                                                                        |                                                                                                 |
|---|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Проводимость тонов =<br>Потери слуха (ПС) | полностью сохранена                                                                                                                                            | В норме ПС=Н                                                                                    |
|   |                                           | укорочена (слегка / значительно)                                                                                                                               | ПС > Н<br>ПС >> Н                                                                               |
|   |                                           | укорочена резко                                                                                                                                                | Большие ПС                                                                                      |
|   |                                           | понижена (резко выражено)                                                                                                                                      | ПС большие                                                                                      |
| 2 | Восприятие тонов                          | а) всех тонов,<br>б) неравномерное<br>в) плохо НЧ, (сохранены ВЧ)<br>г) плохо ВЧ, (сохранены НЧ)<br>д) плохо СЧ, (сохр.НЧ и ВЧ)<br>е) плохо НЧ, ВЧ, (сохр. СЧ) | а) ровные<br>б) зигзагообразные<br>в) восходящая<br>г) нисходящая<br>д) вогнутая<br>е) выпуклая |
| 3 | Соотношение<br>проведений                 | а) близка к норме<br>б) возможно переслушивание                                                                                                                | а) КВИ >=10<br>б)КВИ = 0 или < 0                                                                |

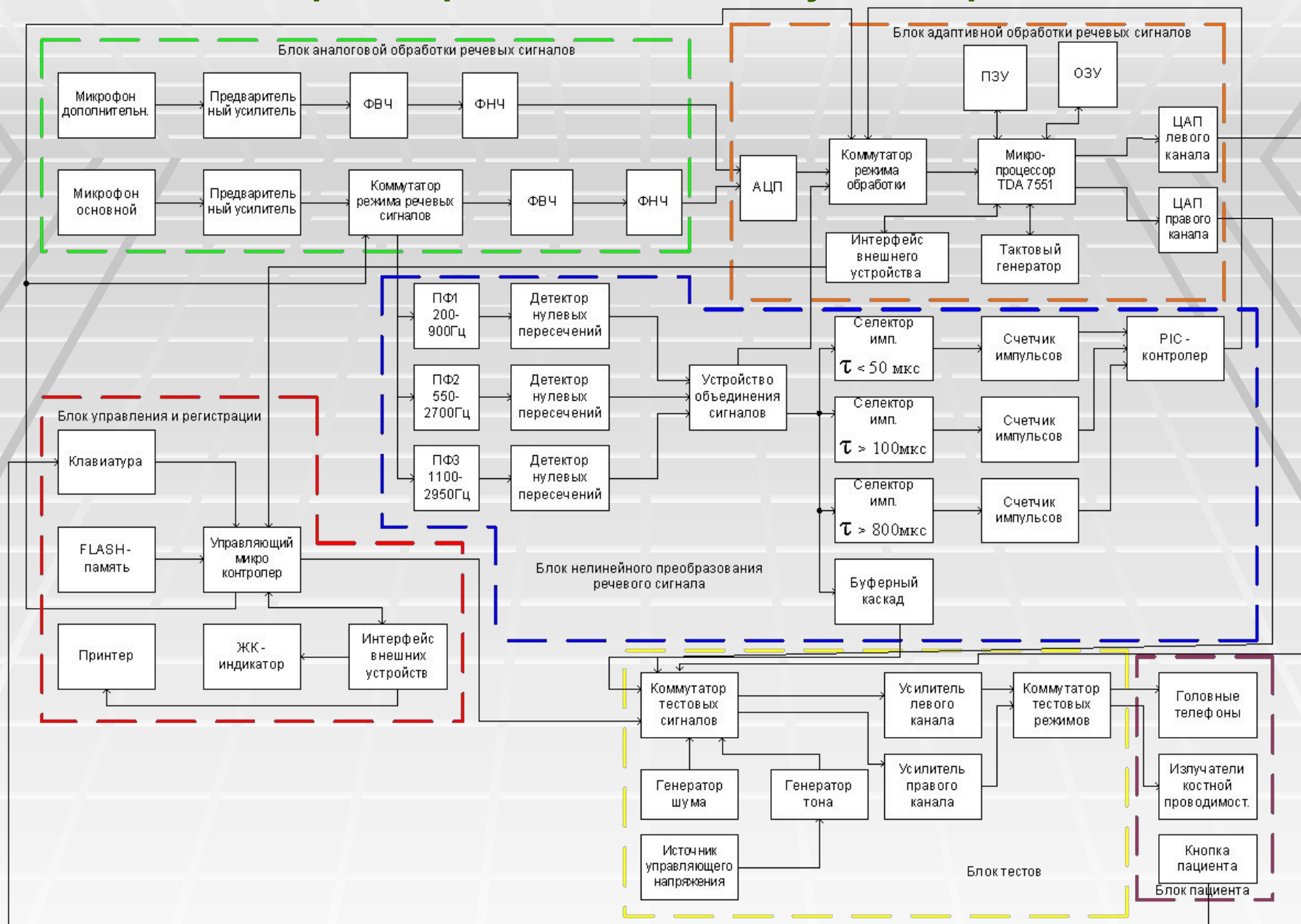
# Проектирование БТС для аудиометрии

Типовая схема аудиометра



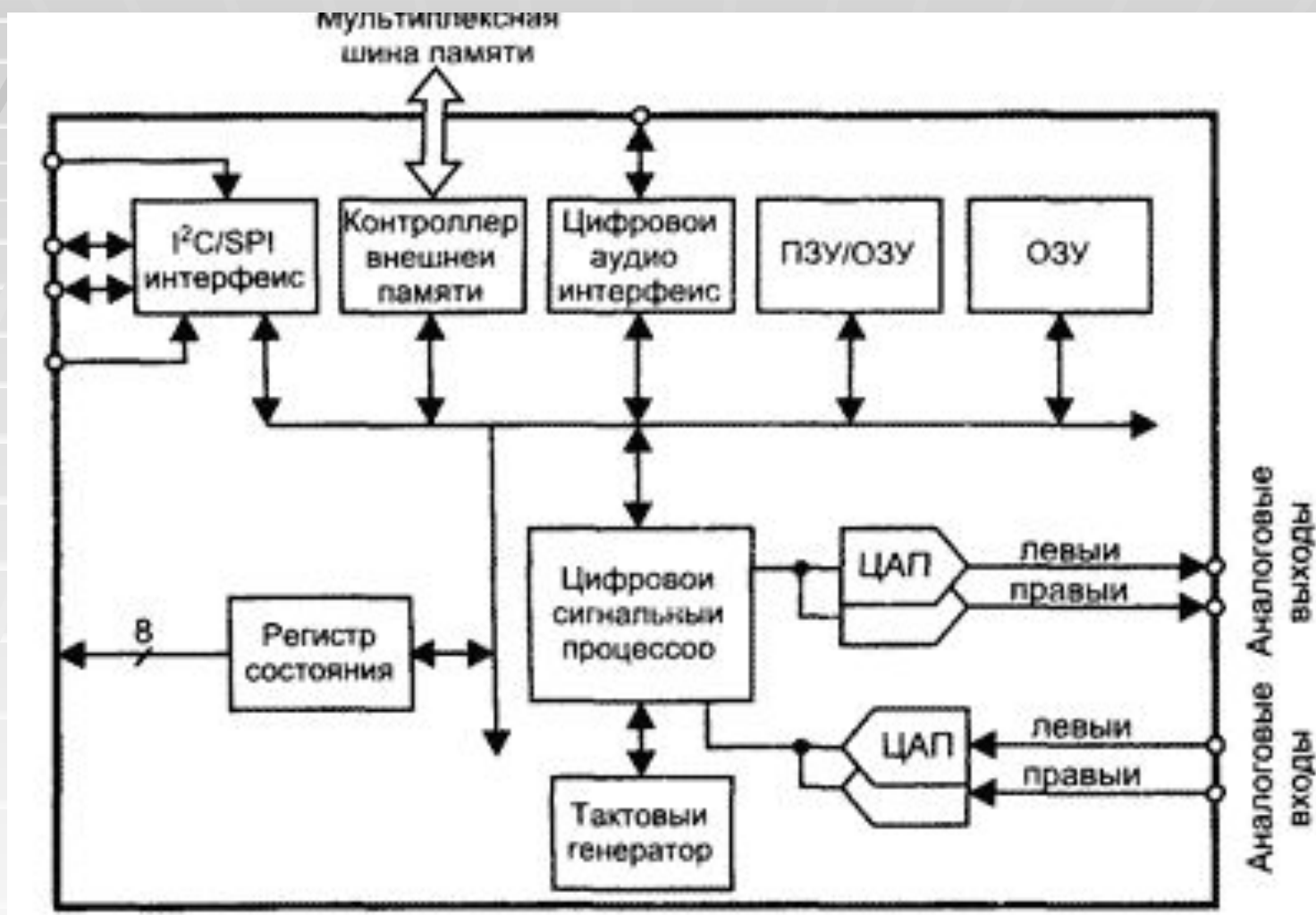
1 — микрофон, 2 — генератор синусоидальных колебаний, 3 — генератор белого шума, 4 — регулятор громкости (L), 5 — регулятор громкости (R), 6 — блок коммутации (L-R), 7 — стереофонический усилитель, 8,9 — головные телефоны воздушной проводимости (L-R)

# Проектирование БТС для аудиометрии



# Проектирование БТС для аудиометрии

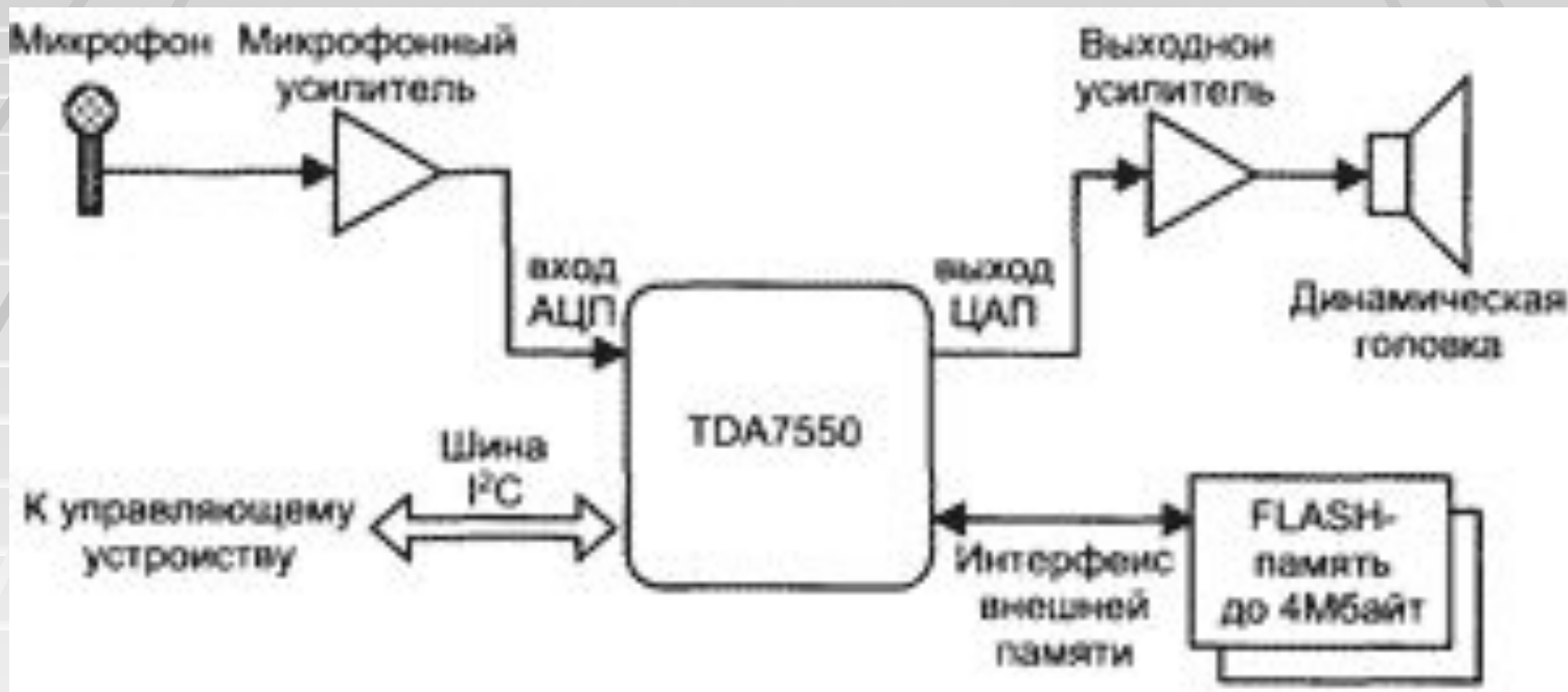
## Блок-схема микросхемы TDA755X





# Проектирование БТС для аудиометрии

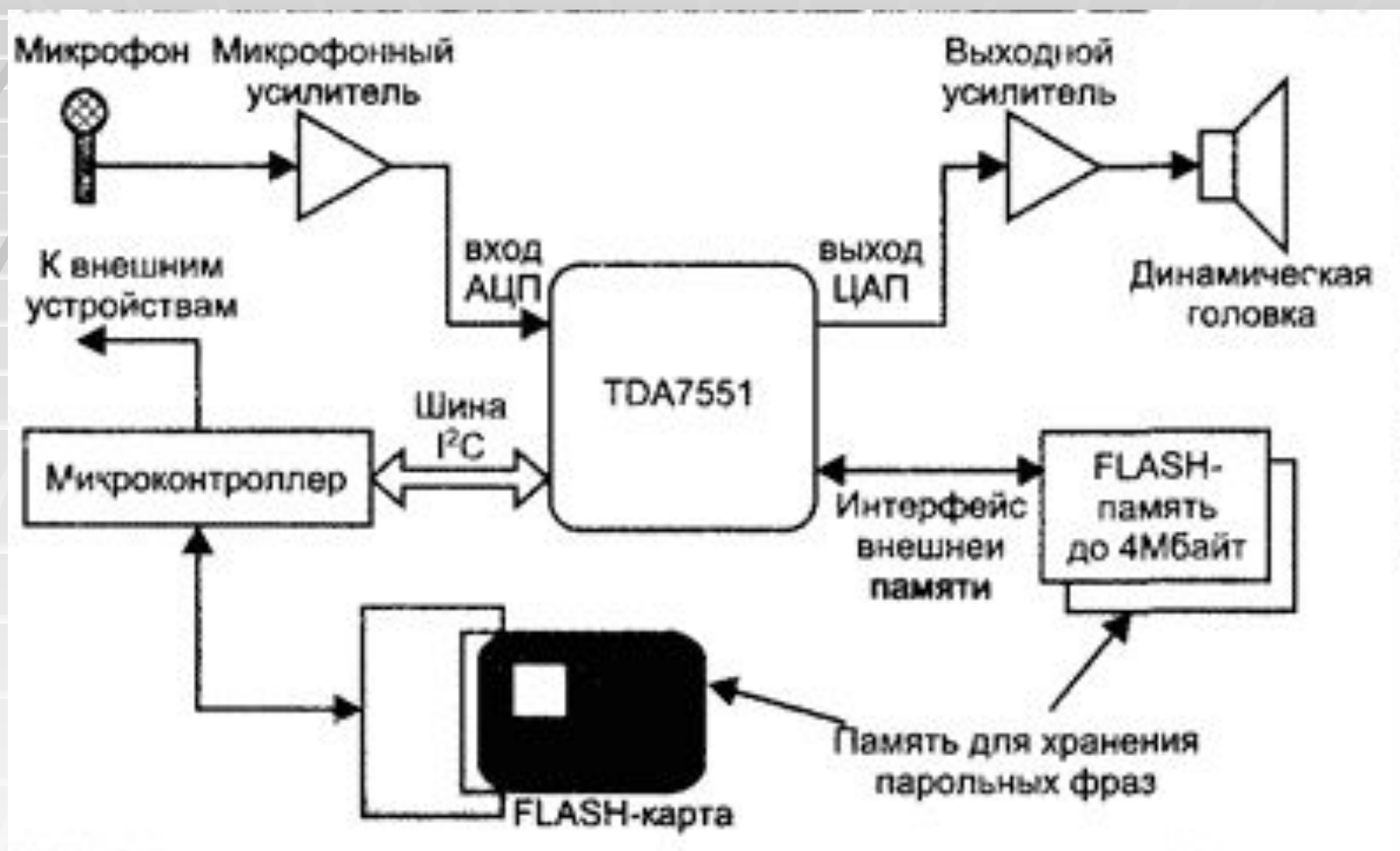
Блок схема системы распознавания речи





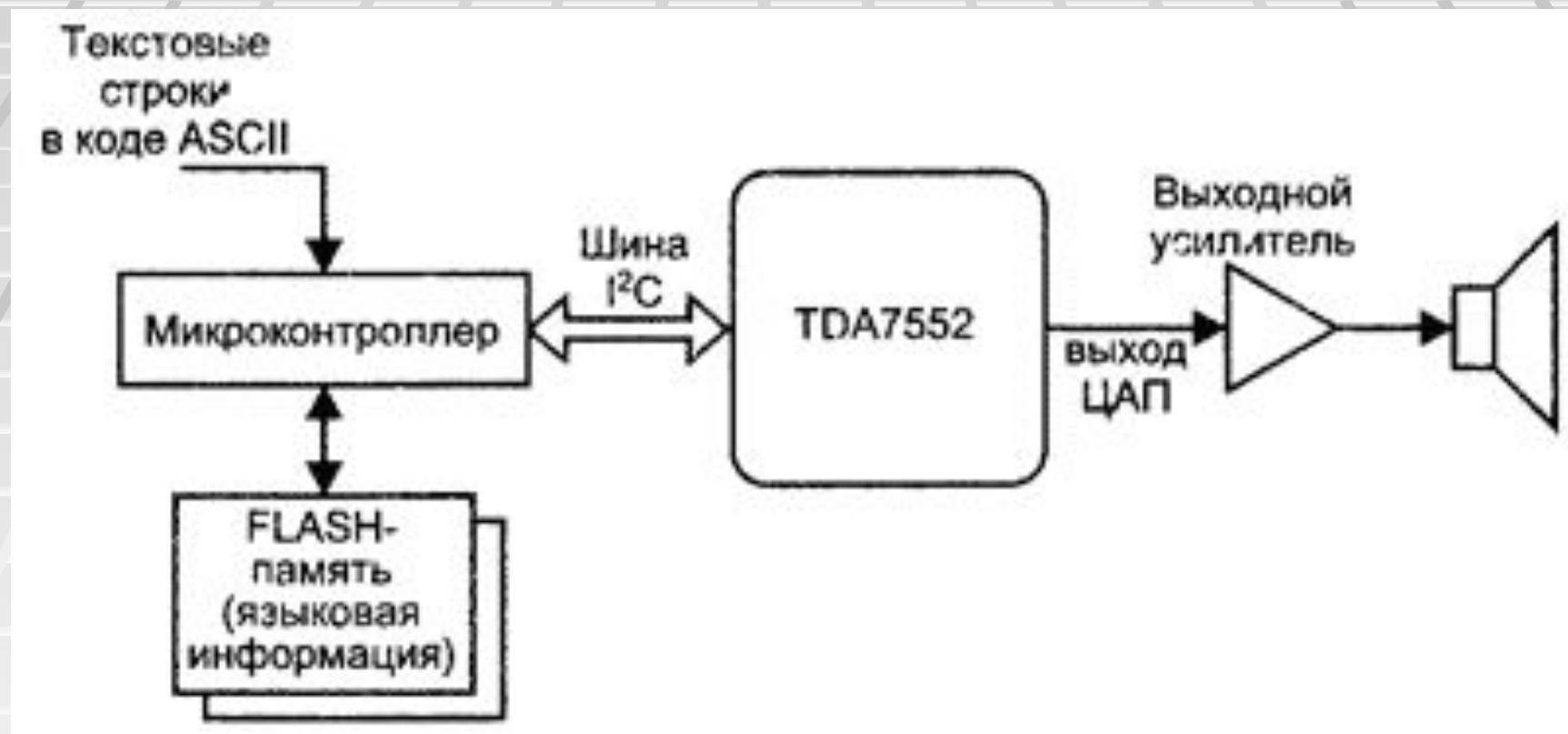
# Проектирование БТС для аудиометрии

## Блок схема системы идентификации голоса



# Проектирование БТС для аудиометрии

Блок схема системы синтеза речи



# Проектирование БТС ультразвуковой доплерометрии

## Доплерометрия в диагностике состояния человека

- ❑ **Эффект Доплера** - зависимость наблюдаемой частоты периодического колебания от любого изменения расстояния между источником колебания и наблюдателем. Этот эффект появляется если наблюдатель или источник движутся или если излучение от неподвижного источника к неподвижному приходит, отражаясь от или рассеиваясь от движущегося объекта.
- ❑ Наблюдаемая частота для доплеровского смещения

$$f_d = (f_i - f_n) = \left( 1 - \frac{c - V_n}{c - V_i} \right) \times f_i$$

- ❑  $V_i$  и  $V_n$  - скорость источника и наблюдателя,
- ❑  $f_i$ , — частота колебаний источника,
- ❑  $c$  — скорость распространения

# Проектирование БТС ультразвуковой доплерометрии

## Доплерометрия в диагностике состояния человека

- При измерении сердцебиения ультразвук рассеивается на флуктуациях плотности и сжимаемости, и принятый сигнал можно вычислить как сумму сигналов от исследуемых элементов на пути ультразвукового пучка.

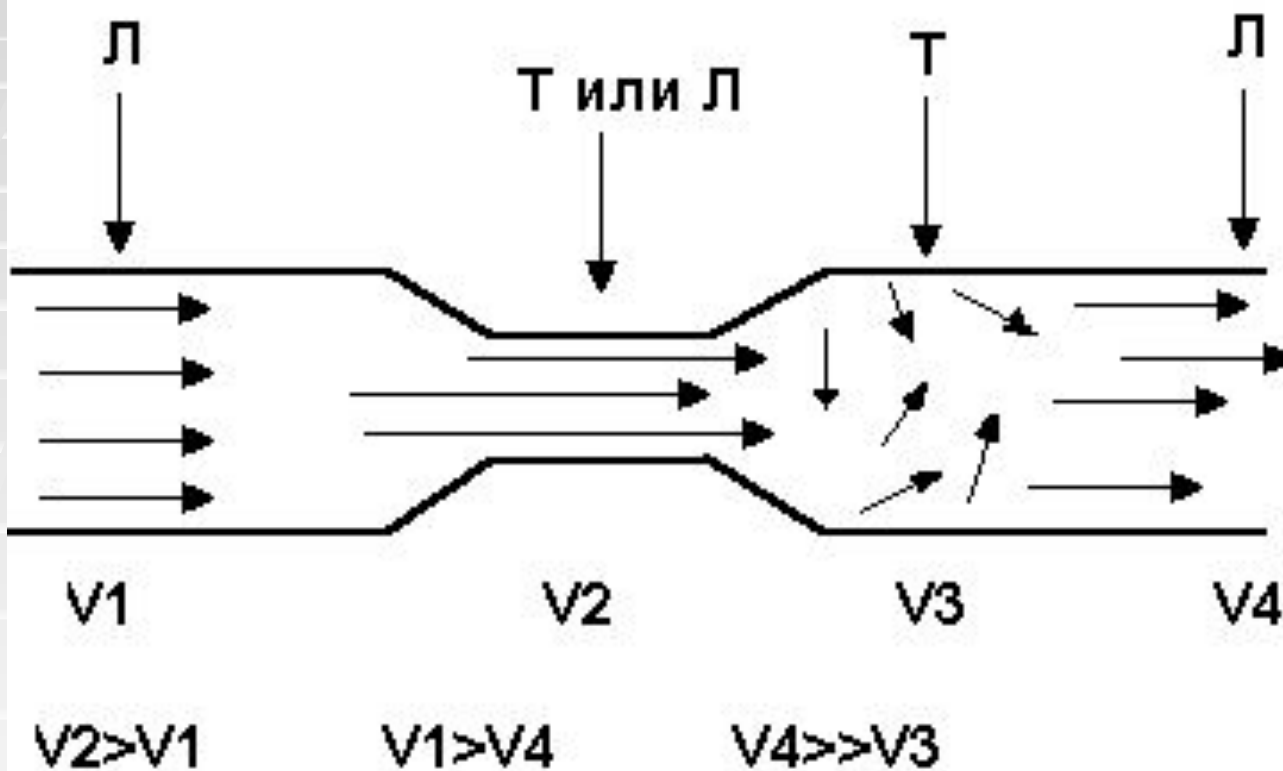
$$f_d = \left( 1 - \frac{c - V_n \cos \theta_n}{c - V_i \cos \theta_i} \right) \times f_i$$

- $\theta_i$ , и  $\theta_n$  - углы между вектором скорости и направлениями излучения и приема;
- $f_i$  - частота излучения

## Проектирование БТС ультразвуковой доплерометрии

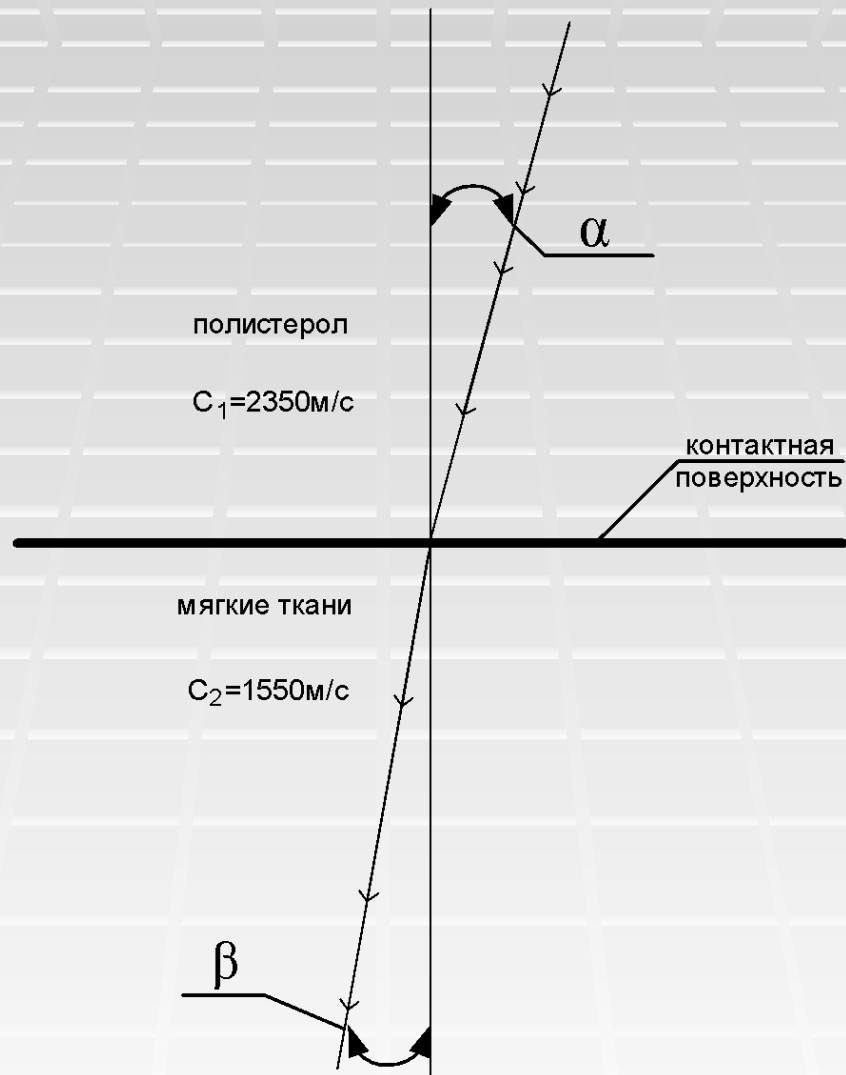
Соотношение типов потока и скоростей при локальном сужении сонной артерии

Л-ламинарный поток, Т-турбулентный поток



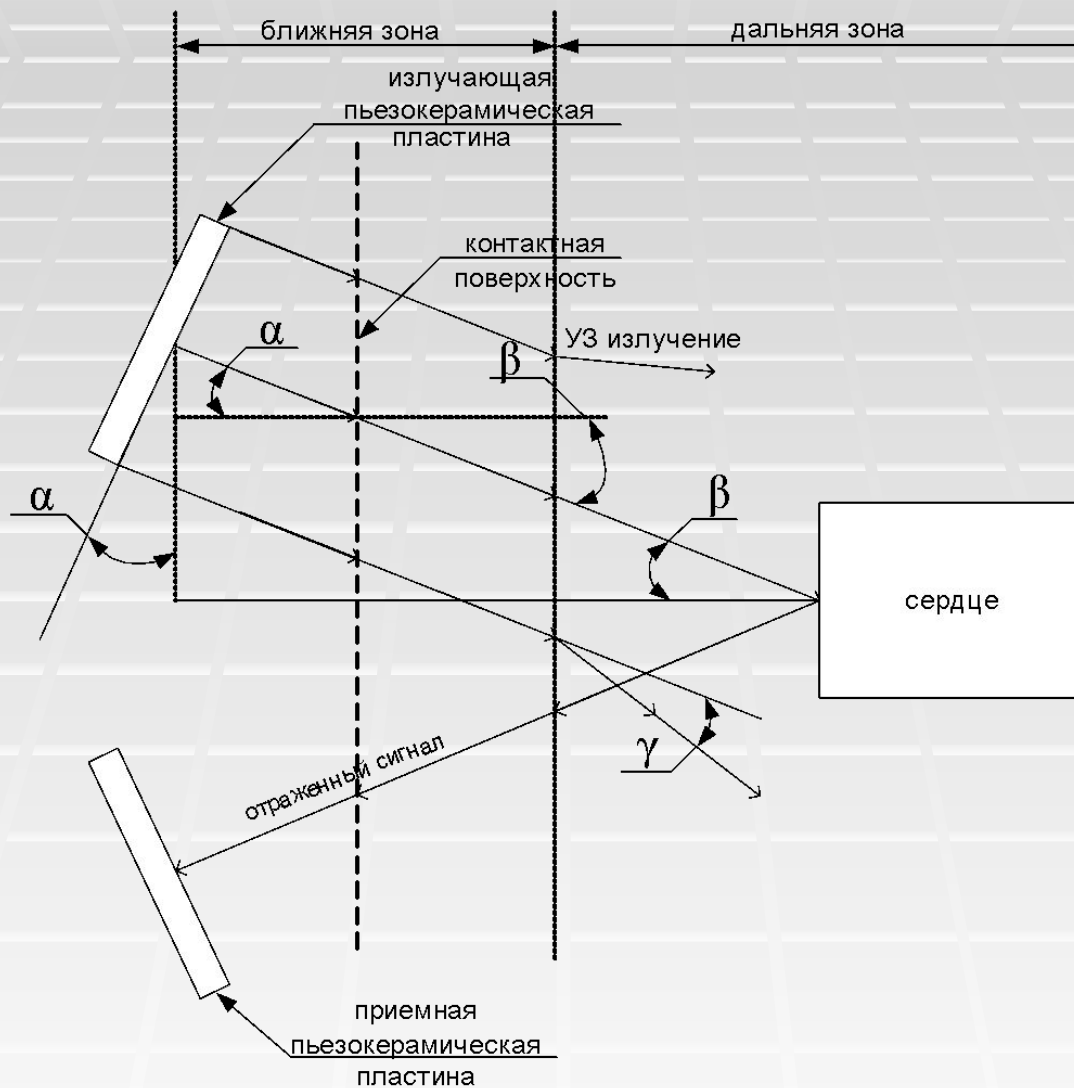
# Проектирование БТС ультразвуковой доплерометрии

## Прохождение УЗ луча через границу раздела двух сред



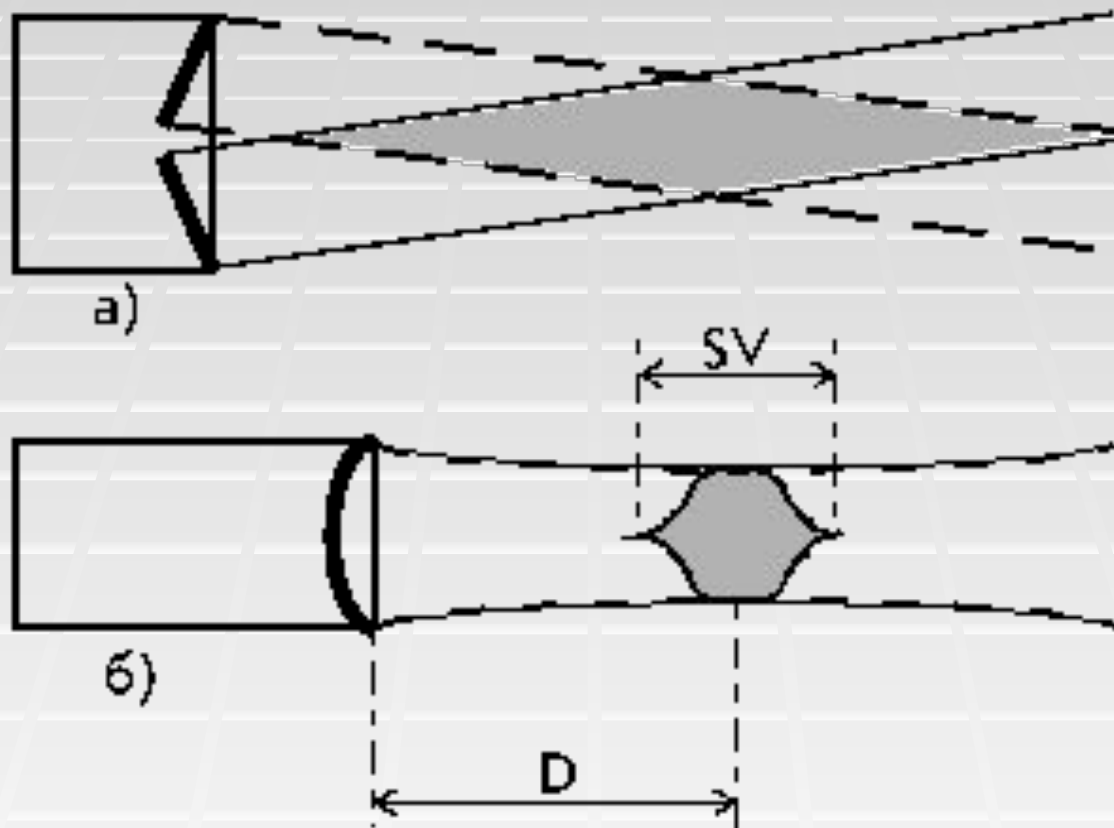
# Проектирование БТС ультразвуковой доплерометрии

## Прохождение УЗ лучей сквозь тело пациента



# Проектирование БТС ультразвуковой доплерометрии

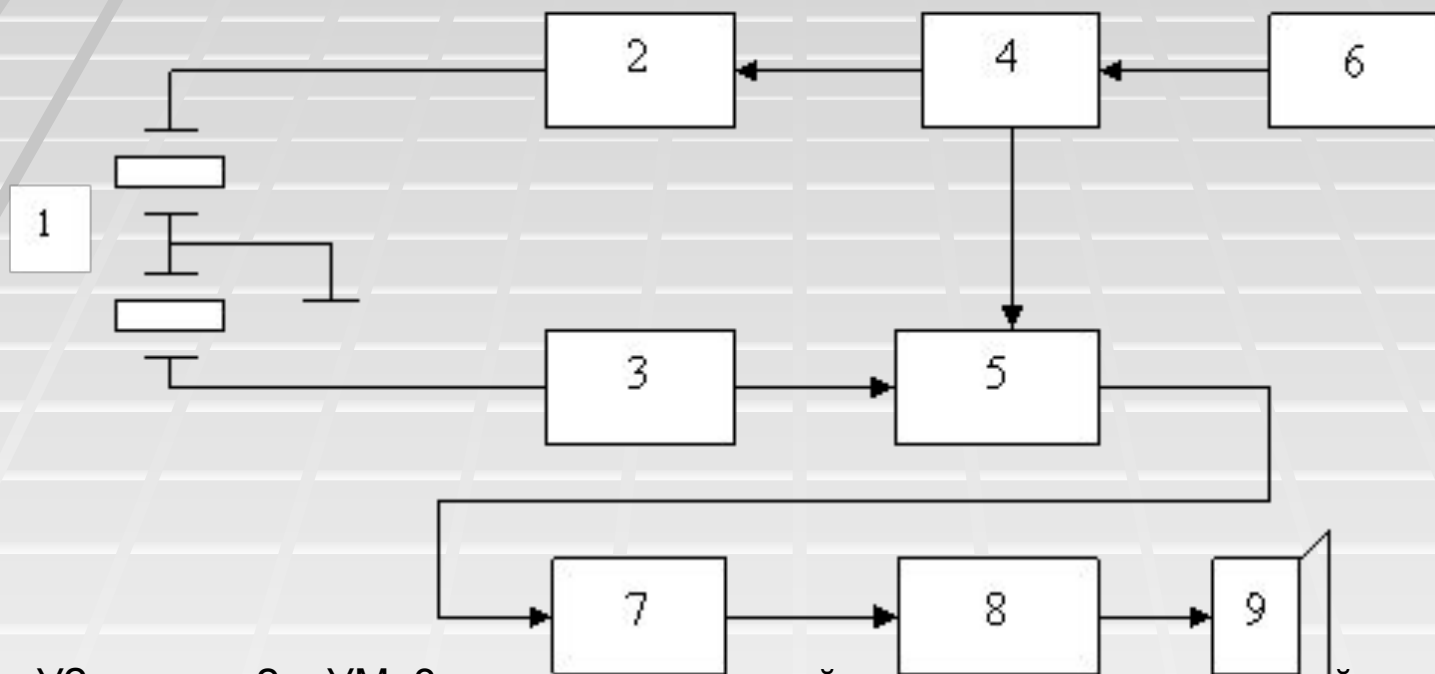
Непрерывно-волновой (а) и импульсный (б) УЗ доплеровские датчики





## Проектирование БТС ультразвуковой доплерометрии

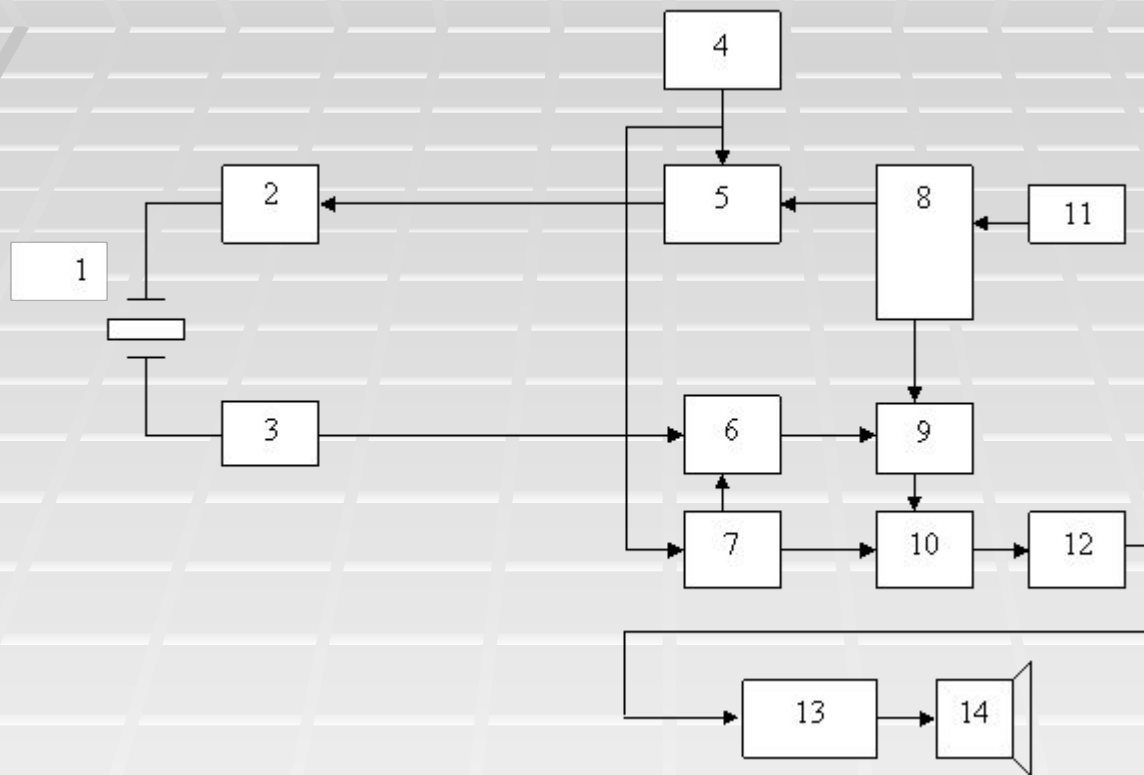
Непрерывно-волновой доплеровский прибор со звуковой индикацией без выделения информации о направлении кровотока



1 – УЗ датчик, 2 – УМ, 3 – предварительный усилитель, 4 – задающий генератор, 5 – синхронный детектор, 6 – кварцевый резонатор, 7 – полосовой фильтр, 8 – УНЧ, 9 – громкоговоритель

# Проектирование БТС ультразвуковой доплерометрии

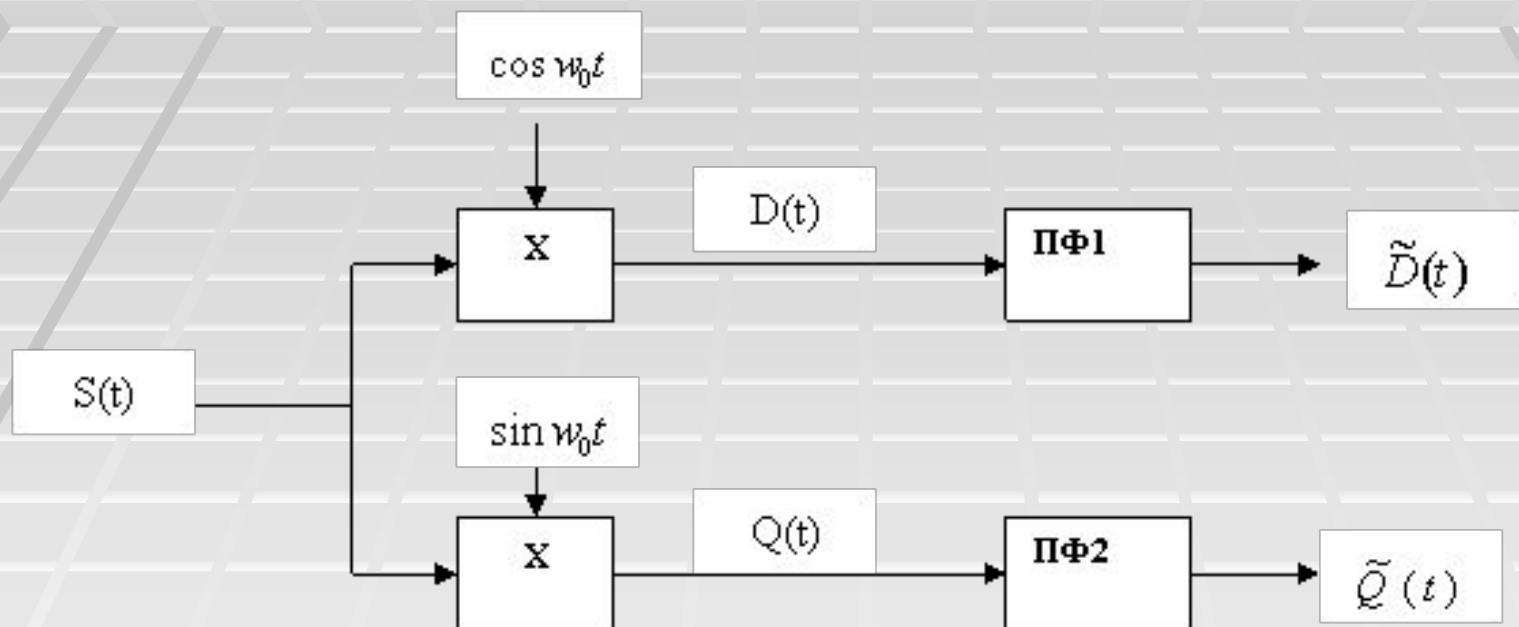
## Импульсный УЗ доплеровский прибор со звуковой индикацией без выделения информации о направлении кровотока



1 – УЗ датчик, 2 – УМ, 3 – предварительный усилитель, 4 - формирователь импульсов разрешения передачи, 5 – селектор передачи, 6 – селектор приема, 7 - формирователь импульсов разрешения приема (линия задержки), 8 - задающий генератор, 9 – синхронный детектор, 10 – УВХ, 11 – кварцевый резонатор, 12 – полосовой фильтр, 13 – УНЧ, 14 – громкоговоритель

# Проектирование БТС ультразвуковой доплерометрии

## Схема квадратурного демодулятора

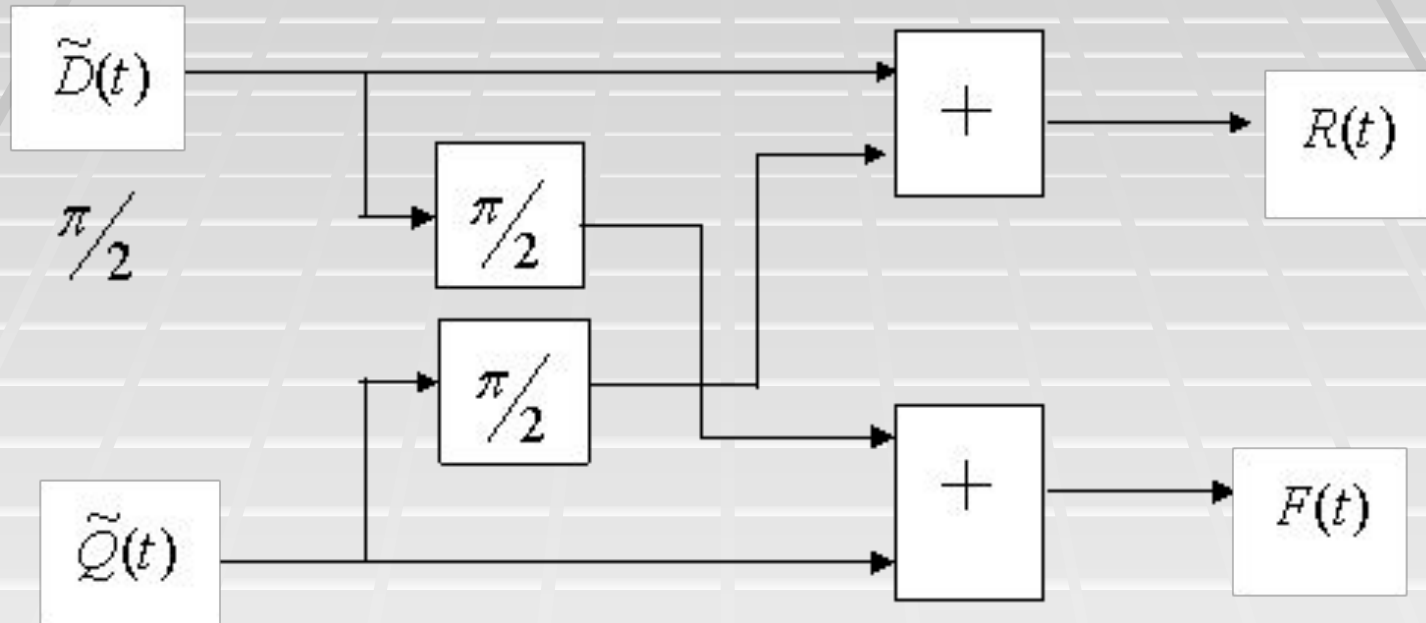


Квадратурный сигнал

$$\tilde{Q}(t) = \frac{1}{2} A_f \cos(\omega_f t + \phi_f + \frac{\pi}{2}) + \frac{1}{2} A_\gamma \cos(\omega_\gamma t - \phi_\gamma - \frac{\pi}{2})$$

## Проектирование БТС ультразвуковой доплерометрии

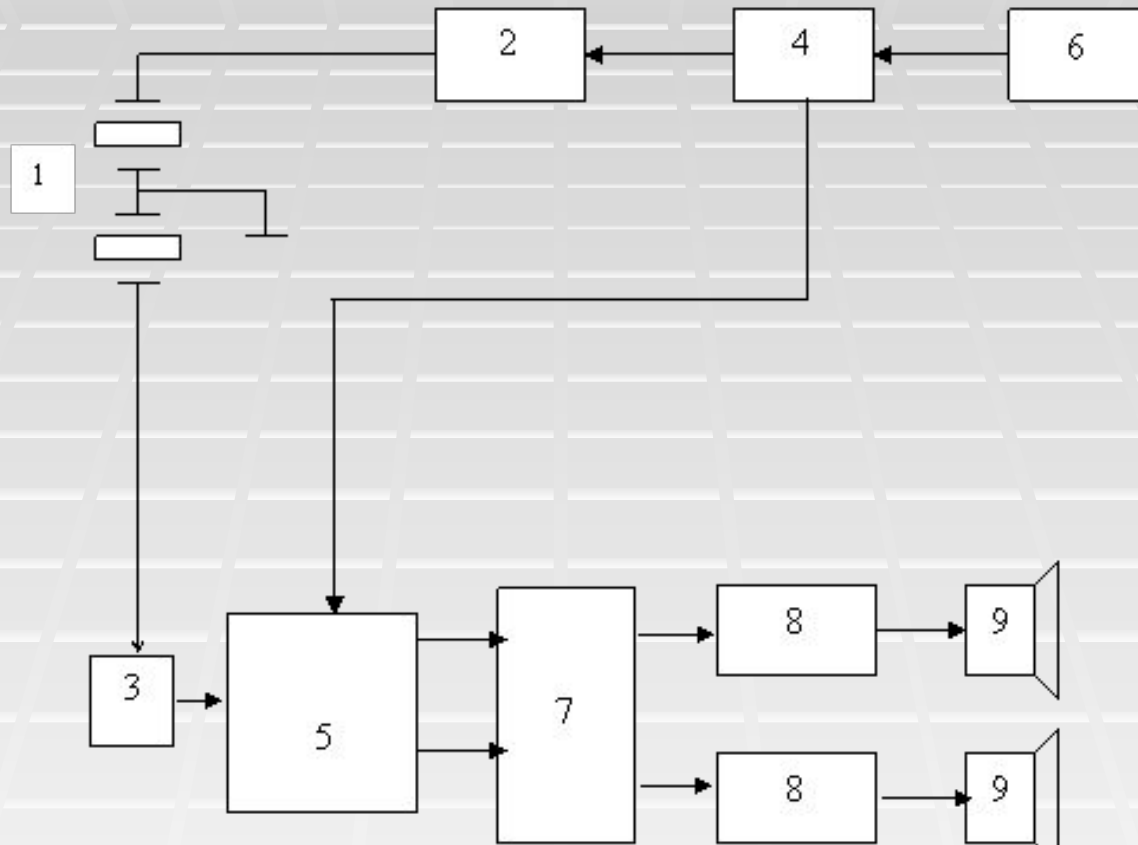
Выделение сигналов прямого и обратного кровотока в фазовой области



$$R(t) = A_{\gamma} \cos(w_{\gamma} t + \phi_{\gamma}) \quad F(t) = A_f \cos(w_f t + \phi_f + \frac{\pi}{2})$$

# Проектирование БТС ультразвуковой доплерометрии

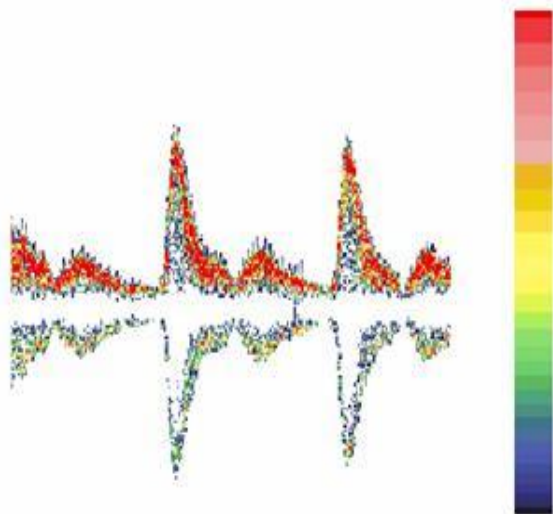
## Непрерывно-волновой доплеровский прибор с выделением информации о направлении скорости кровотока



1 – УЗ датчик, 2 – УМ, 3 – предварительный усилитель, 4 – задающий генератор, 5 – синхронный детектор и схема формирования квадратурных сигналов, 6 – кварцевый резонатор, 7 – полосовой фильтр и схема выделения сигналов прямого и обратного кровотока, 8 – УНЧ, 9 – громкоговорители

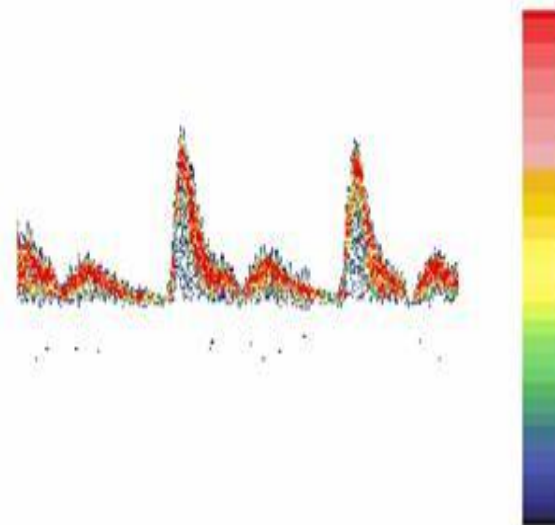
# Проектирование БТС ультразвуковой доплерометрии

Спектрограмма сигнала при наличии отклонения сдвига фаз опорного сигнала квадратурного детектора



$$\varphi_{err} = 30^{\circ}$$

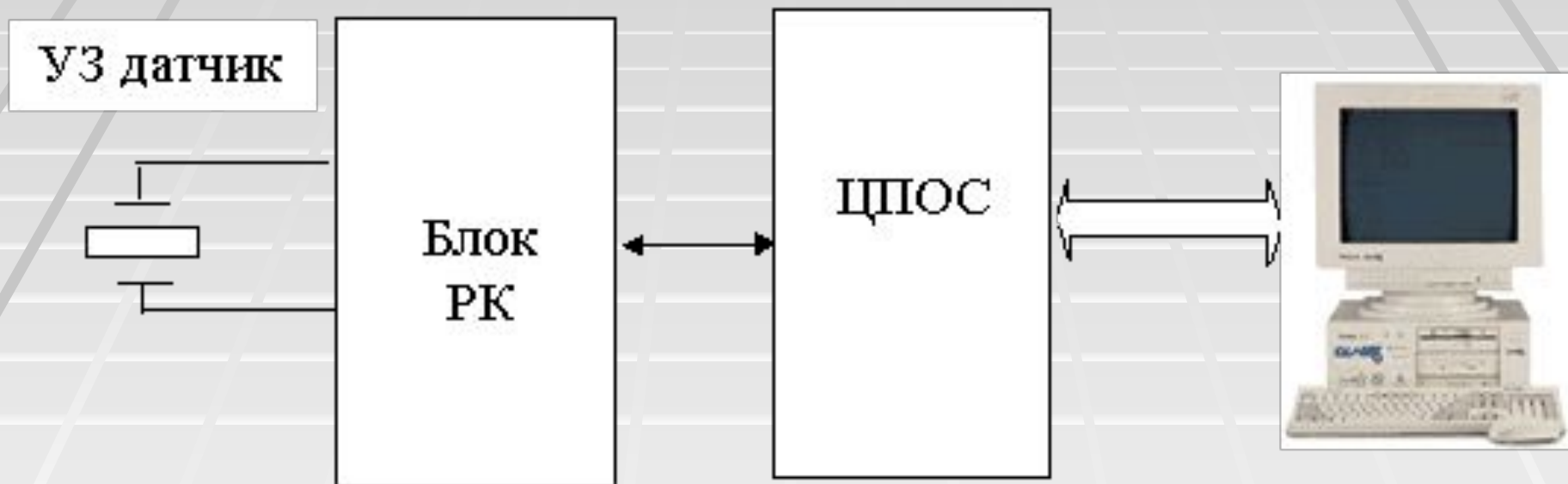
Спектрограмма сигнала при наличии отклонения сдвига фаз опорного сигнала квадратурного детектора



$$\varphi_{err} = 0^{\circ}$$

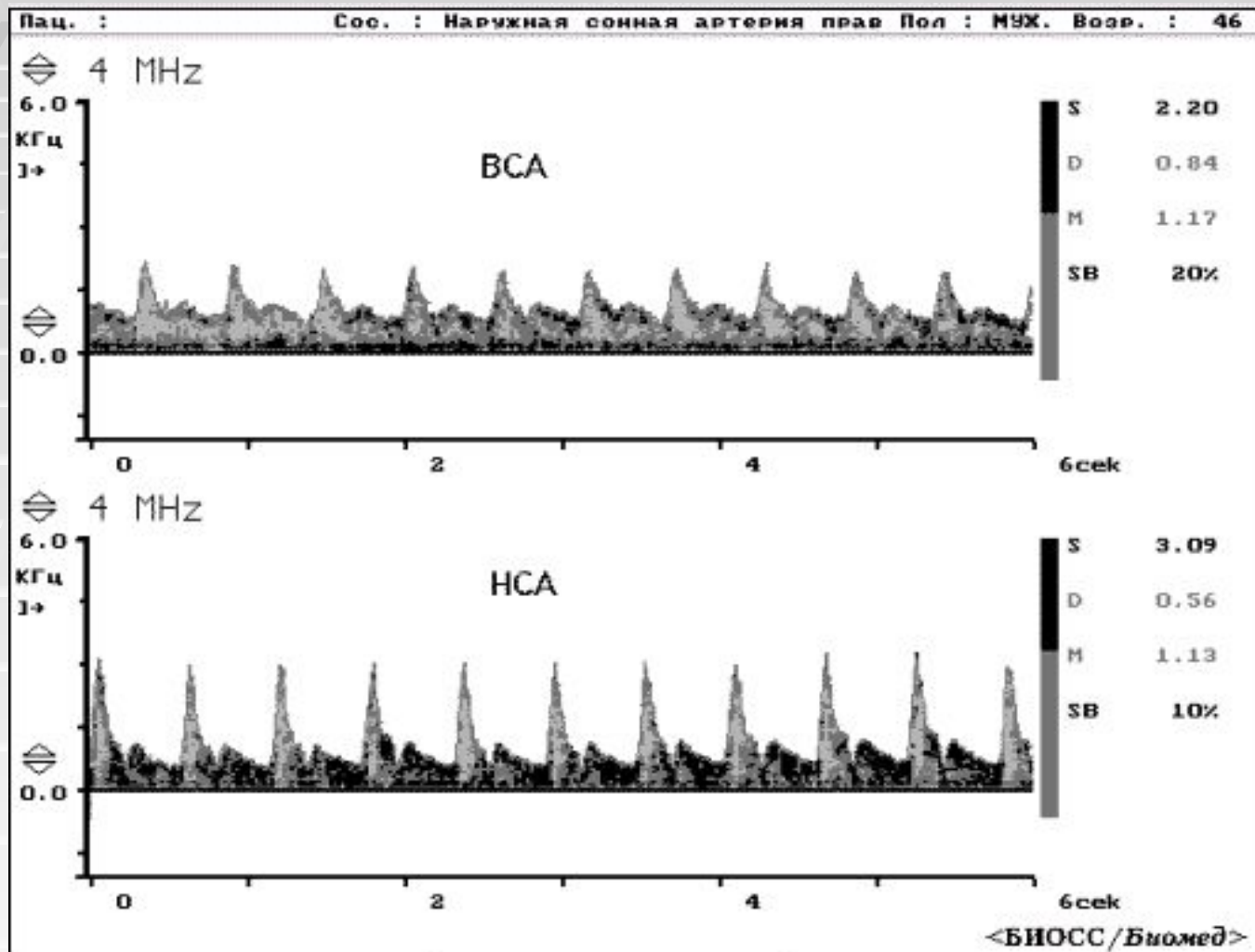
## Проектирование БТС ультразвуковой доплерометрии

Структурная схема аппаратной реализации доплеровского спектрального индикатора скорости кровотока



# Проектирование БТС ультразвуковой доплерометрии

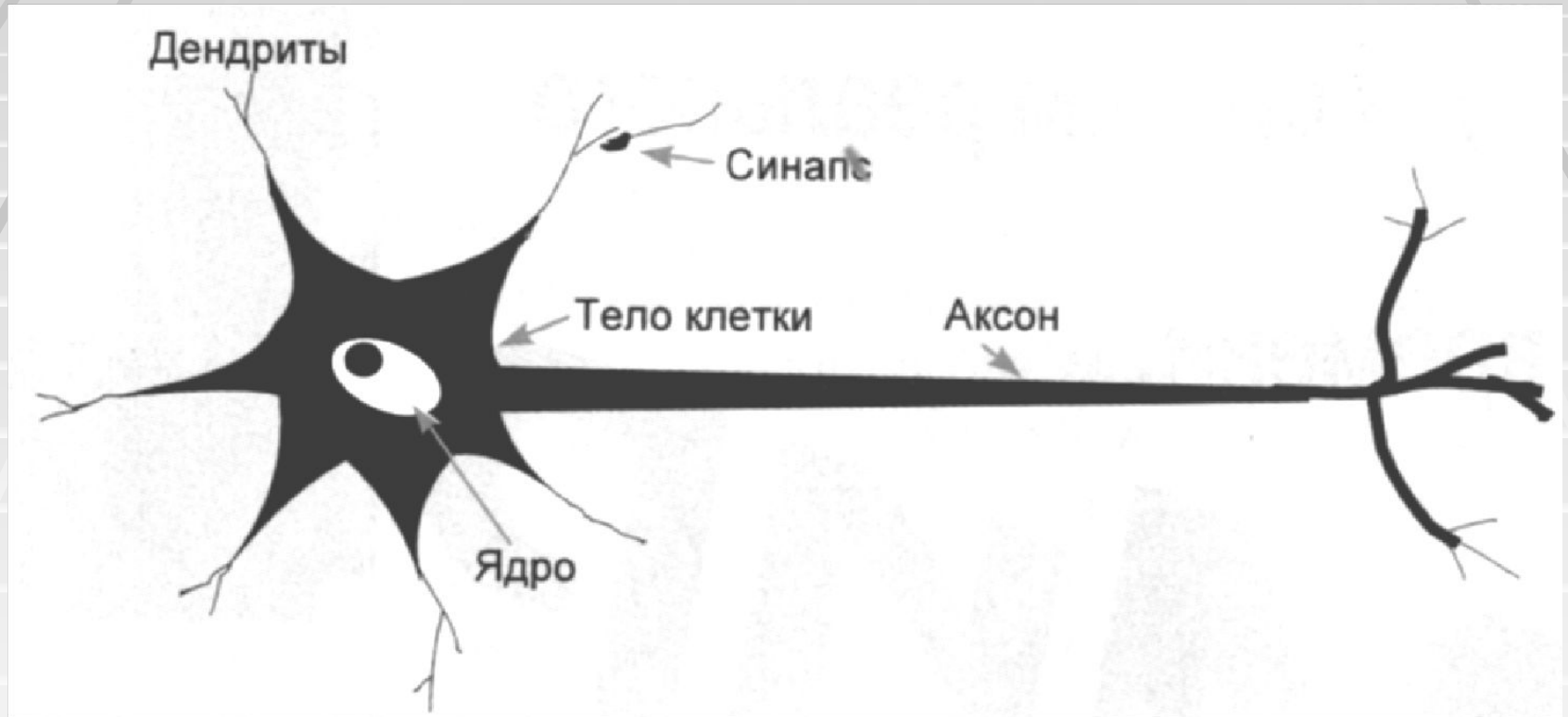
## Допплерограммы ВСА и НСА





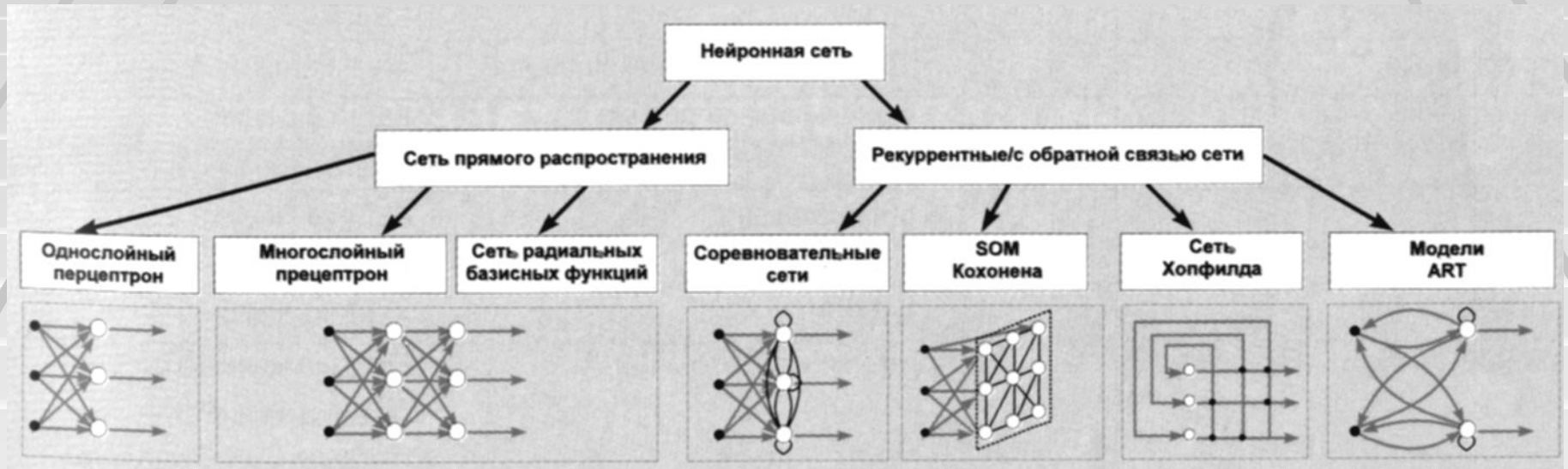
# Искусственные нейронные сети (ИНС)

## Схема биологического нейрона



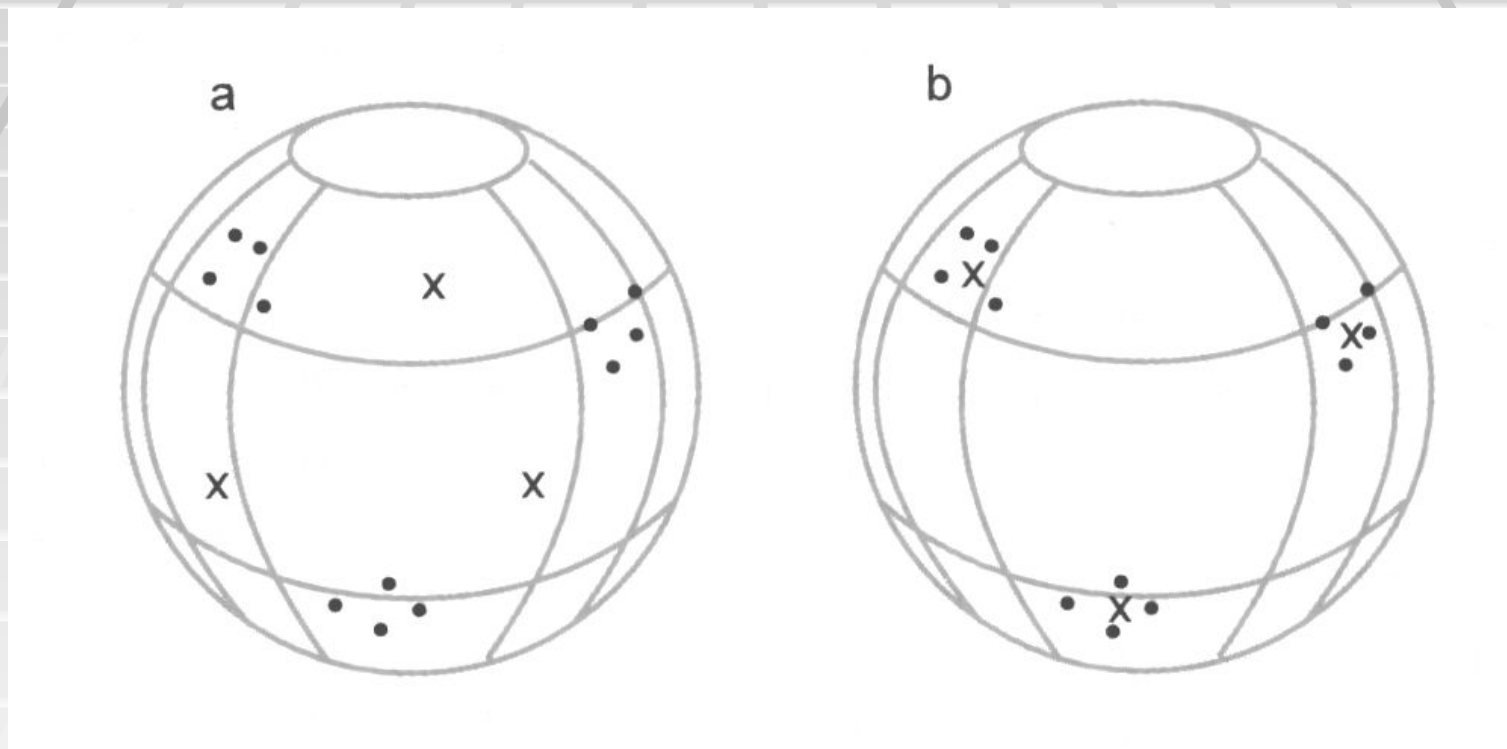
# Искусственные нейронные сети (ИНС)

## АРХИТЕКТУРА НЕЙРОННОЙ СЕТИ



# Искусственные нейронные сети (ИНС)

## Пример обучения ИНС методом соревнования



(a) перед обучением; (b) после обучения

# Искусственные нейронные сети (ИНС)

## Алгоритмы обучения ИНС

| Обучающее правило   | Архитектура                              | Алгоритм обучения               | Задача                                       |
|---------------------|------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------|
| <b>Хебб</b>         | Многослойная прямого распространения     | Линейный дискриминантный анализ | Анализ данных<br>Классификация образов       |
| <b>Соревнование</b> | Соревнование                             | Векторное квантование           | Категоризация внутри класса<br>Сжатие данных |
|                     | Сеть ART                                 | ARTMap                          | Классификация образов                        |
| <b>Хебб</b>         | Прямого распространения или соревнование | Анализ: главных компонентов     | Анализ данных<br>Сжатие данных               |
|                     | Сеть Хопфилда                            | Обучение ассоциативной памяти   | Ассоциативная память                         |
| <b>Соревнование</b> | Соревнование                             | Векторное квантование           | Категоризация<br>Сжатие данных               |
|                     | SOM Кохонена                             | SOM Кохонена                    | Категоризация<br>Анализ данных               |

# Искусственные нейронные сети (ИНС)

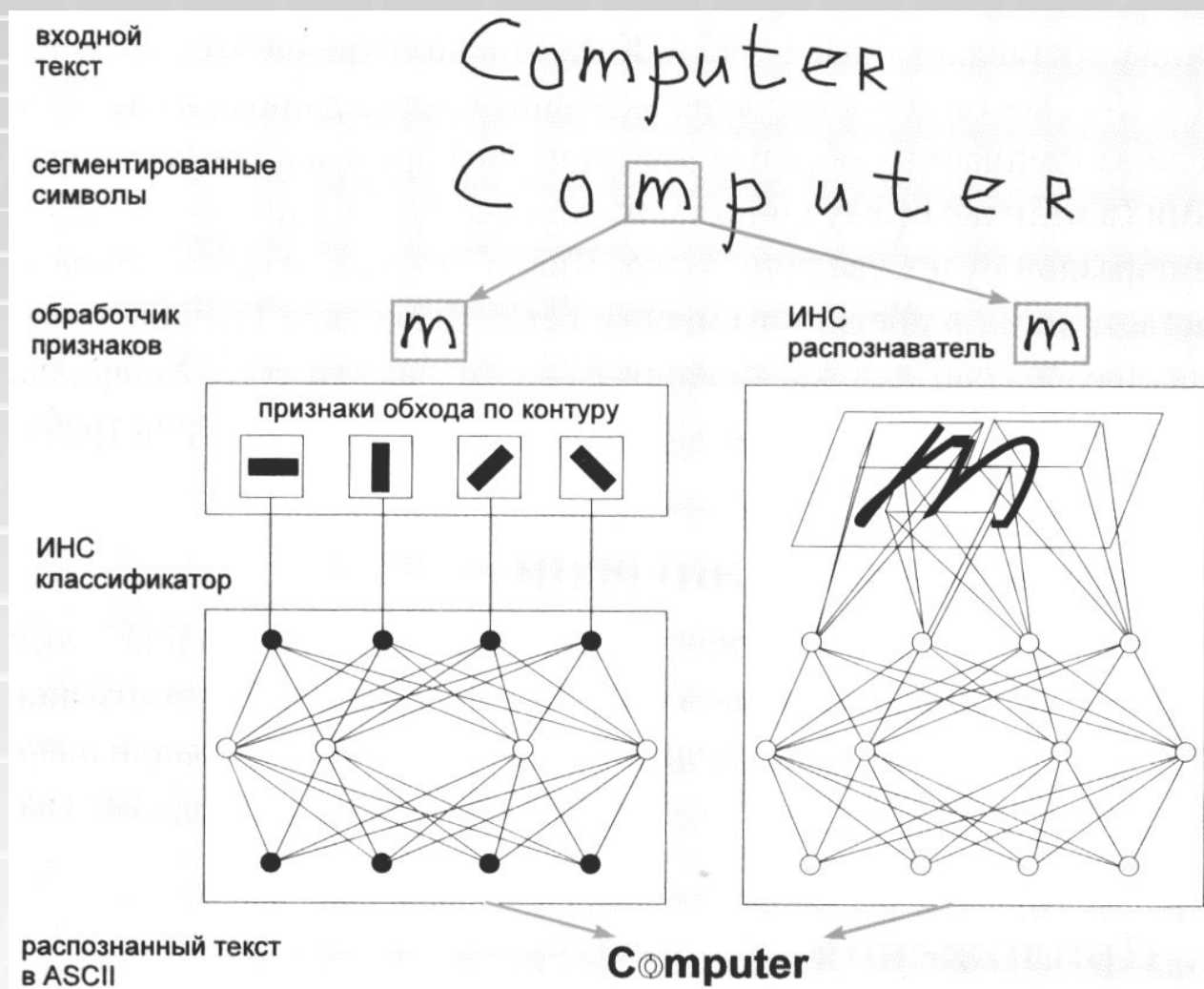
## Сеть Хопфилда





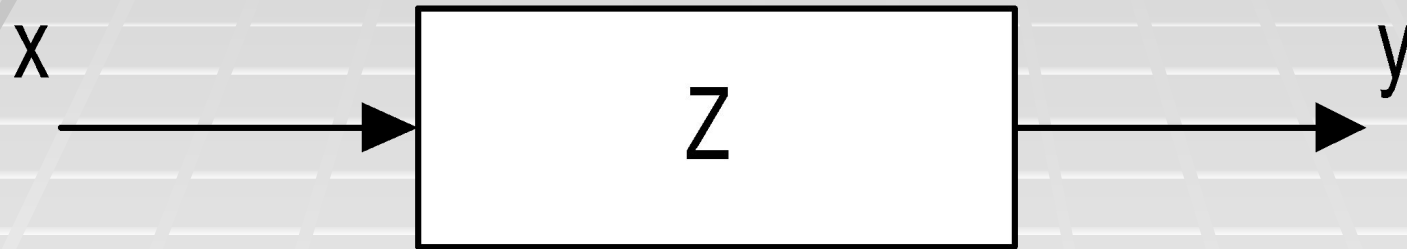
# Искусственные нейронные сети (ИНС)

## СХЕМЫ ВЫЧИСЛЕНИЙ В ИНС



# Алгоритмические модели БТС

## Агрегативные модели БТС

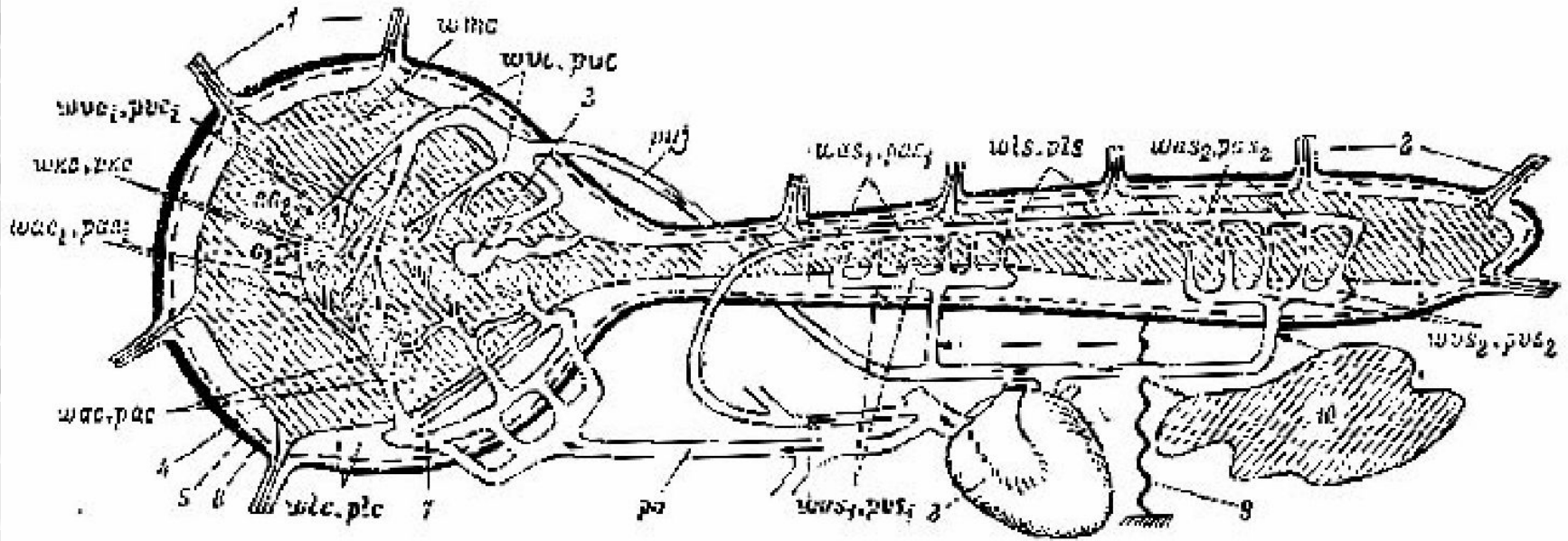


### Кусочно-линейный агрегат (КЛА)

КЛА функционирует во времени  $t \in T[0, \infty]$  воспринимает входные сигналы  $x \in X$ , выдает выходные сигналы  $y \in Y$  и находится в каждый момент времени в некотором состоянии  $z \in Z$ .

# Алгоритмические модели БТС

# Схема системы мозгового кровообращения



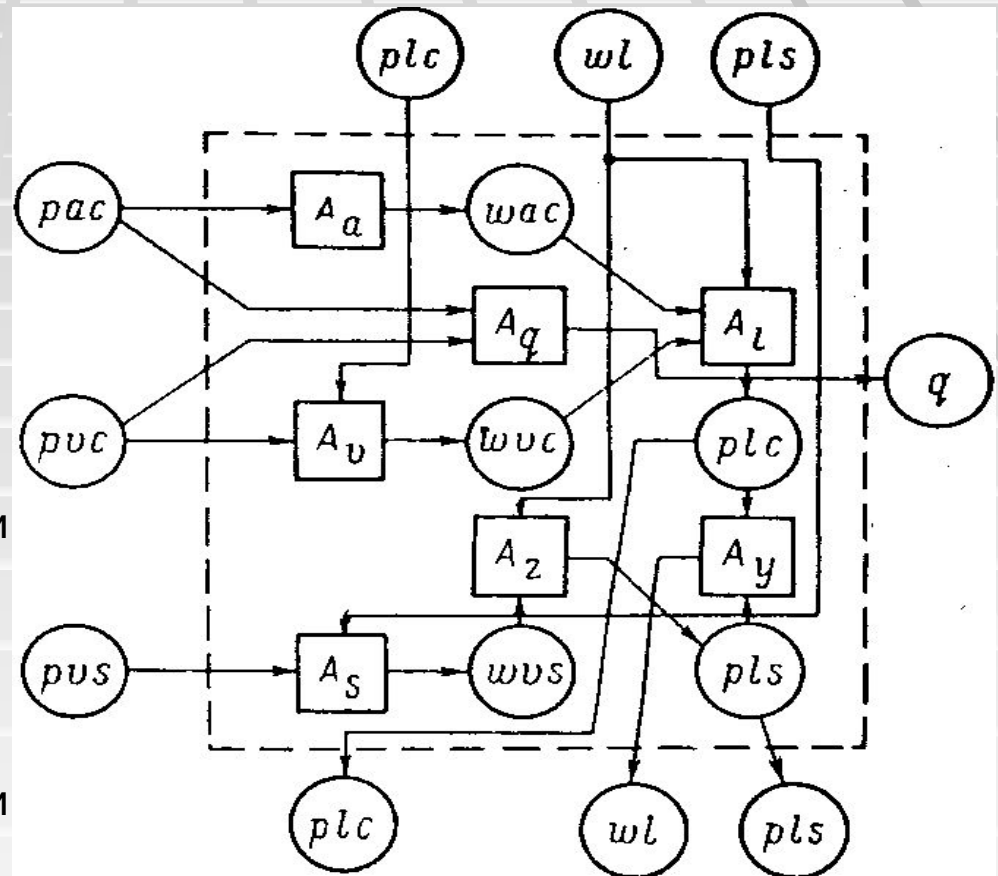
1 – черепномозговые нервы, 2 – спинномозговые нервы, 3 – желудочковая система, 4 – мягкая, 5 – твердая, 6 – паутинная мозговые оболочки, 7 – Визельев круг, 9 – диафрагма, 10 – visera. далее используется трехбуквенное обозначение: на первом месте — переменная ( $w$  — объем,  $p$  — давление), на втором — принадлежность переменной ( $a$  — артерии,  $v$  — вены,  $l$  — ликвор,  $m$  — мозг), на третьем — принадлежность переменной к определенной подсистеме ( $c$  — череп,  $ci$  — мелкие артерии и вены в полости черепа,  $s1$  — краниальная,  $s2$  — каудальная части полости позвоночника,  $j$  — верхняя полая вена)



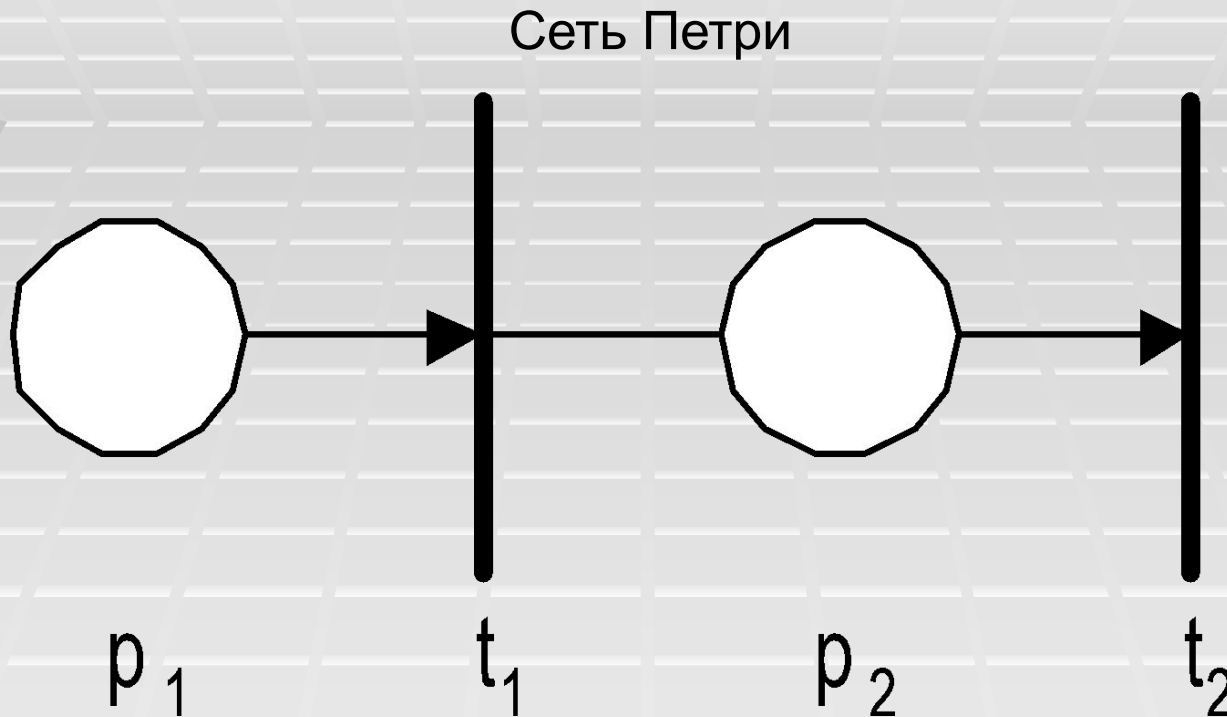
# Алгоритмические модели БТС

- ✓ Кружки- входные и выходные переменные,
- ✓ квадраты - КЛА,
- ✓ штриховая линия композиция КЛА.
- ✓  $q$  - интенсивность кровотока;
- ✓  $A_a, A_l, A_q, A_v, A_z, A_y, A_s$  — КЛА
- ✓  $w_{ac}$ -артериальный объем
- ✓  $p_{ac}$ - артериальное давление
- ✓  $w_{vc}$  - объем венозной системы полости черепа
- ✓  $p_{vc}$  -давление крови в венах
- ✓  $p_{lc}$ - давление ликвора в полости черепа
- ✓  $w_{vs}$  -объем венозной системы полости позвоночника
- ✓  $p_{vs}$  -давлениями крови в венах
- ✓  $p_{ls}$  -давление ликвора в полости позвоночника
- ✓ градиент давлений на входе артерий  $p_{ac}$  и выходе вен  $p_{vc}$

Модель системы внутричерепного кровообращения в виде композиции КЛА



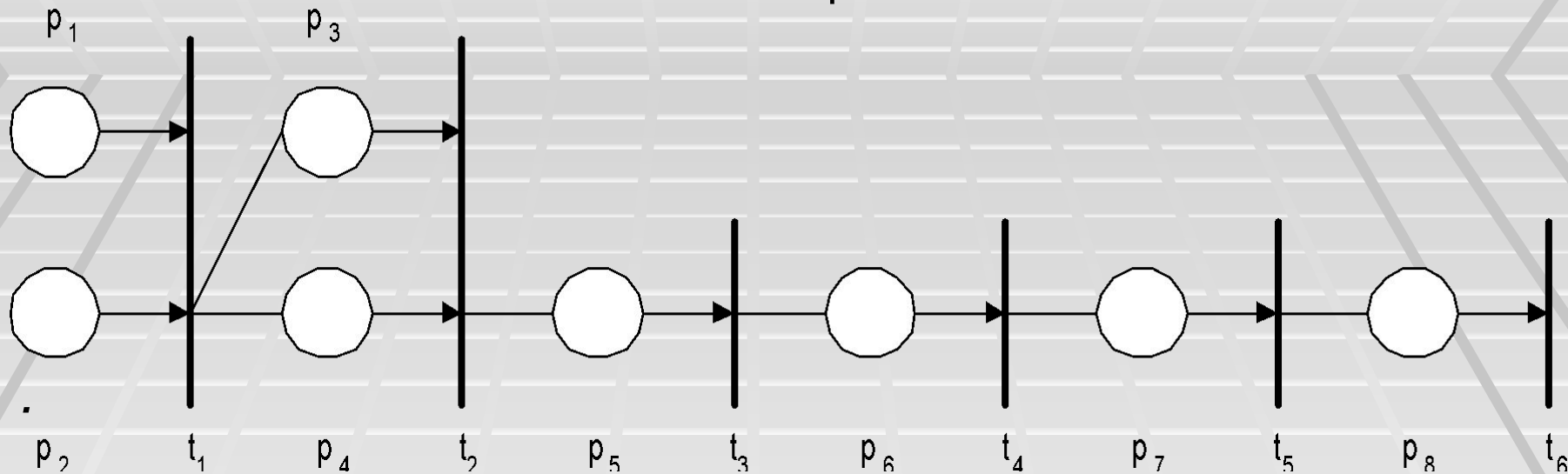
# Алгоритмические модели БТС



- ❑ Событие представляет собой некоторое действие, происходящее в системе, которое изменяет состояние системы.
- ❑ Для того, чтобы в системе произошло определенное событие, необходимо выполнение соответствующих условий.
- ❑ В сетях Петри условия моделируются *позициями  $p$* , а события – *переходами  $t$* .

# Алгоритмические модели БТС

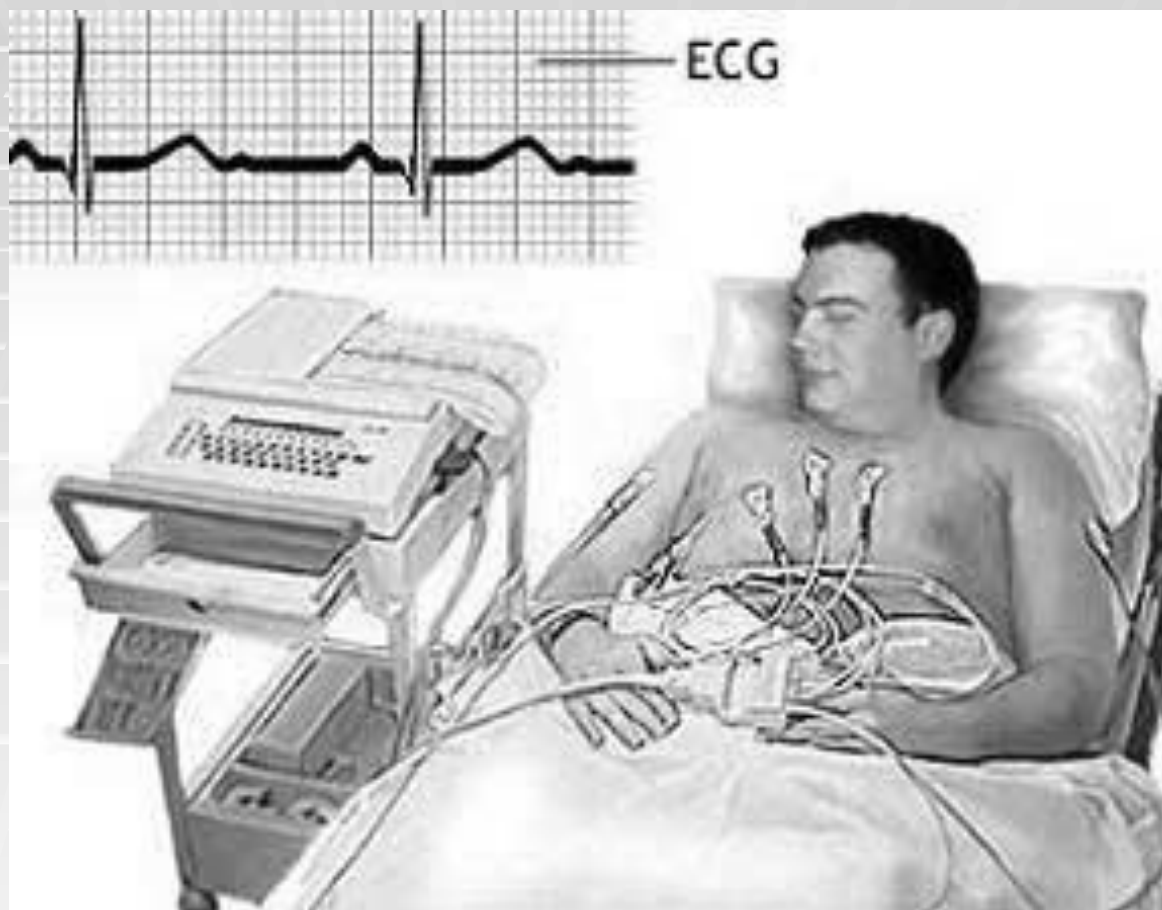
## Сеть Петри



*Сеть Петри процесса подкожной инъекции содержит следующие позиции и переходы:*

*P1 - кожа протерта ватой, пропитанной спиртом; P2 - шприц приготовлен к выполнению операции; t1 - подготовлен шприц и протерта кожа спиртом; p3 - кожа захвачена левой рукой в складку; p4 - шприц взят в правую руку; t2 - медсестра взяла в одну руку шприц, другой захватила кожу; p5 - делается укол; t3 - выполнен прокол; p6 - вводят раствор; t4 - введено лекарство; p7 - к месту инъекции прикладывается тампон; t5 - тампон приложен к месту инъекции; p8 - вынимается игла; t6, - вынута игла.*

# МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФОВ



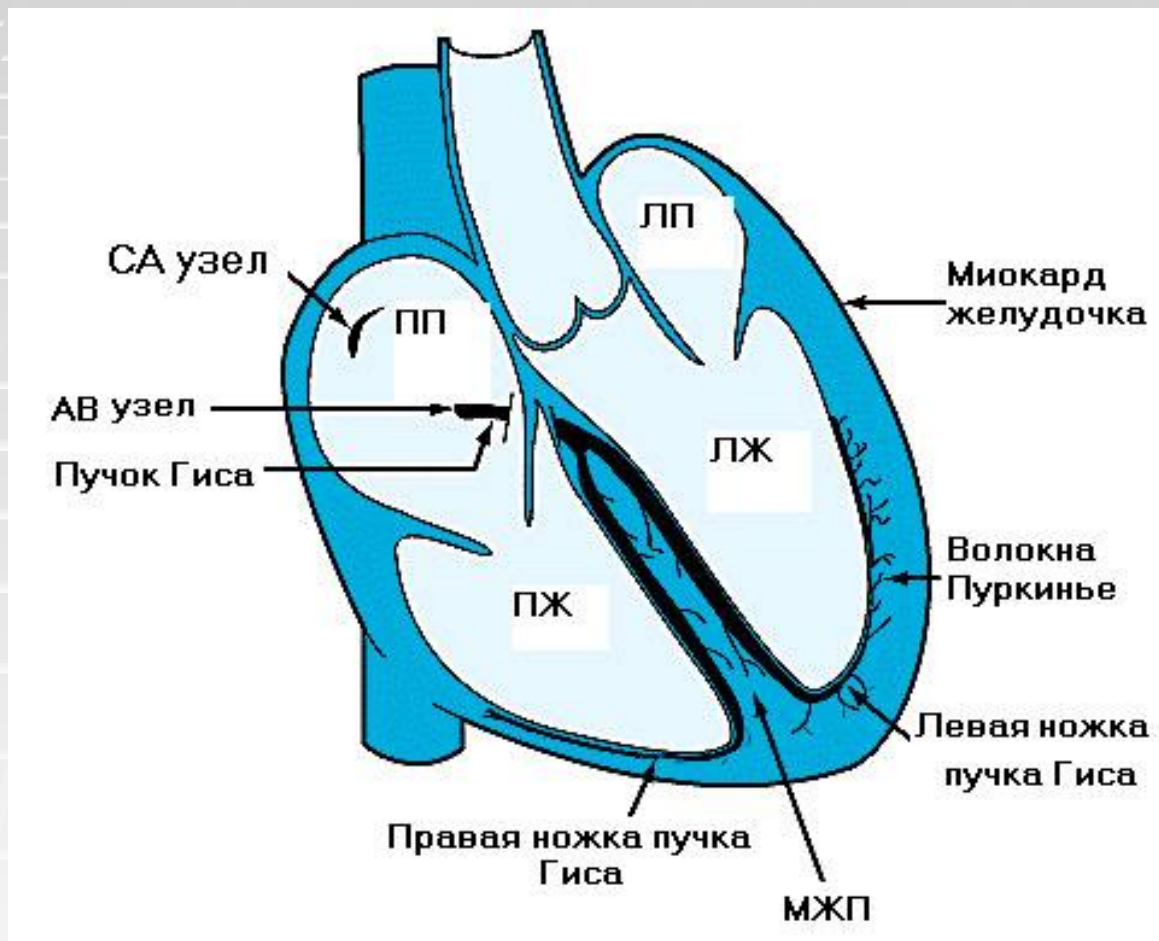
# МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФОВ

## Основные функции сердца

- Функция автоматизма заключается в способности сердца спонтанно активироваться и вырабатывать электрические импульсы
- Функция проводимости — это способность к проведению возбуждения, возникающего в каком-либо участке сердца, к другим отделам сердечной мышцы
- Функция возбудимости. Возбудимость — это свойство сердца возбуждаться под влиянием различных раздражителей. Она выражается в способности активироваться электрически
- Функция рефрактерности. Возбудимость сердечной клетки изменяется в отдельные периоды сердечного цикла
- Функция сократимости. Сократимость — это способность сердечной мышцы сокращаться в ответ на возбуждение. Этой функцией в основном обладает сократительный миокард, осуществляющий насосную функцию сердца

# МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФОВ

## Проводящая система сердца



# МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФОВ

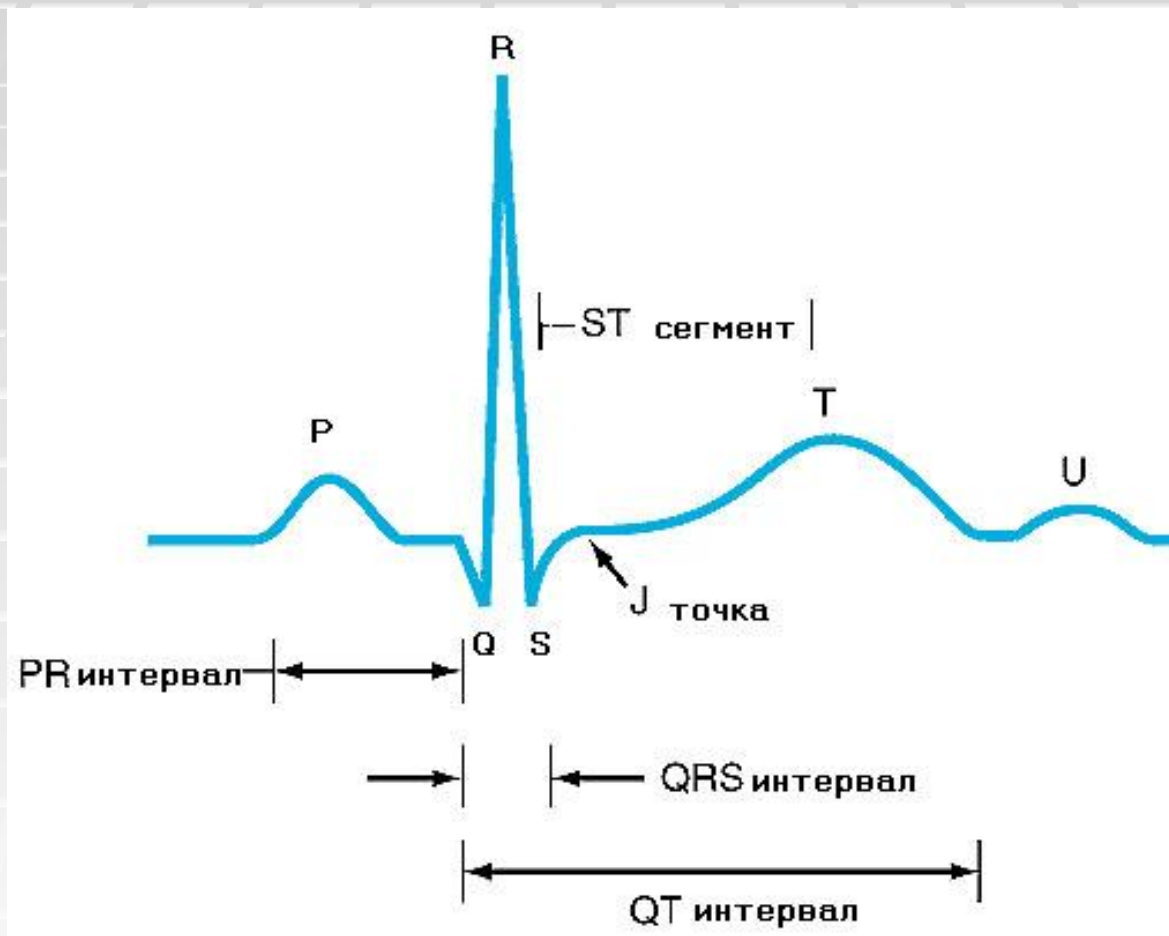
## Проводящая система сердца

- Клетки синоатриального узла (СА-узла) и проводящей системы сердца: атриовентрикулярного соединения (АВ-соединения), проводящей системы предсердий и желудочков обладают функцией автоматизма
- В норме СА-узел вырабатывает электрические импульсы с частотой около 60—80 в минуту
- Возбуждение распространяется из правого предсердия по межпредсердному пучку на левое предсердие. Электрический импульс далее распространяется по АВ-соединению через атриовентрикулярный узел (АВ-узел) в пучок Гиса
- При нарушениях проводящих путей на этом участке АВ-соединение становится центром автоматизма второго порядка и вырабатывает импульсы с частотой 40 – 60 в минуту. По ветвям пучка Гиса электрические импульсы поступают к волокнам Пуркинье
- В АВ-узле и между АВ-узлом и пучком Гиса происходит значительная задержка электрических импульсов
- В случае нарушения проведения импульсов на каком-либо участке, роль водителя ритма берет на себя нижележащий участок. Нарушение проведения импульсов называют блокадой проводящих путей



# МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФОВ

Отображение электрических процессов в сердце на ЭКГ



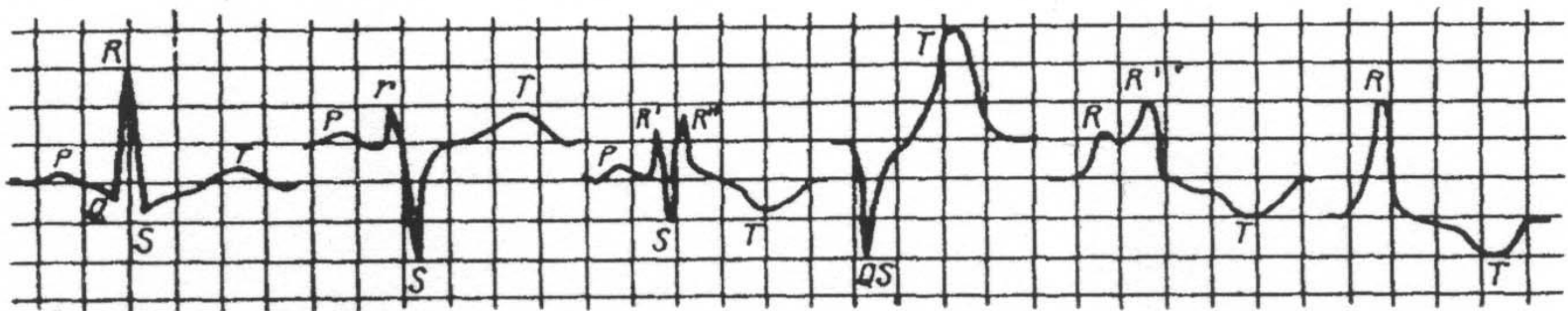


# МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФОВ

| Наименование параметра | Значение параметра элементов ЭКГ |              |               |              |             |           |
|------------------------|----------------------------------|--------------|---------------|--------------|-------------|-----------|
|                        | зубца Р                          | интервала PQ | комплекса QRS | интервала QT | сегмента ST | зубца Т   |
| Амплитуда, мВ          | 0-0,25                           |              | 0,3-5,0       |              |             | 0,4-1,0   |
| Длительность, с        | 0,07-0,1<br>1                    | 0,12-0,20    | 0,06-0,10     | 0,35-0,44    | 0,06-0,15   | 0,10-0,25 |

# МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФОВ

- Форма кривой ЭКГ зависит от анатомических особенностей организма и способа съема ЭКС. При наличии сердечных патологий форма ЭКГ может быть сильно изменена
- Нормальная ЭКГ состоит из нескольких зубцов и комплекса колебаний, которые Эйнтховен назвал *P*, *QRS* и *T*. Небольшой зубец *P* отражает электрическую активность предсердий, а быстрый высокоамплитудный комплекс *QRS* и более медленный зубец *T* - электрическую активность желудочков.



# МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФОВ

## Как интерпретируется ЭКГ

- В норме электрические импульсы автоматически генерируются в небольшой группе клеток, расположенных в предсердиях и называемых синоатриальным узлом. Поэтому нормальный ритм сердца называется синусовым
- Когда электрический импульс, возникая в синусовом узле, проходит по предсердиям на электрокардиограмме появляется зубец **P**
- Далее импульс через атриовентрикулярный (АВ) узел распространяется на желудочки по пучку Гиса. Клетки АВ-узла обладают более медленной скоростью проведения и поэтому между зубцом **P** и комплексом, отражающим возбуждение желудочков, имеется промежуток. Расстояние от начала зубца **P** до начала зубца **Q** называется интервал **PQ**. Он отражает проведение между предсердиями и желудочками и в норме составляет 0,12-0,20 сек.
- Потом электрический импульс распространяется по проводящей системе сердца, состоящей из правой и левой ножек пучка Гиса и волокон Пуркинье, на ткани правого и левого желудочка. На ЭКГ это отражается несколькими отрицательными и положительными зубцами, которые называются комплексом **QRS**. В норме длительность его составляет до 0,09 сек. Далее кривая вновь становится ровной, или как говорят врачи, находится на изолинии
- Затем в сердце происходит процесс восстановления исходной электрической активности, называемый реполяризацией, что находит отражение на ЭКГ в виде зубца **T** и иногда следующего за ним небольшого зубца **U**. Расстояние от начала зубца **Q** до конца зубца **T** называется интервалом **QT**. Он отражает так называемую электрическую систолу желудочков.

# МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФОВ

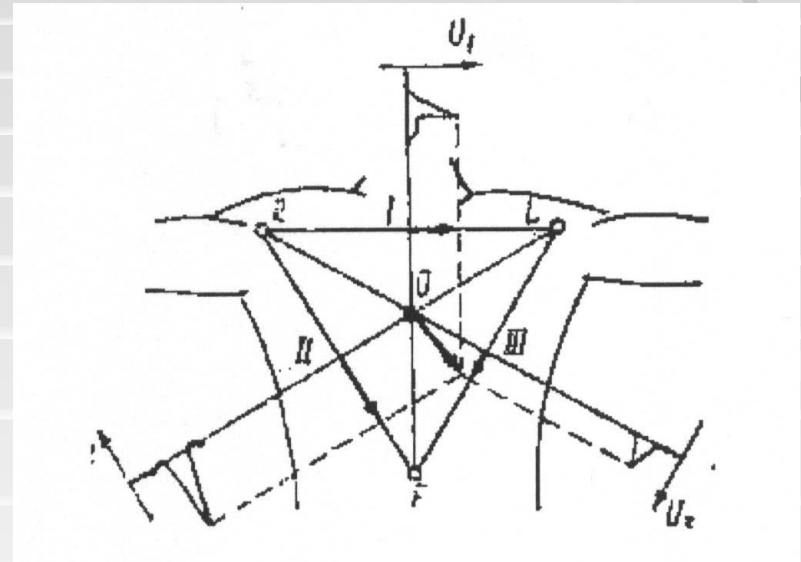
## Системы отведений для электрокардиографии

Эйнтховен предложил также три точки тела, на которые следует накладывать электроды. При этом

- при положении электродов на правой и левой руках образуется отведение I,
- на правой руке и левой ноге - отведение II,
- на левой руке и левой ноге - отведение III.

Эти три отведения образуют равносторонний треугольник, и по их параметрам можно определить угол, под которым сердце расположено в грудной клетке.

Согласно закону Эйнтховена, сумма потенциалов в отведении I и III равна потенциалу в отведении II.

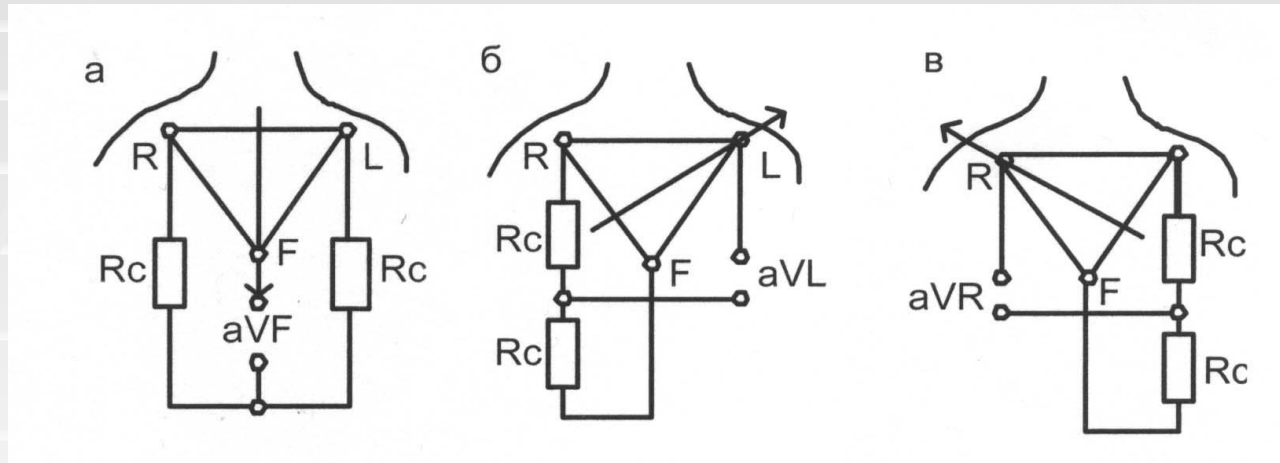


# МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФОВ

Гольдбергер предложил еще три отведения, назвав их усиленными.

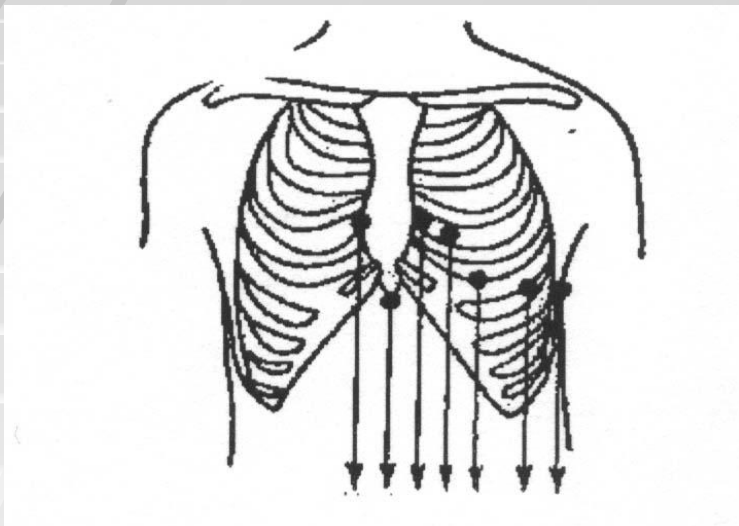
При регистрации этих отведений одним из электродов служит одна из конечностей, а другим - объединенный электрод от двух других (индифферентный электрод).

- разница потенциалов, измеренная между правой рукой и объединенными левой рукой и левой ногой, называется отведением  $aVR$ ,
- между левой рукой объединенными правой рукой и левой ногой - отведением  $aVL$  и
- между левой ногой и объединенными руками - отведением  $aVF$

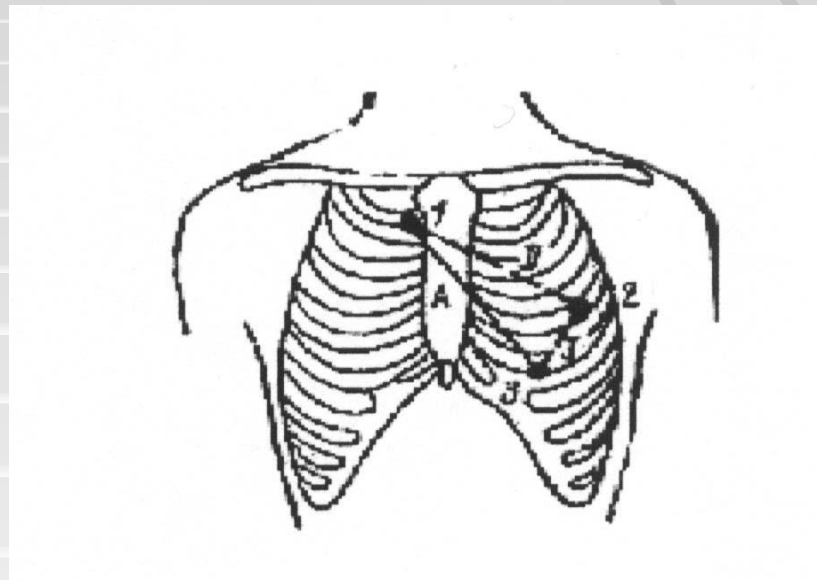


# МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФОВ

Точки грудных отведений

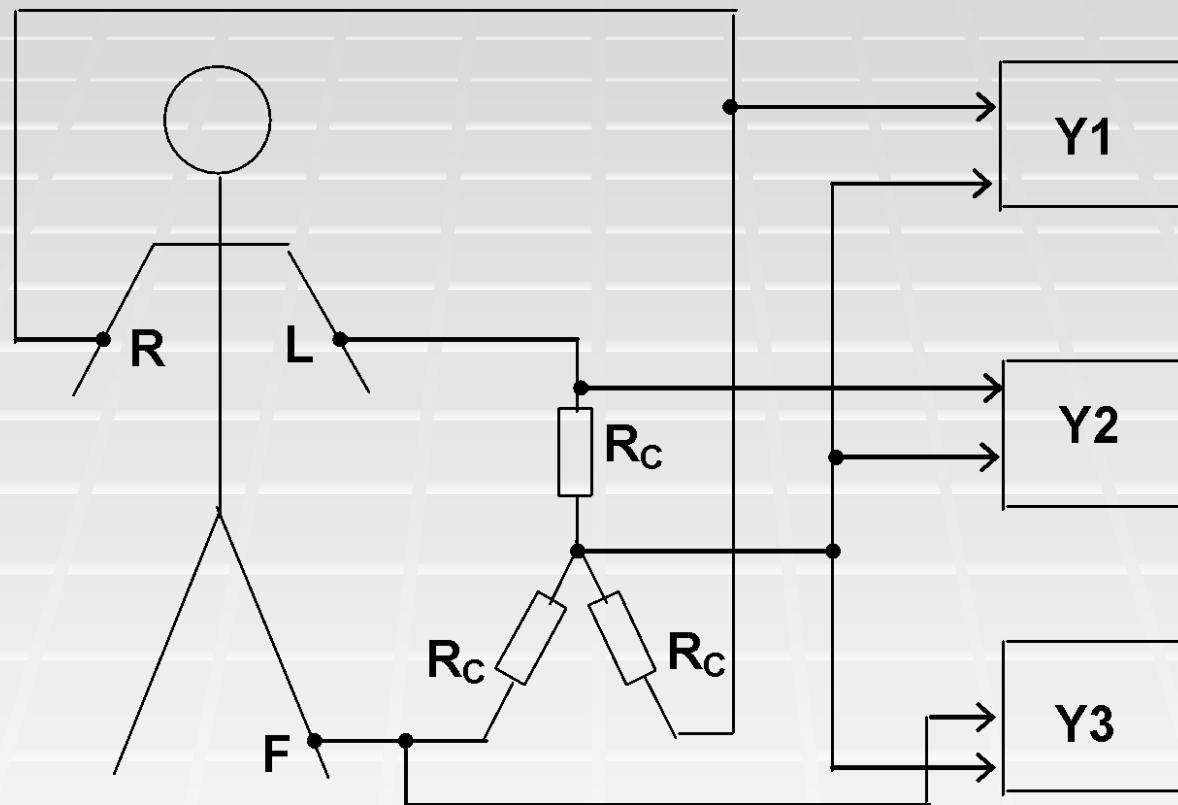


Система отведений по Небу



# МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФОВ

## Система отведений электрокардосигнала по Вильсону



# МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФОВ

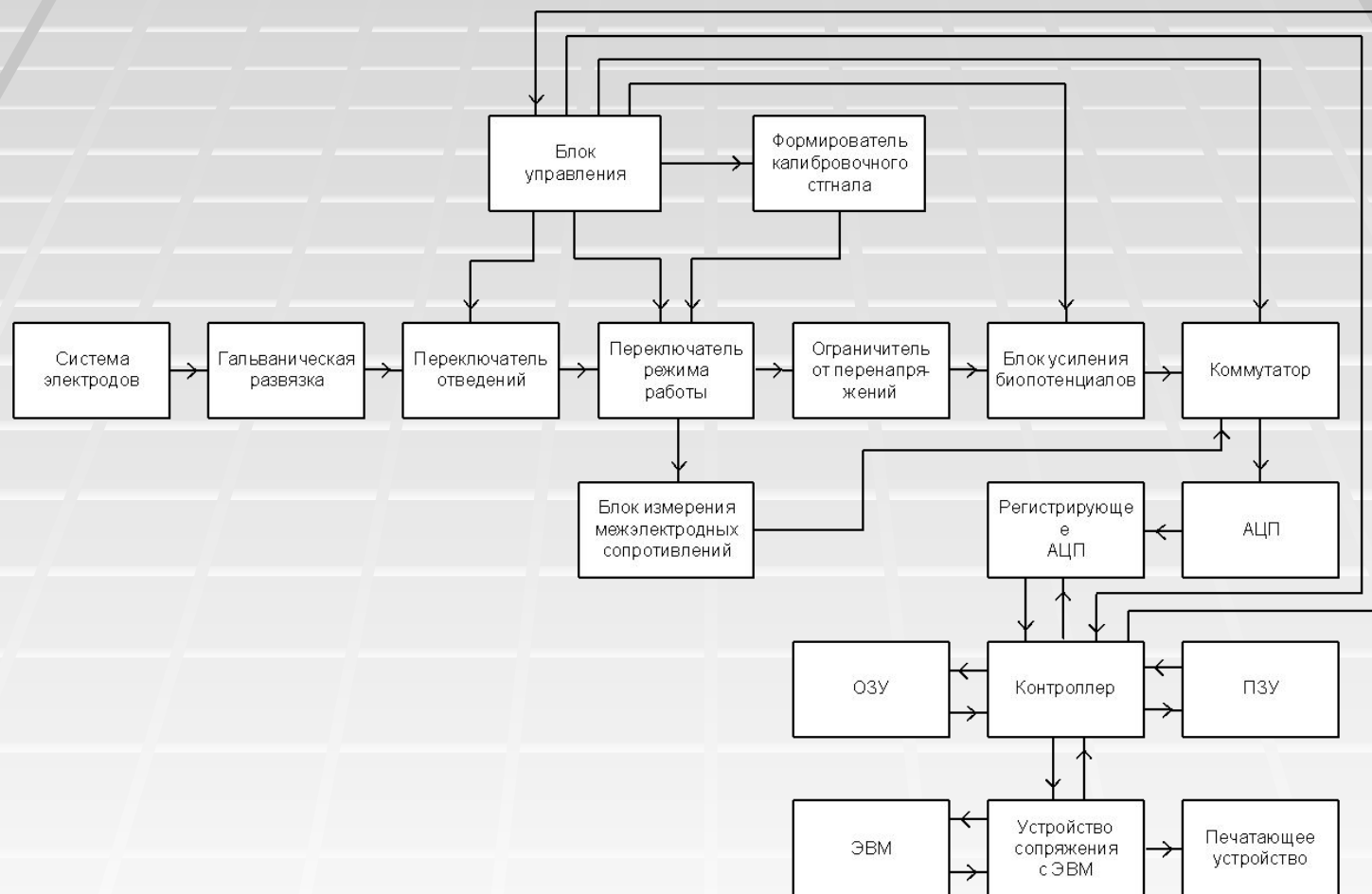
## Медицинская схема ЭКГ монитора





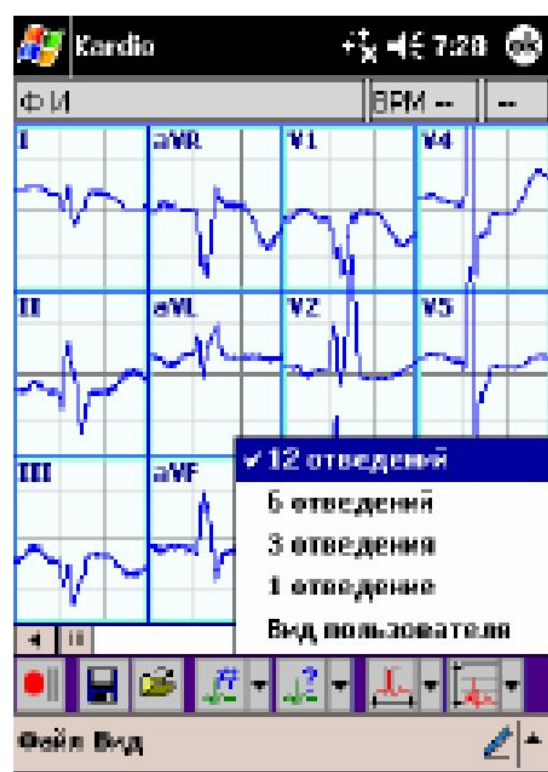
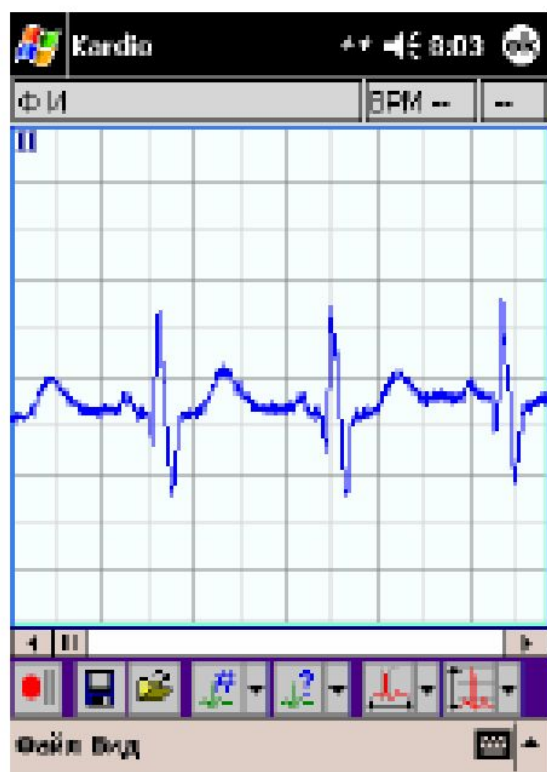
# МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФОВ

## Типовая структура электрокардиографа



# МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФОВ

## Примеры представления ЭКГ-информации



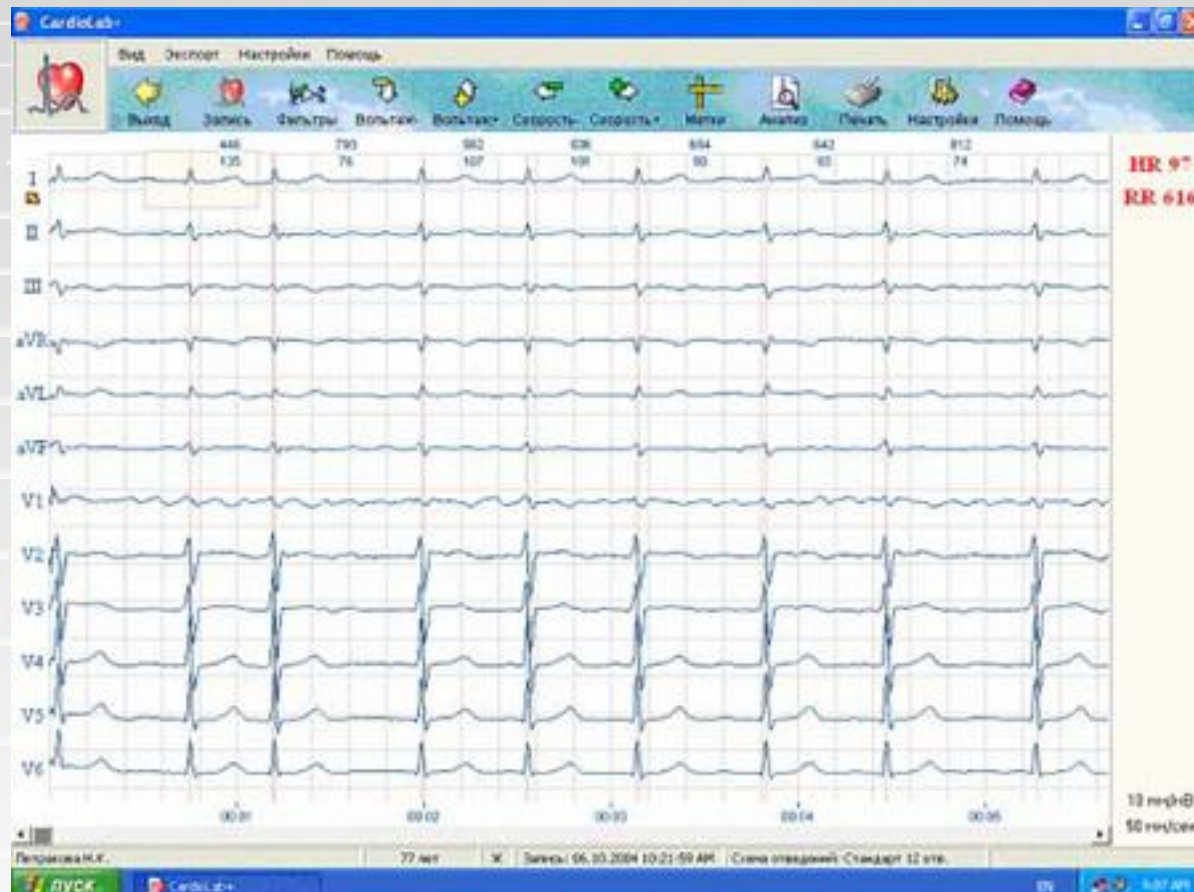
# МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФОВ

Инфаркт миокарда неопределенной давности. Стандартная электрокардиография



# МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФОВ

Сложное нарушение ритма и проводимости. Стандартная электрокардиография



# МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФОВ

## Общий вид современного электрокардиографа





# МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФОВ

Общий вид портативного электрокардиографа

