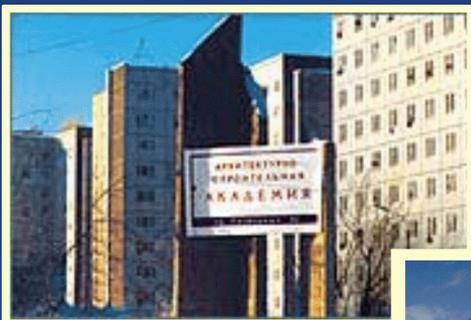




**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ**  
Федеральное государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

**Сибирский федеральный университет**

**Институт цветных металлов и материаловедения**



Красноярск, 2008

# Автоматизация металлургических производств

Для студентов специальности 150100 – «Металлургия»

Красноярск, 2008

УДК 669.2  
ББК 34.3  
А18

Электронный учебно-методический комплекс по дисциплине «Автоматизация металлургических производств» подготовлен в рамках инновационной образовательной программы «Многоуровневая подготовка специалистов и инновационное обеспечение горно-металлургических предприятий по сертификации, управлению качеством, технологической и экономической оценке минерального, вторичного и техногенного сырья», реализованной в ФГОУ ВПО СФУ в 2007 г.

Рецензенты:

Красноярский краевой фонд науки;

Экспертная комиссия СФУ по подготовке учебно-методических комплексов дисциплин

A18

Автоматизация металлургических производств. Презентационные материалы. Версия 1.0 [Электронный ресурс] : наглядное пособие / В. А. Осипова, Т. В. Астахова, А. А. Дружинина, И. И. Лапаев. – Электрон. дан. (12 Мб). – Красноярск : ИПК СФУ, 2008. – (Автоматизация металлургических производств : УМКД № 218-2007 / рук. творч. коллектива Т. В. Астахова). – 1 электрон. опт. диск (DVD). – Систем. требования : *Intel Pentium* (или аналогичный процессор других производителей) 1 ГГц ; 512 Мб оперативной памяти ; 12 Мб свободного дискового пространства ; привод *DVD* ; операционная система *Microsoft Windows 2000 SP 4 / XP SP 2 / Vista (32 бит)* ; *Microsoft PowerPoint 2003* или выше.

ISBN 978-5-7638-1091-2 (комплекса)

ISBN 978-5-7638-1090-5 (пособия)

Номер гос. регистрации в ФГУП НТЦ «Информрегистр» 0320802614 от 03.12.2008 г. (комплекса)

Номер гос. регистрации в ФГУП НТЦ «Информрегистр» 0320802617 от 08.12.2008 г. (пособия)

Настоящее издание является частью электронного учебно-методического комплекса по дисциплине «Автоматизация металлургических производств», включающего учебную программу, учебное пособие, методические указания к лабораторным работам, методические указания по самостоятельной работе, контрольно-измерительные материалы «Автоматизация металлургических производств. Банк тестовых заданий».

Представлена презентация (в виде слайдов) теоретического курса «Автоматизация металлургических производств».

Предназначено для студентов направления подготовки магистров 150100.68 «Металлургия» укрупненной группы 150000 «Материаловедение, металлургия и машиностроение».

© Сибирский федеральный университет, 2008

Рекомендовано к изданию Инновационно-методическим управлением СФУ

Разработка и оформление электронного образовательного ресурса: Центр технологий электронного обучения информационно-аналитического департамента СФУ; лаборатория по разработке мультимедийных электронных образовательных ресурсов при КрЦНИТ

Содержимое ресурса охраняется законом об авторском праве. Несанкционированное копирование и использование данного продукта запрещается. Встречающиеся названия программного обеспечения, изделий, устройств или систем могут являться зарегистрированными товарными знаками тех или иных фирм.

Подп. к использованию 01.10.2008

Объем 12 Мб

Красноярск: СФУ, 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79

# Оглавление

---

1. Основы теории Основы теории автоматического управления
2. Элементы и системы автоматического управления металлургическими агрегатами и процессами
3. Элементы проектирования систем автоматизации
4. Автоматизированные системы управления технологическими процессами
5. Автоматизированные системы управления предприятием

# Основы теории автоматического управления

Красноярск, 2008

# Основы теории автоматического управления

---

1. Основные понятия
2. Классификация систем управления и регулирования
3. Статические и динамические характеристики элементов и систем
4. Преобразование Лапласа, передаточная функция
5. Временные динамические характеристики
6. Частотные характеристики
7. Типовые звенья АСР и их характеристики, передаточные функции
8. Пропорциональное звено
9. Интегрирующее звено
10. Апериодическое звено 1-го порядка
11. Колебательное звено
12. Дифференцирующее звено
13. Звено чистого запаздывания
14. Соединения звеньев

# Основы теории автоматического управления

---

15. Автоматические регуляторы, типовые законы регулирования
16. Предварительный выбор структуры системы регулирования
17. Стандартные законы регулирования
18. Понятие устойчивости АСР
19. Алгебраические критерии устойчивости
20. Критерий Михайлова
21. Критерий Найквиста
22. Методы исследования качества переходного процесса
23. Прямые показатели
24. Частотные показатели
25. Корневые показатели
26. Модели объектов регулирования и методы их получения

# Основные понятия

---

**Физические величины**, определяющие ход технологического процесса, называются параметрами технологического процесса.

Параметр технологического процесса, который необходимо поддерживать постоянным или изменять по определенному закону, называется **регулируемой величиной** или **регулируемым параметром**.

# Основные понятия

---

Значение регулируемой величины в рассматриваемый момент времени называется **мгновенным значением**.

Значение регулируемой величины, полученное в рассматриваемый момент времени на основании данных некоторого измерительного прибора называется ее **измеренным значением**.

**Объект управления (объект регулирования, ОУ)** – устройство, требуемый режим работы которого должен поддерживаться извне специально организованными управляющими воздействиями.

**Управление** – формирование управляющих воздействий, обеспечивающих требуемый режим работы ОУ.

# Основные понятия

---

**Регулирование** – частный вид управления, когда задачей является обеспечение постоянства какой-либо выходной величины ОУ.

**Автоматическое управление** – управление, осуществляемое без непосредственного участия человека.

**Входное воздействие ( $X$ )** – воздействие, подаваемое на вход системы или устройства.

**Выходное воздействие ( $Y$ )** – воздействие, выдаваемое на выходе системы или устройства.

**Внешнее воздействие** – воздействие внешней среды на систему.

**Задающее воздействие** (то же, что входное воздействие  $X$ ) – воздействие на систему, определяющее требуемый закон изменения регулируемой величины.

# Основные понятия

---

Управляющее воздействие ( $u$ ) – воздействие управляющего устройства на объект управления.

Управляющее устройство ( $УУ$ ) – устройство, осуществляющее воздействие на объект управления с целью обеспечения требуемого режима работы.

Возмущающее воздействие ( $f$ ) – воздействие, стремящееся нарушить требуемую функциональную связь между задающим воздействием и регулируемой величиной.

Ошибка управления ( $e=x-y$ ) – разность между предписанным ( $x$ ) и действительным ( $y$ ) значениями регулируемой величины.

# Основные понятия

---

**Регулятор ( $P$ )** – комплекс устройств, присоединяемых к регулируемому объекту и обеспечивающих автоматическое поддержание заданного значения его регулируемой величины или автоматическое изменение ее по определенному закону.

**Автоматическая система регулирования (АСР)** – автоматическая система с замкнутой цепью воздействия, в котором управление ( $u$ ) вырабатывается в результате сравнения истинного значения ( $y$ ) с заданным значением ( $x$ ).

# Классификация систем управления и регулирования

---

1. По методу управления АСУ подразделяются на неадаптивные (или не приспособляющиеся) и адаптивные (или приспособляющиеся) системы.

Неадаптивные АСУ:

- стабилизирующие
- программные
- следящие

Адаптивные АСУ:

- экстремальные
- оптимальные

# Классификация систем управления и регулирования

---

2. По характеру использования информации АСУ и АСР делят на замкнутые и разомкнутые системы.

Разомкнутые АСР:

- с жесткой программой
- с регулированием по возмущению

3. По результатам работы в установившемся состоянии системы делятся на астатические и статические.

# Классификация систем управления и регулирования

---

4. По числу регулируемых величин АСУ делятся на одномерные и многомерные (или многосвязные).
5. По характеру изменения регулирующих воздействий во времени АСУ делятся на непрерывные и прерывистые (дискретные).

Дискретные АСУ:

- релейные
- импульсные
- цифровые

# Классификация систем управления и регулирования

---

6. По виду энергии, применяемой для работы, АСУ делятся на системы прямого и косвенного действия.

АСУ косвенного действия:

- гидравлические
- пневматические
- электрические

7. По виду дифференциального уравнения различают линейные и нелинейные АСУ.

# Статические и динамические характеристики элементов и систем

---

## Уравнения статики и динамики

**Динамическая характеристика** (уравнение динамики) описывает изменение во времени выходной величины при изменении входной величины, т. е. переходный процесс в элементе (системе).

**Статическая характеристика** (уравнение статики) отражает функциональную связь между выходной и входной величинами в установившемся режиме.

# Преобразование Лапласа

Операция перехода от  $x(t)$  к  $X(p)$  называется прямым преобразованием Лапласа и обозначается символом  $L$ :

$$L[x(t)] = X(p) = \int_0^{\infty} x(t)e^{-pt} dt$$

Операция перехода от  $X(p)$  к  $x(t)$  называется обратным преобразованием Лапласа и обозначается символом  $L^{-1}$ :

$$L^{-1}[X(p)] = x(t) = \frac{1}{2\pi j} \int_{c-j\infty}^{c+j\infty} X(p)e^{pt} dp$$

# Преобразование Лапласа

Применяя прямое преобразование Лапласа к линейным неоднородным дифференциальным уравнениям  $n$ -го порядка с постоянными коэффициентами, получим

$$\begin{aligned} a_n p^n Y(p) + a_{n-1} p^{n-1} Y(p) + \dots + a_1 p Y(p) + a_0 Y(p) = \\ = b_m p^m X(p) + b_{n-1} p^{m-1} X(p) + \dots + b_1 p X(p) + b_0 X(p). \end{aligned}$$

Взяв отношение изображений выходной и входной величин из предыдущего уравнения, получим передаточную функцию

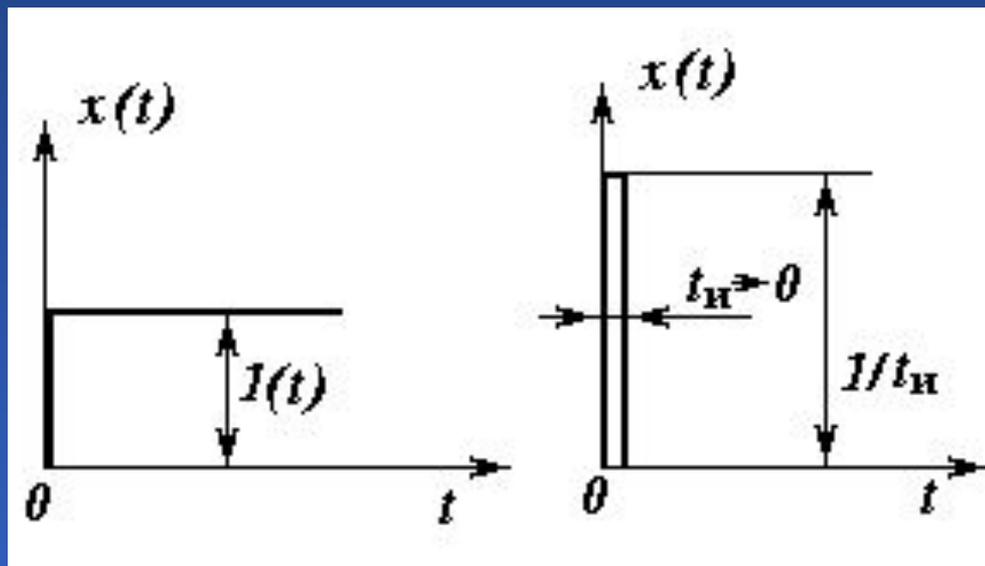
$$W(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{B(p)}{A(p)},$$

где полиномы знаменателя и числителя имеют вид

$$\begin{aligned} A(p) &= a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_1 p + a_0; \\ B(p) &= b_m p^m + b_{n-1} p^{m-1} + \dots + b_1 p + b_0. \end{aligned}$$

# Временные динамические характеристики

Зависимость выходной величины элемента или системы от времени при переходе из одного установившегося состояния в другое при поступлении на вход типового воздействия называется **временной динамической характеристикой**.



Единичная ступенчатая и единичная импульсная функция

# Частотные характеристики

Отношение изображений по Фурье выходной и входной величин, равное

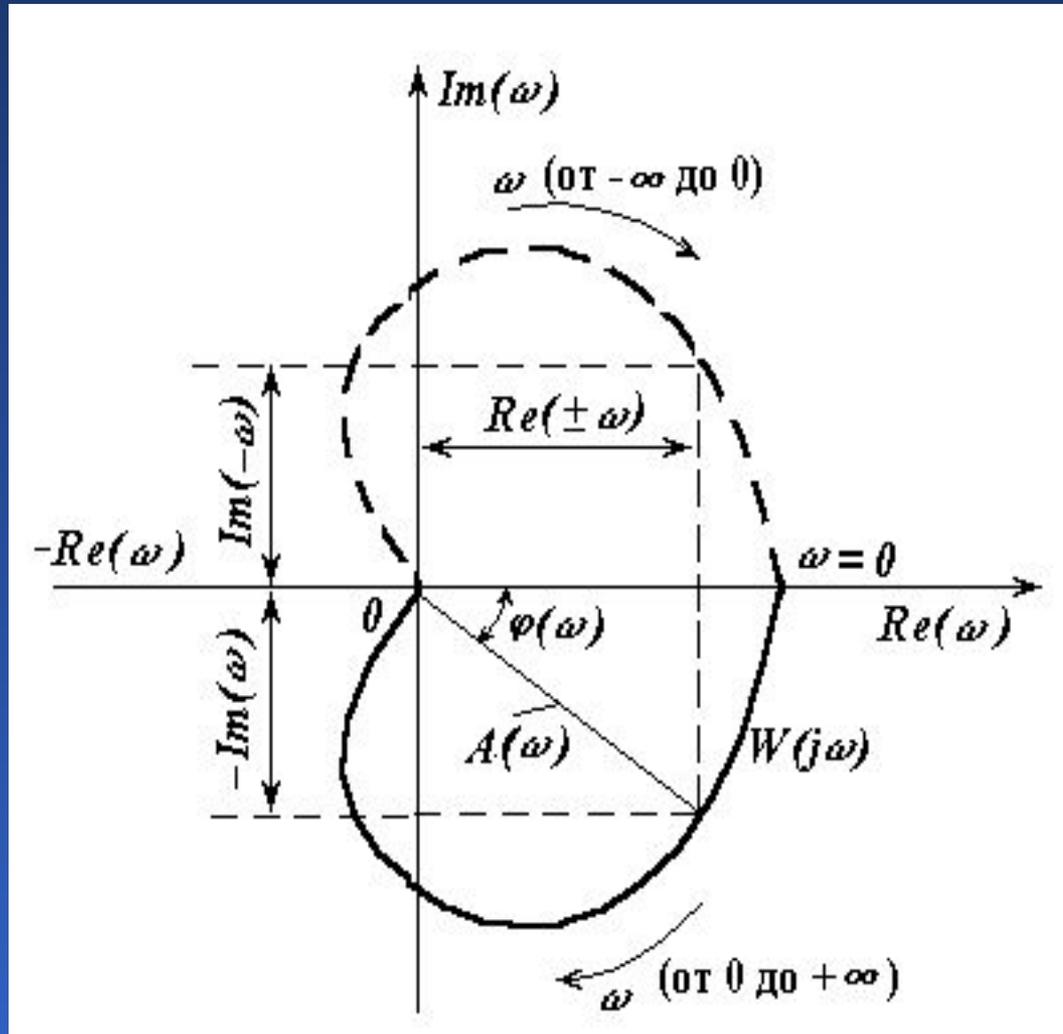
$$W(j\omega) = \frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)},$$

называется амплитудно-фазовой характеристикой (АФХ).

$$W(j\omega) = \operatorname{Re}(\omega) + j\operatorname{Im}(\omega)$$

Зависимость  $\operatorname{Re}(\omega)$  называют действительной частотной характеристикой, а зависимость  $\operatorname{Im}(\omega)$  – мнимой частотной характеристикой.

# Амплитудная частотная характеристика



# Типовые звенья АСР и их характеристики

---

1. Пропорциональное звено.
2. Интегрирующее звено.
3. Апериодическое звено 1-го порядка.
4. Колебательное звено.
5. Дифференцирующее звено.
6. Звено чистого запаздывания.

**Элементарным звеном** называется такое звено, которое нельзя разделить на более простые звенья.

# Пропорциональное звено

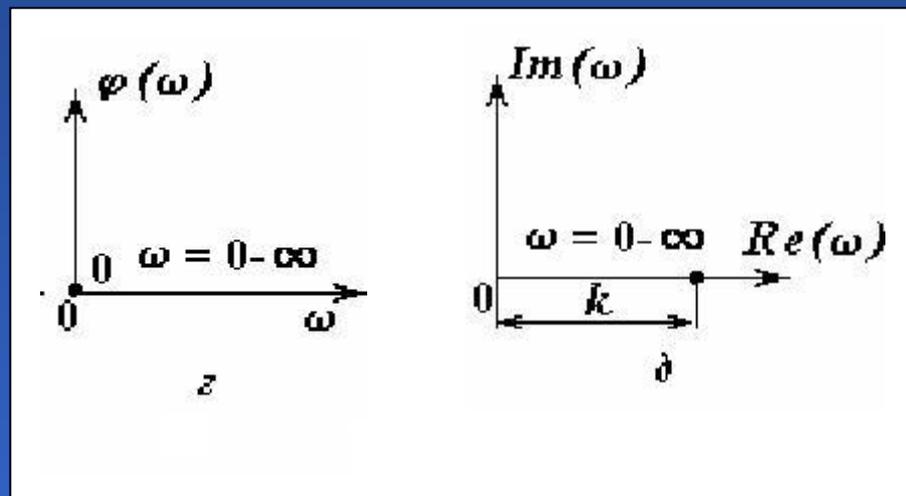
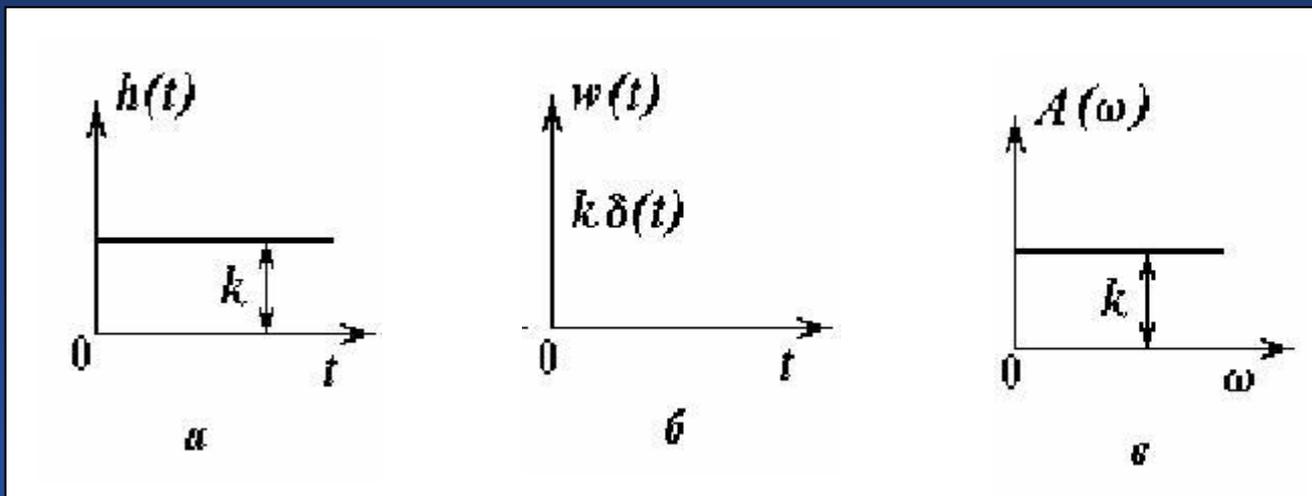
Пропорциональное звено описывается уравнением пропорциональной связи выходной величины  $y(t)$  от входной  $x(t)$  в любой момент времени  $t$ :  $y(t)=kx(t)$ ,

где  $k$  - коэффициент передачи, имеющий размерность отношения единиц выходной величины к входной.

Передаточная функция

$$W(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = k .$$

# Характеристики пропорционального звена



# Интегрирующее звено

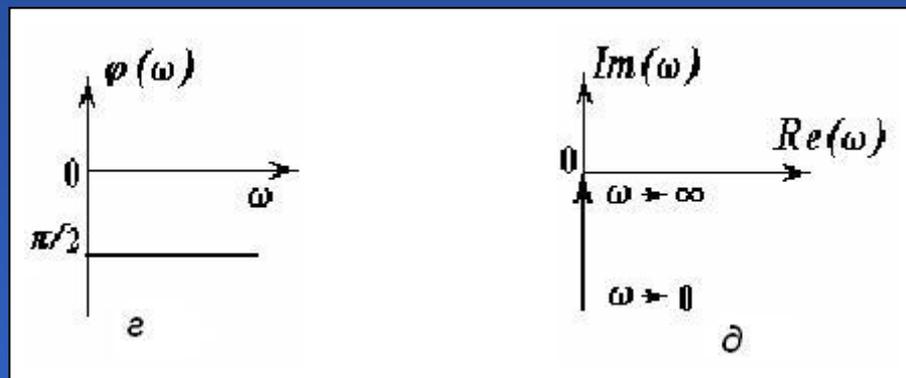
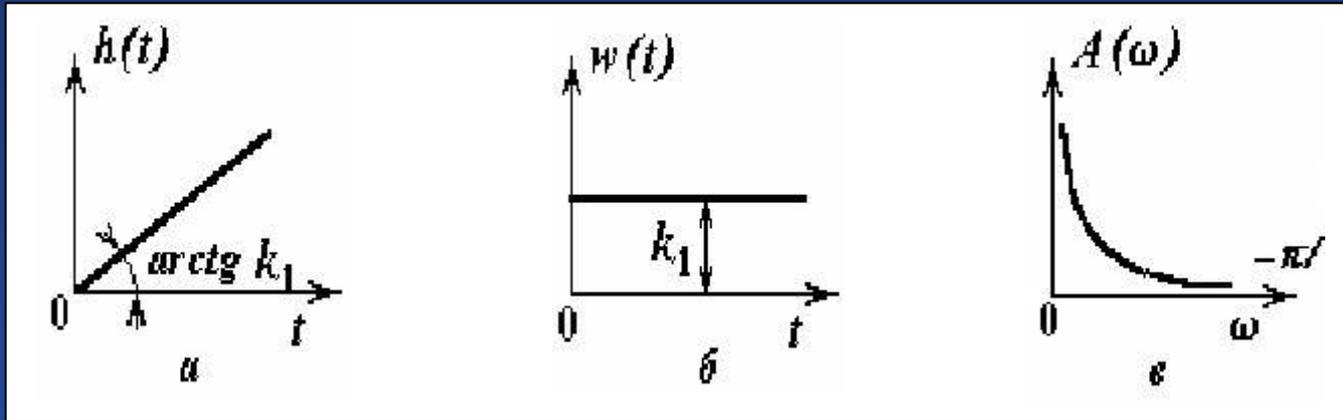
Интегрирующее звено описывается уравнением

$$y(t) = k_1 \int x(t) dt \quad \frac{dy(t)}{dt} \quad (1)$$

Передаточная функция интегрирующего звена:

$$W(p) = \frac{k_1}{p}$$

# Характеристики интегрирующего звена



# Апериодическое звено 1-го порядка

Апериодическое звено 1-го порядка имеет неколебательный (апериодический) характер переходного процесса и описывается уравнением

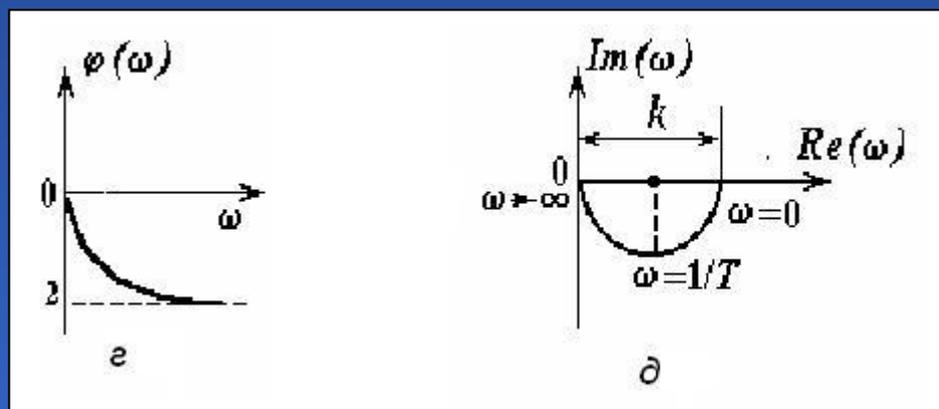
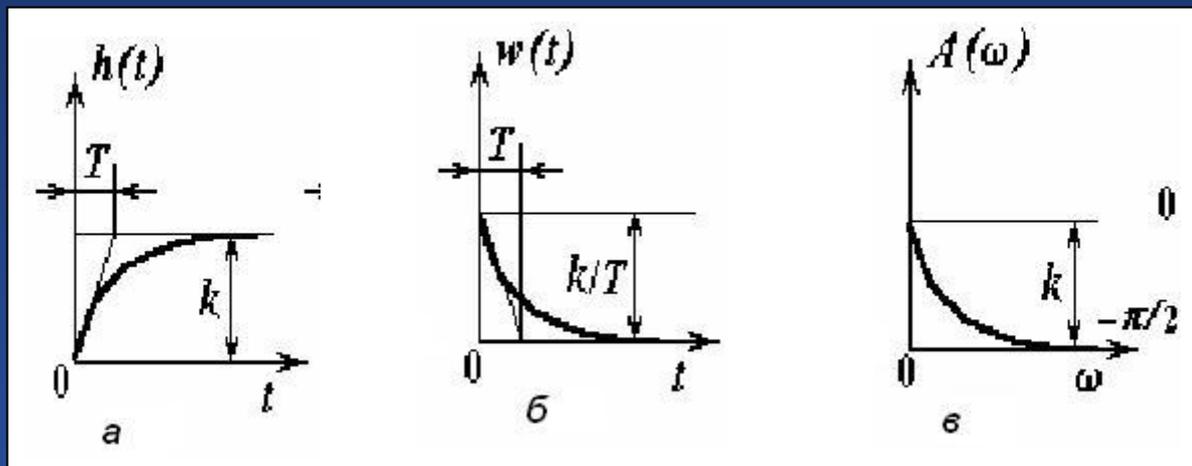
$$T \frac{dy(t)}{dt} + e(t) = kx(t) ,$$

где  $k$  – коэффициент передачи,  
 $T$  – постоянная времени, с.

Передаточная функция

$$W(p) = \frac{k}{Tp + 1} .$$

# Характеристики апериодического звена



# Колебательное звено

Колебательное звено имеет колебательный переходной процесс и описывается уравнением

$$T^2 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + 2T\xi \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = kx(t),$$

где  $T$  – постоянная времени, с;

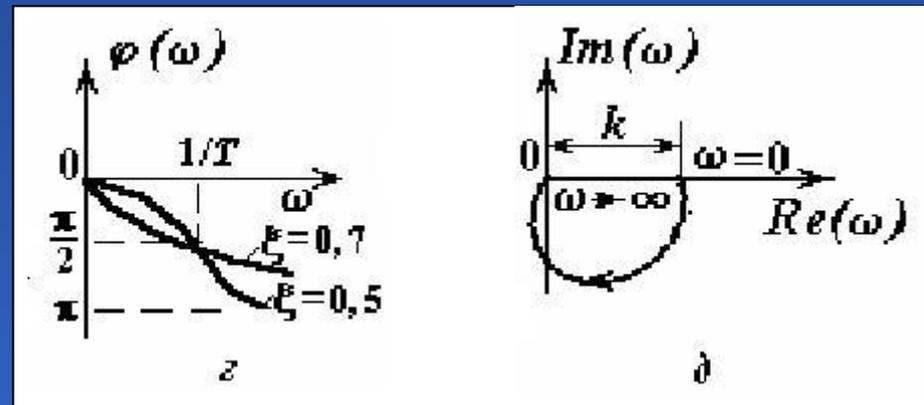
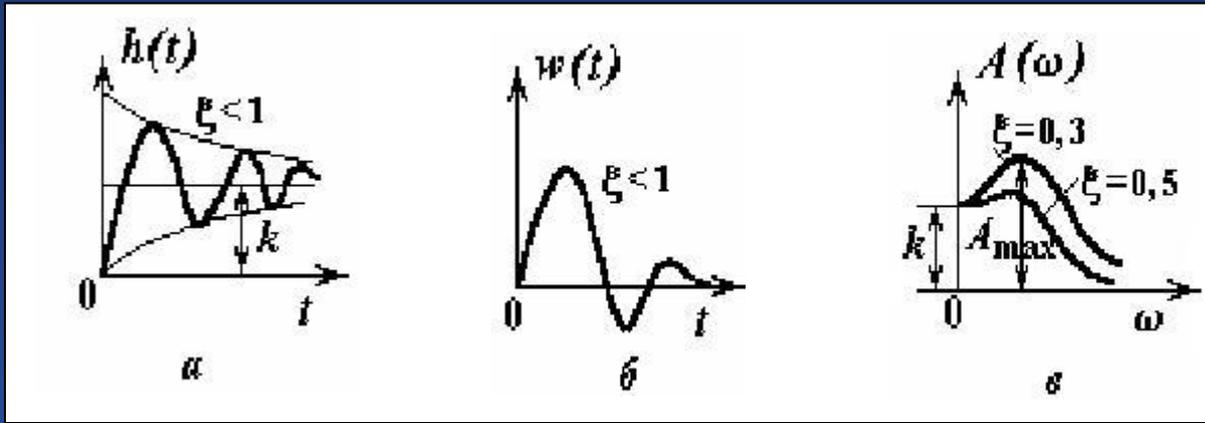
$\xi$  – коэффициент затухания (безразмерен);

$k$  – коэффициент передачи.

Передаточная функция звена

$$W(p) = \frac{k}{T^2 p^2 + 2T\xi p + 1}$$

# Характеристики колебательного звена



# Дифференцирующее звено

---

Идеальное дифференцирующее звено описывается уравнением

$$y(t) = k_2 \left( \frac{dx}{dt} \right),$$

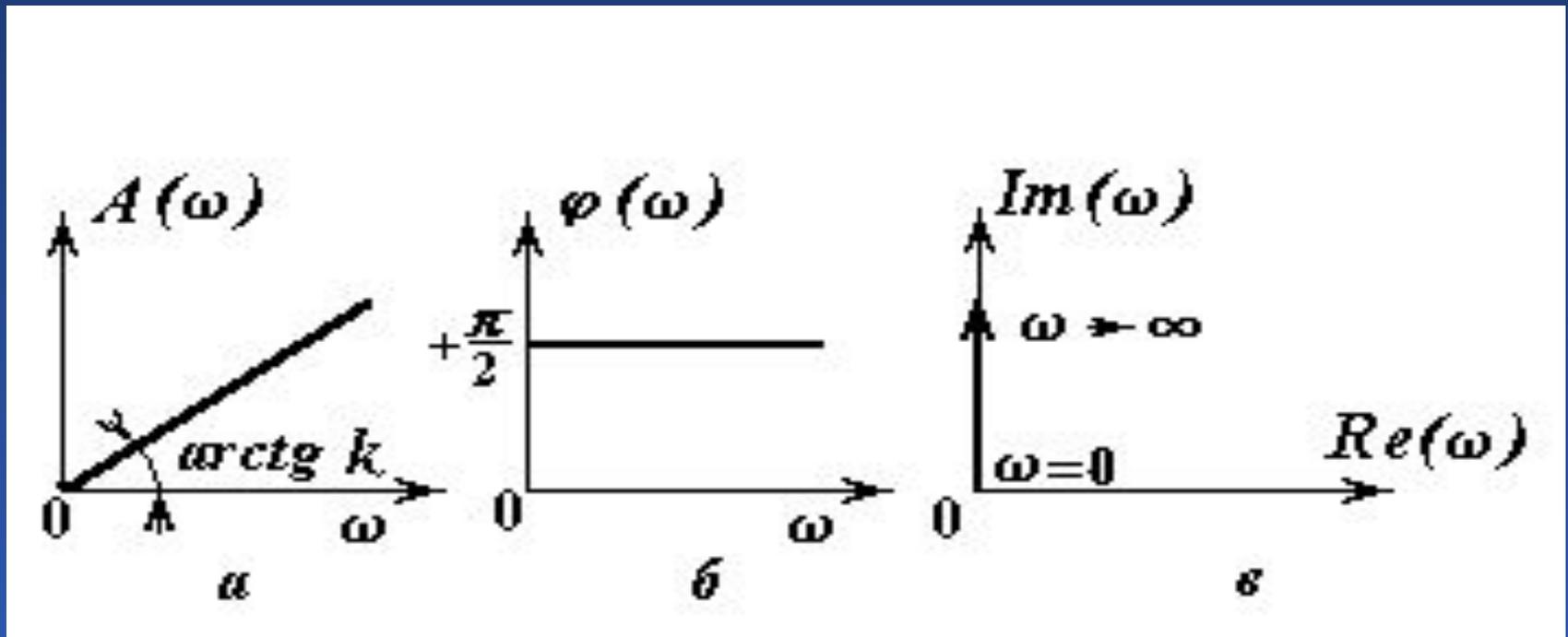
то есть выходная величина пропорциональна скорости изменения входной величины.

Передаточная функция звена

$$W(p) = k_2 p,$$

где  $k_2$  – коэффициент передачи.

# Характеристики идеального дифференцирующего звена



# Звено чистого запаздывания

---

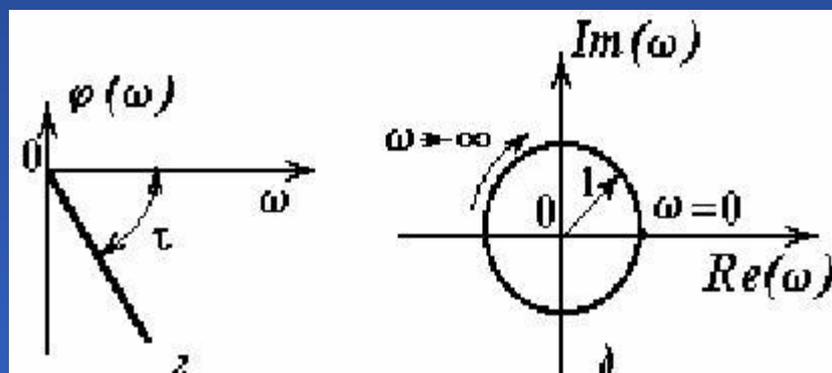
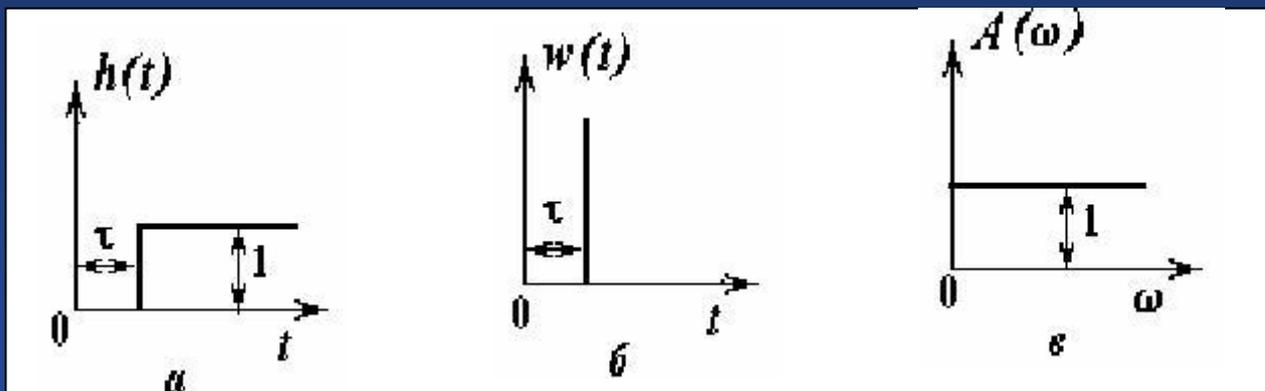
В звене чистого запаздывания выходная величина точно повторяет изменения входной величины, но с некоторым отставанием по времени  $t$ , называемым **временем чистого запаздывания** :

$$y(t) = x(t - \tau)$$

Передаточная функция звена запаздывания :

$$W(p) = e^{-p\tau}$$

# Характеристики звена чистого запаздывания



# Соединения звеньев

Различают три типа соединения звеньев:  
последовательное, параллельное и с обратной связью.

**Последовательным** называют такое соединение, при котором выходная величина предыдущего звена является входной величиной последующего звена.

Передаточная функция системы последовательно соединенных звеньев равна произведению передаточных функций отдельных звеньев:

$$W(p) = W_1(p) \cdot W_2(p) \dots W_{n-1}(p) \cdot W_n(p)$$

# Соединения звеньев

При **параллельном** соединении звеньев на вход всех звеньев поступает одна и та же входная величина  $x$ , а выходная величина равна сумме **выходных величин отдельных звеньев**.

Передаточная функция системы параллельно соединенных звеньев равна сумме передаточных функций отдельных звеньев:

$$W(p) = W_1(p) + W_2(p) + \dots + W_{n-1}(p) + W_n(p)$$

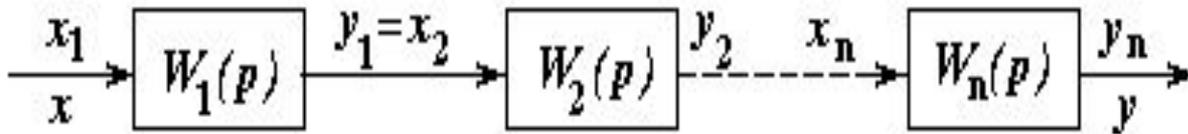
# Соединения звеньев

Передаточная функция системы при охвате звена обратной связи:

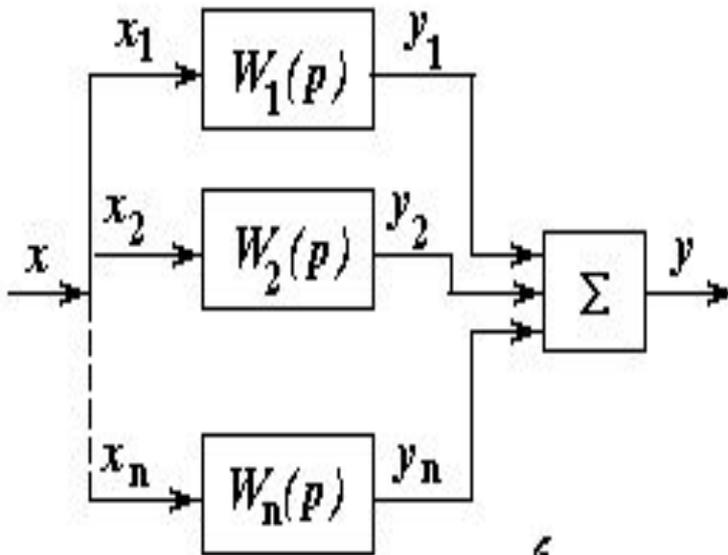
$$W(p) = \frac{W_1(p)}{1 \pm W_1(p) \cdot W_{oc}(p)}$$

Знак “минус” соответствует положительной обратной связи, знак “плюс” – отрицательной обратной связи.

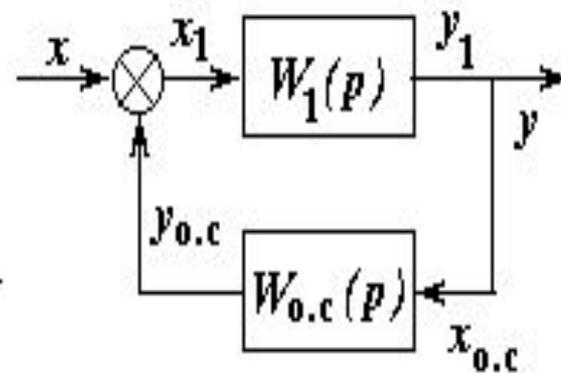
# Автоматические регуляторы, типовые законы регулирования



*a*



*б*



*в*

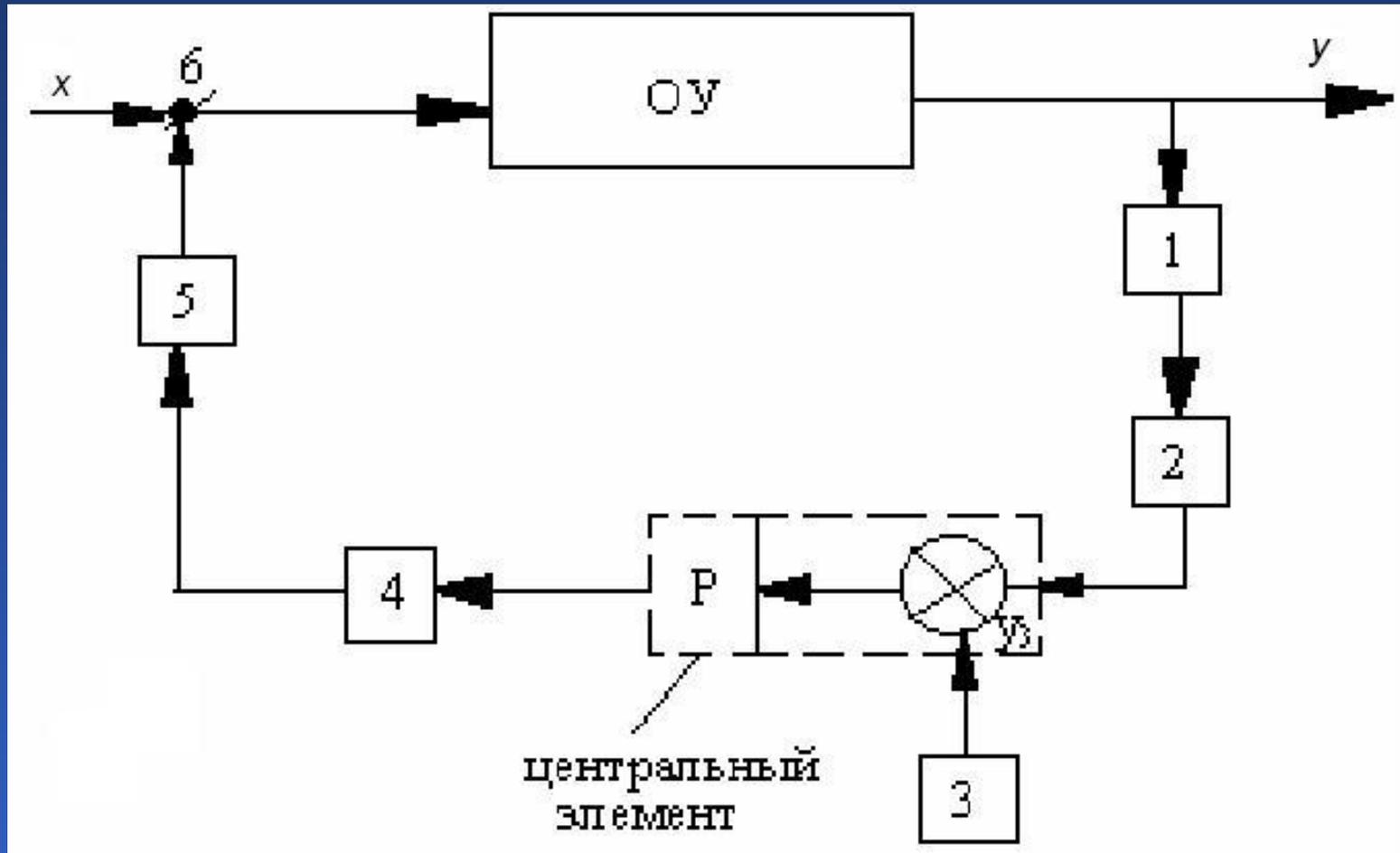
# Предварительный выбор структуры системы регулирования

---

При выборе структуры АСР следует руководствоваться следующими правилами:

1. Переменные, подлежащие стабилизации, следует выбирать таким образом, чтобы они были статически независимы друг от друга, т. е. в статическом режиме ни одна переменная не должна определяться значениями других
2. Для того, чтобы технологический процесс был статически управляем, число независимых управляющих воздействий должно быть не меньше числа стабилизируемых переменных

# Структурная схема типовой АСР



# Стандартные законы регулирования

---

- пропорциональный (П-закон);
- интегральный (И-закон);
- пропорционально-интегральный (ПИ-закон);
- пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД-закон);
- пропорционально-дифференциальный (ПД-закон);
- двухпозиционный;
- трехпозиционный.

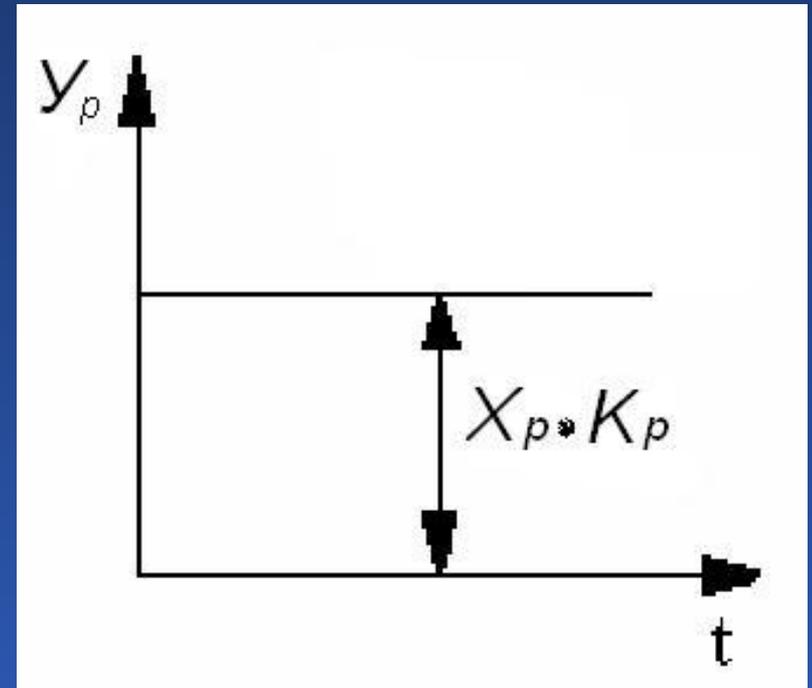
# Пропорциональный закон регулирования

Пропорциональный закон выражается уравнением:

$$y_p = k_p x_p,$$

где  $y_p$ ,  $x_p$  – выходной и входной сигналы регулятора,

$k_p$  – коэффициент пропорциональности, являющийся параметром настройки П-регулятора.



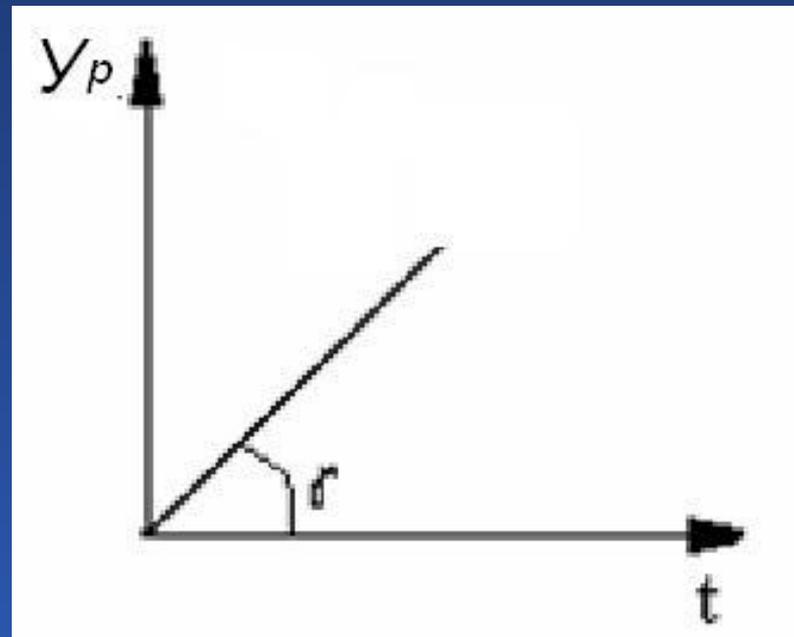
Переходный процесс в  
П-регуляторе

# Интегральный закон регулирования

Процесс регулирования происходит по закону, который описывается уравнением:

$$y_p = \frac{1}{T_u} \int_0^{\tau} x_p d\tau$$

где  $T_u$  – постоянная времени интегрирования, являющаяся параметром настройки И-регулятора.

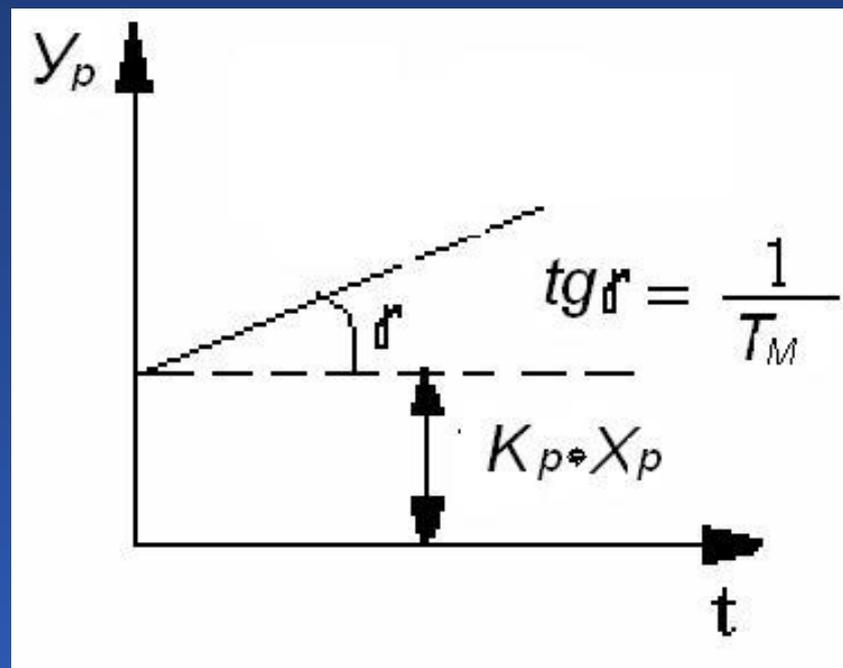


Переходный процесс в И-регуляторе

# Пропорционально – интегральный закон регулирования

Пропорционально - интегральный закон выражается уравнением:

$$y_p = k_p \left( x_p + \frac{1}{T_i} \int_0^{\tau} x_p d\tau \right)$$



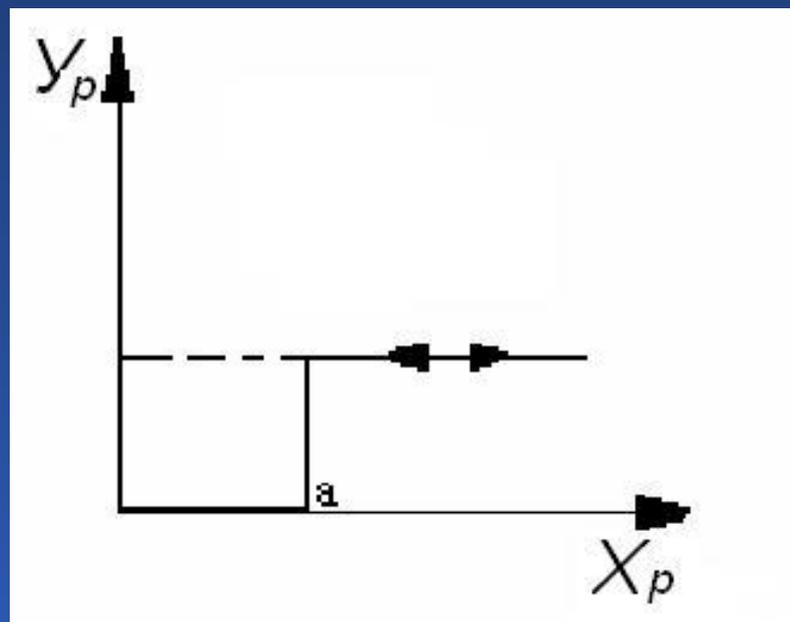
Переходный процесс в  
ПИ-регуляторе

# Пропорционально – интегрально – дифференциальный закон регулирования

ПИД-закон регулирования определяется уравнением:

$$y_p = k_p \left( x_p + \frac{1}{T_i} \int_0^{\tau} x_p d\tau + T_d \frac{dx_p}{d\tau} \right)$$

где  $T_d$  – время дифференцирования (предварения).



Позиционный закон регулирования

# Понятие устойчивости АСР

---

**Устойчивость автоматической системы** – это свойство системы возвращаться в исходное состояние равновесия после прекращения воздействия, выведшего систему из этого состояния. Неустойчивая система не возвращается в исходное состояние, а непрерывно удаляется от него.

**Общее условие устойчивости** – для устойчивости линейной автоматической системы управления необходимо и достаточно, чтобы вещественные части всех корней характеристического уравнения системы были отрицательными.

# Алгебраические критерии устойчивости

## Критерий Гурвица

Автоматическая система, описываемая характеристическим уравнением, устойчива, если при  $a_0 > 0$  положительны все определители  $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n$  вида

$$\Delta_i = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & \dots & \dots & a_{2i-1} \\ a_0 & a_2 & a_4 & \dots & \dots & a_{2i-2} \\ 0 & a_1 & a_3 & \dots & \dots & a_{2i-3} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & a_{i-2} a_i \end{vmatrix}, \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

Если хотя бы один из определителей, называемых определителями Гурвица, отрицателен, то система неустойчива.

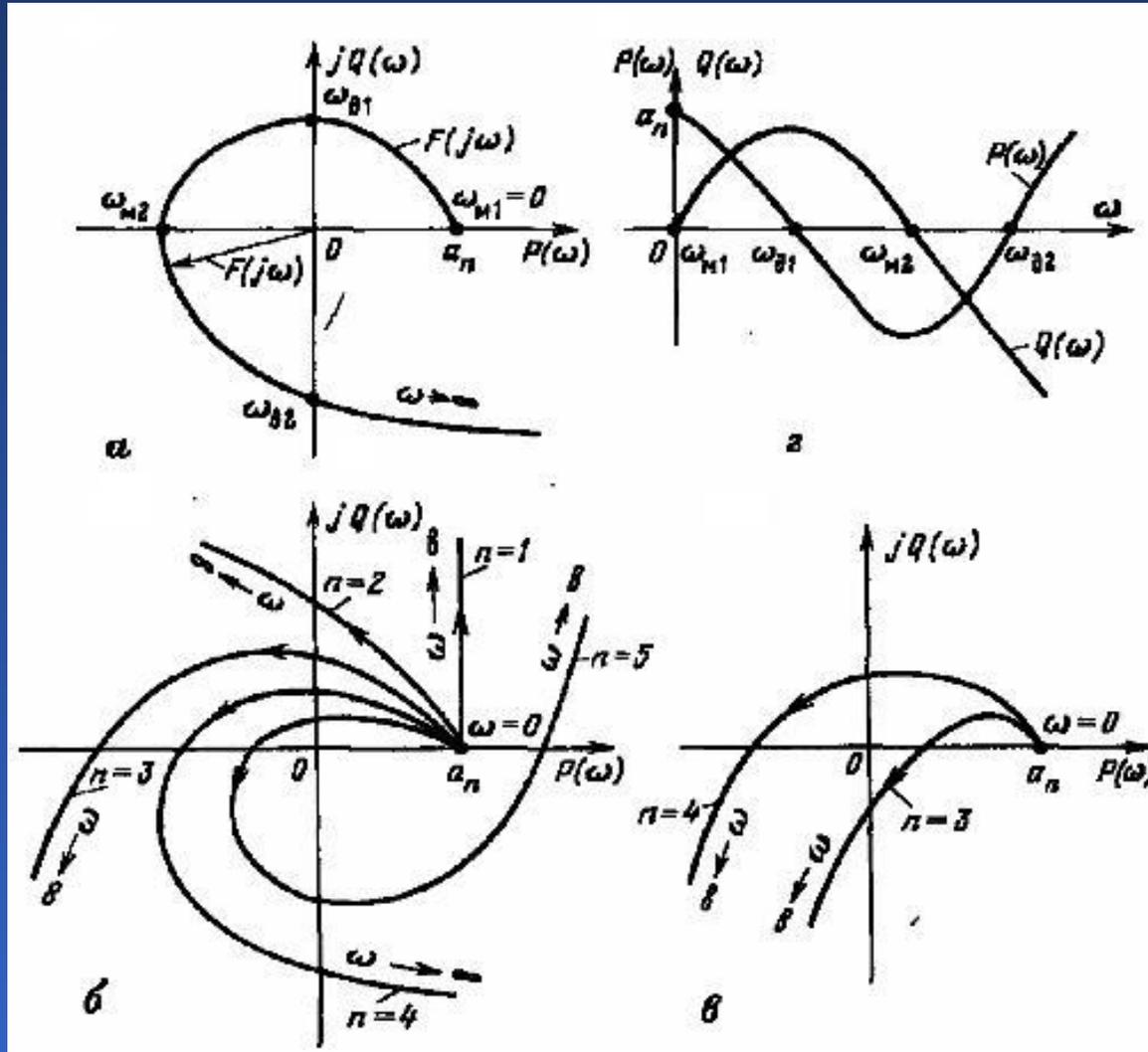
# Критерий Михайлова

---

Автоматическая система управления, описываемая уравнением  $n$ -го порядка, устойчива, если при изменении  $\omega$  от 0 до  $\infty$  характеристический вектор системы  $F(j\omega)$  повернется против часовой стрелки на угол  $n \pi/2$ , не обращаясь при этом в нуль.

Это означает, что характеристическая кривая устойчивой системы должна при изменении  $\omega$  от 0 до  $\infty$  пройти последовательно через  $n$  квадрантов.

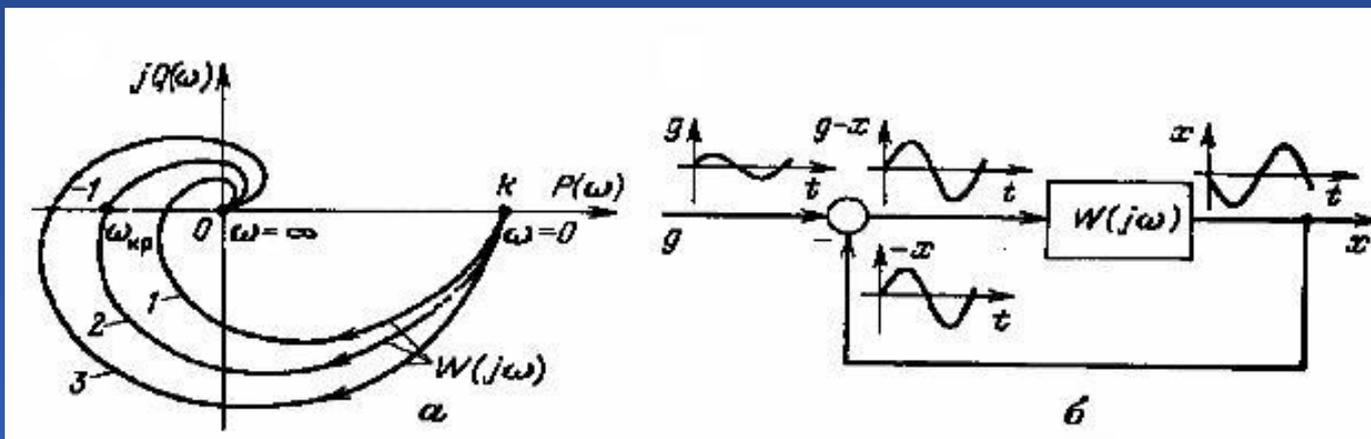
# Характеристические кривые (годографы) Михайлова



# Критерий Найквиста

Автоматическая система управления устойчива, если амплитудно-фазовая характеристика  $W(j\omega)$  разомкнутого контура не охватывает точку с координатами  $(-1; j0)$ .

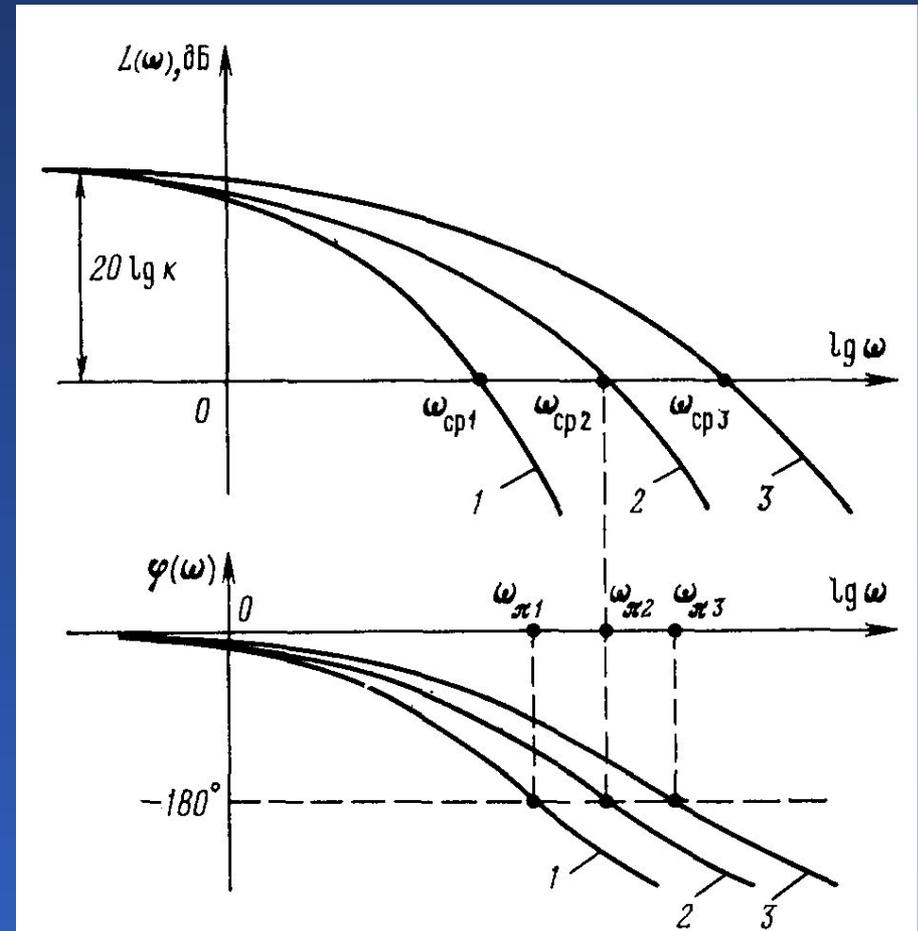
Эта формулировка справедлива для систем, которые в разомкнутом состоянии устойчивы.



Амплитудно-фазовые характеристики разомкнутого контура (а) и физическая трактовка (б) критерия Найквиста

# Логарифмические частотные характеристики статических систем

- 1 – устойчивая;
- 2 – находящаяся на границе устойчивости;
- 3 – неустойчивая система



# Методы исследования качества переходного процесса

---

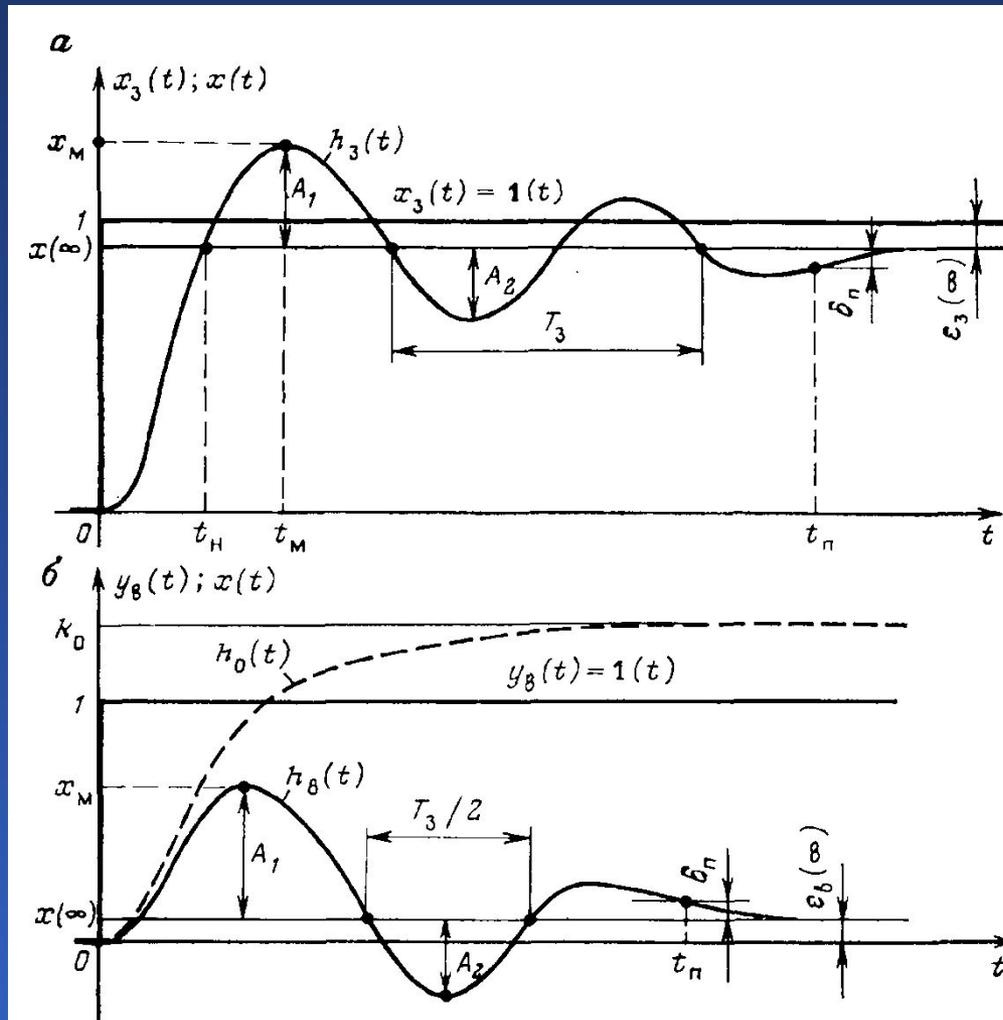
Свойства системы, выраженные в количественной форме, называют **показателями качества управления**.

Точность системы в переходных режимах оценивают при помощи прямых и косвенных показателей.

**Прямые показатели** определяют по графику переходного процесса, возникающего в системе при ступенчатом внешнем воздействии.

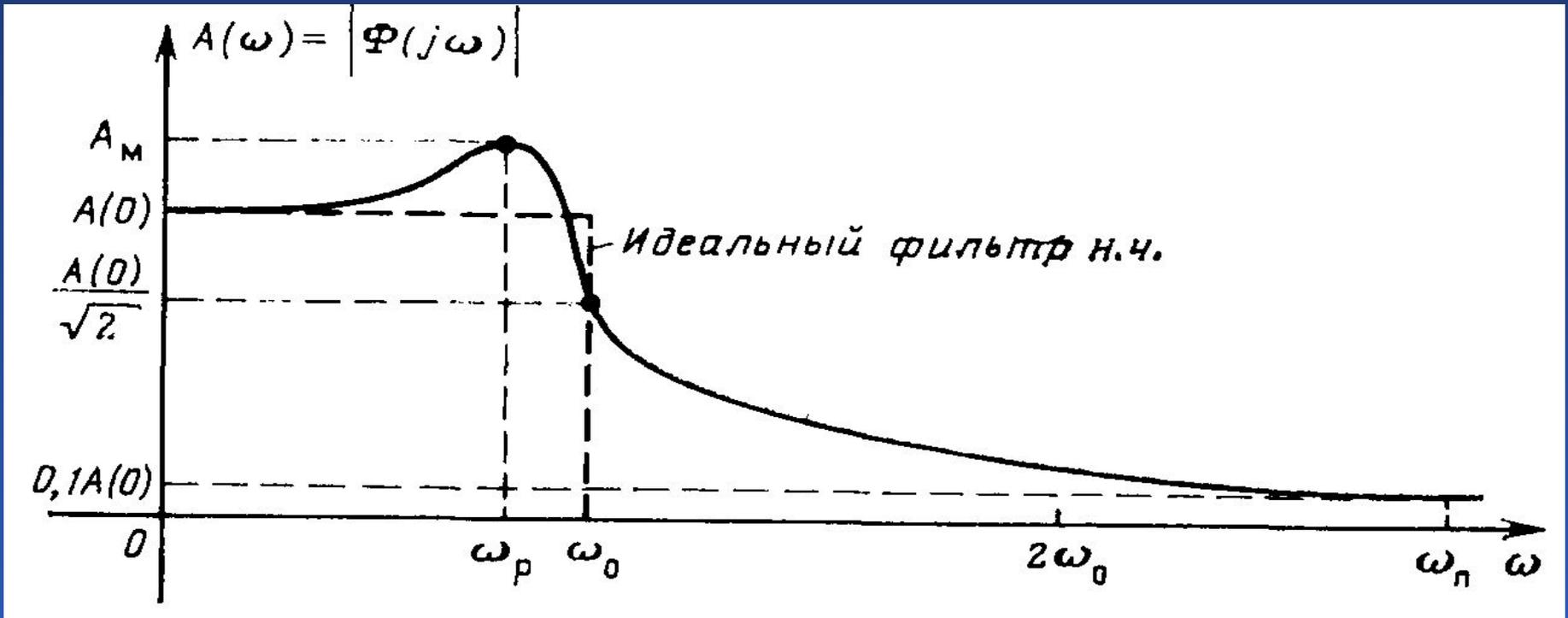
**Косвенные показатели** качества определяют по распределению корней характеристического уравнения или по частотным характеристикам системы.

# Прямые показатели качества процесса регулирования

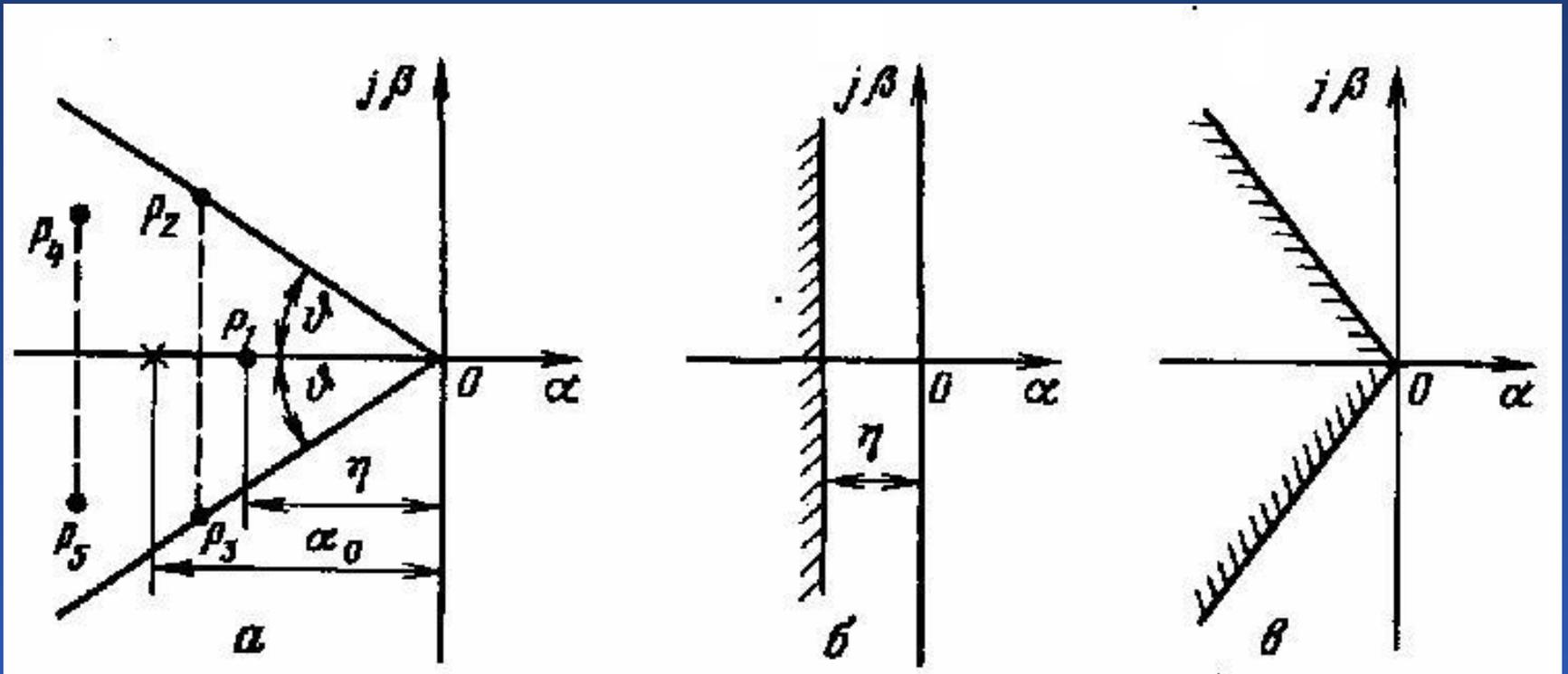


а – по каналу задания; б – по каналу возмущения

# Частотные показатели качества



# Корневые показатели качества



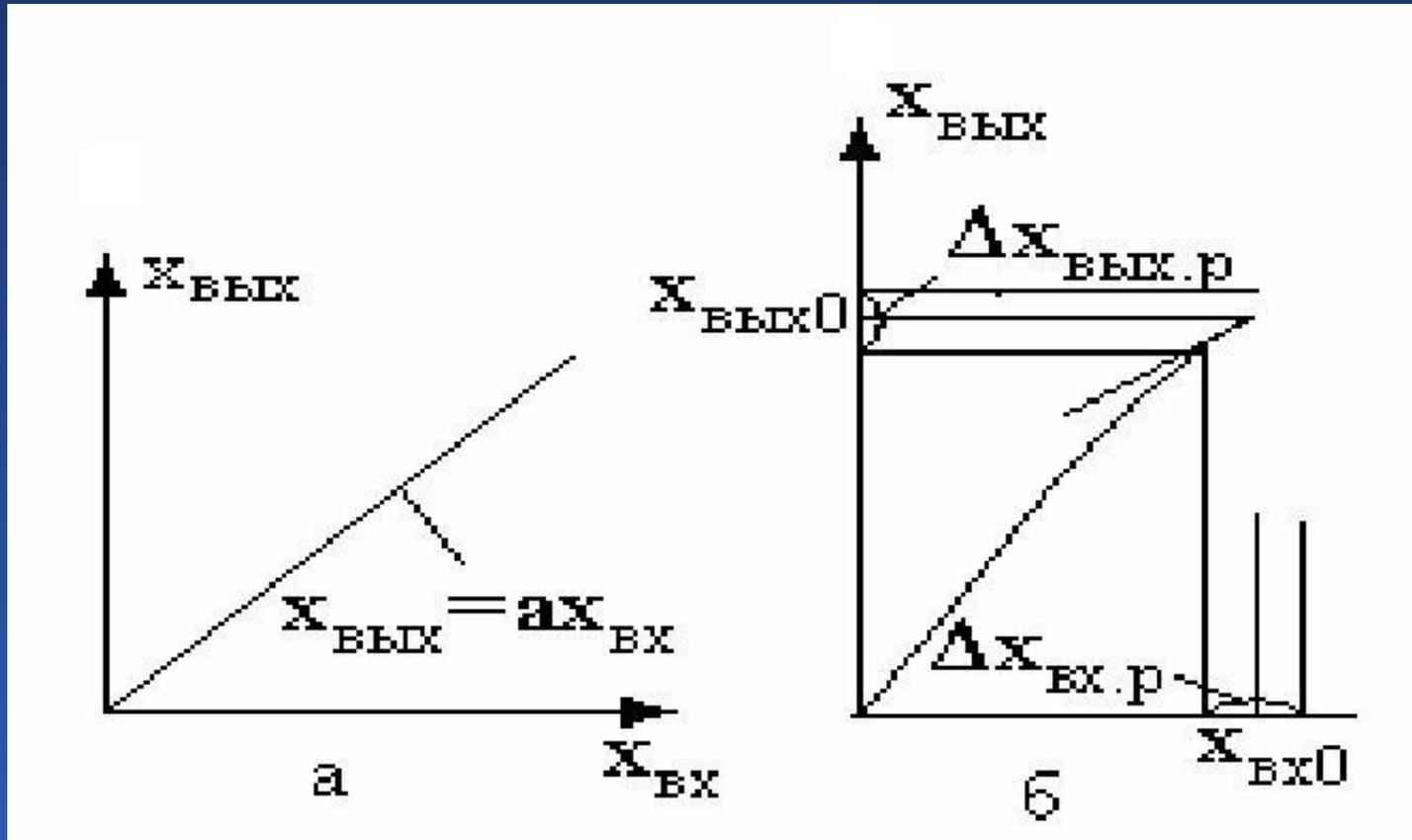
# Модели объектов регулирования и методы их получения

---

Совокупность математических уравнений, отражающих взаимосвязь выходных и входных величин объекта, дополненная ограничениями, накладываемыми на эти величины условиями их физической реализации и безопасной эксплуатации, представляют собой **математическую модель** (математическое описание) объекта.

В соответствии с физической сущностью процессов, протекающих в объекте, математические модели делятся на **детерминированные и стохастические**.

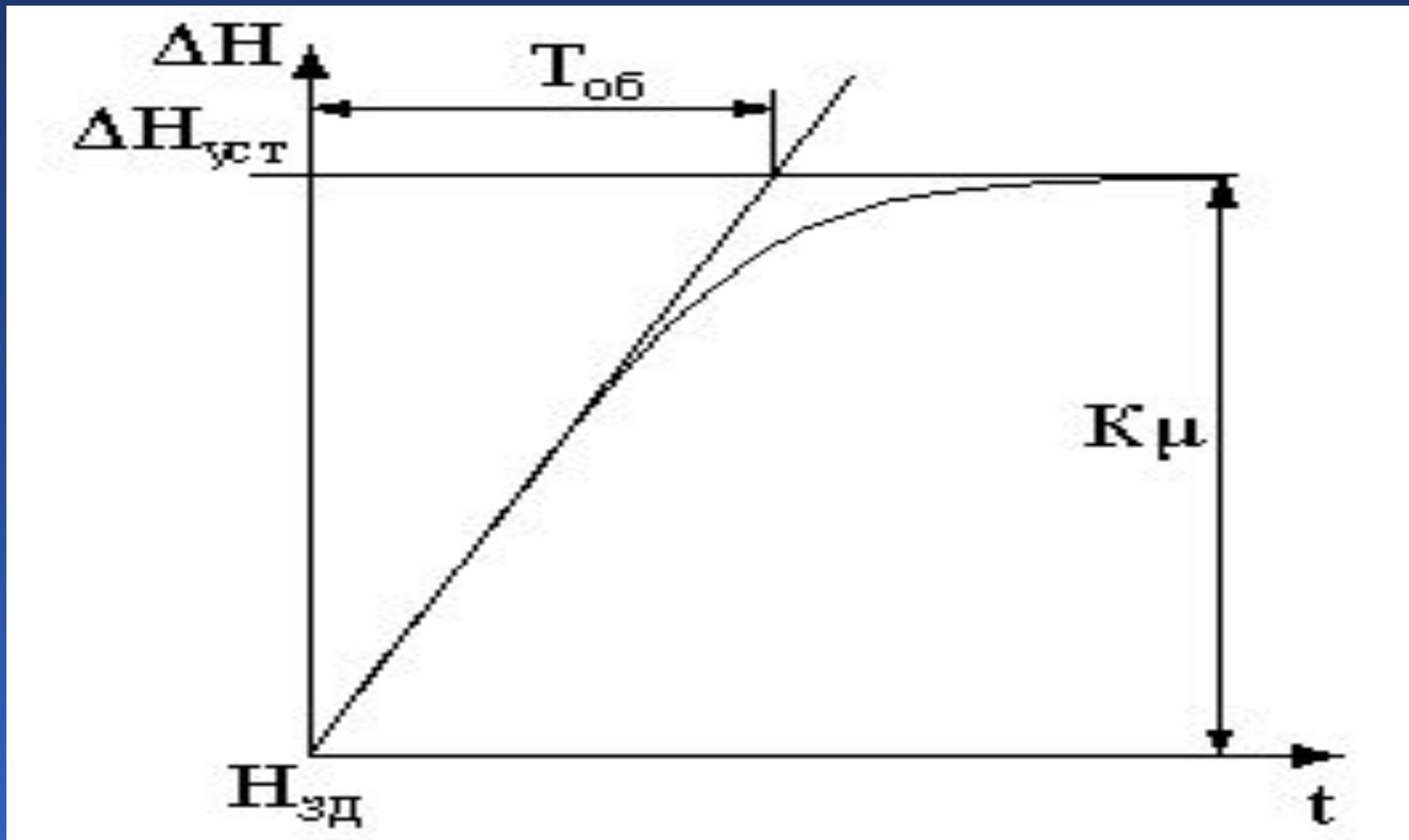
# Статические характеристики



а – линейная;

б – нелинейная

# Переходный процесс в объекте первого порядка с самовыравниванием



Динамика сложных систем регулирования описывается дифференциальными уравнениями высоких порядков.

В общем случае:

$$\begin{aligned} & a_0 \frac{d^n x}{dt^n} + a_1 \frac{d^{n-1} x}{dt^{n-1}} + \dots + a_{n-1} \frac{dx}{dt} + a_n x = \\ & = b_0 \frac{d^m y}{dt^m} + b_1 \frac{d^{m-1} y}{dt^{m-1}} + \dots + b_{m-1} \frac{dy}{dt} + b_m y + \\ & + c_0 \frac{d^z f}{dt} + c_1 \frac{d^{z-1} f}{dt^{z-1}} + \dots + c_{z-1} \frac{df}{dt} + c_z f, \end{aligned}$$

где  $m, n, z$  – положительные целые числа, обычно  $n \geq m$  и  $n \geq z$ ;  $a_0, a_1, \dots, a_n, b_0, b_1, \dots, b_m; c_0, c_1, \dots, c_z$  – постоянные коэффициенты, определяемые параметрами системы.

# Элементы и системы автоматического управления металлургическими агрегатами и процессами

# Элементы и системы автоматического управления металлургическими агрегатами и процессами

---

1. Измерение температуры
2. Бесконтактные методы измерения температуры
3. Манометрические термометры
4. Электрические термометры сопротивления и приборы, работающие в комплекте с ними
5. Термоэлектрические термометры и приборы, работающие в комплекте с ними
6. Бесконтактные методы измерения температуры
7. Виды пирометров
8. Измерение давления
9. Измерение расхода, количества жидкостей и газов
10. Расходомеры переменного перепада давления
11. Расходомеры постоянного перепада давления
12. Электромагнитные расходомеры

# Элементы и системы автоматического управления металлургическими агрегатами и процессами

---

13. Калориметрические (тепловые) расходомеры
14. Ультразвуковые расходомеры
15. Измерение уровня
16. Поплавковые уровнемеры
17. Гидростатические уровнемеры
18. Ультразвуковые и радиолокационные уровнемеры
19. Приборы для измерения уровня сыпучих материалов
20. Измерение химического состава газов и жидкостей
21. Термомагнитные газоанализаторы
22. Измерение ионного состава растворов и жидкой фазы пульп
23. Исполнительные механизмы
24. Регулирующие органы

# Измерение температуры

---

В России применяются две температурных шкалы: **абсолютная термодинамическая** и **международная практическая**.

Приборы для измерения температуры можно разделить на две группы:

- **контактные** (имеет место надежный тепловой контакт чувствительного элемента прибора с объектом измерения);
- **бесконтактные** (отличаются тем, что чувствительный элемент термометра в процессе измерения не имеет непосредственного соприкосновения с измеряемой средой).

# Приборы для измерения температуры контактным способом

---

В зависимости от принципа действия приборы для измерения температуры контактнм способом подразделяют:

1. **Термометры расширения** – принцип действия основан на изменении объема жидкости (жидкостные) или линейных размеров твердых тел (биметаллические) при изменении температуры. Предел измерения от минус  $190^{\circ}\text{C}$  до плюс  $600^{\circ}\text{C}$ .

2. **Манометрические термометры** – принцип действия основан на изменении давления жидкостей, парожидкостной смеси или газа в замкнутом объеме при изменении температуры. Пределы измерения от минус  $150^{\circ}\text{C}$  до плюс  $600^{\circ}\text{C}$ .

---

3. **Электрические термометры сопротивления** основаны на изменении электрического сопротивления проводников или полупроводников при изменении температуры. Пределы измерения от – 200 °С до + 650 °С.

4. **Термоэлектрические преобразователи (термопары)** основаны на возникновении термоэлектродвижущей силы при нагревании спая разнородных проводников или полупроводников. Диапазон температур от – 200 °С до + 2300 °С.

# Бесконтактные методы измерения температуры

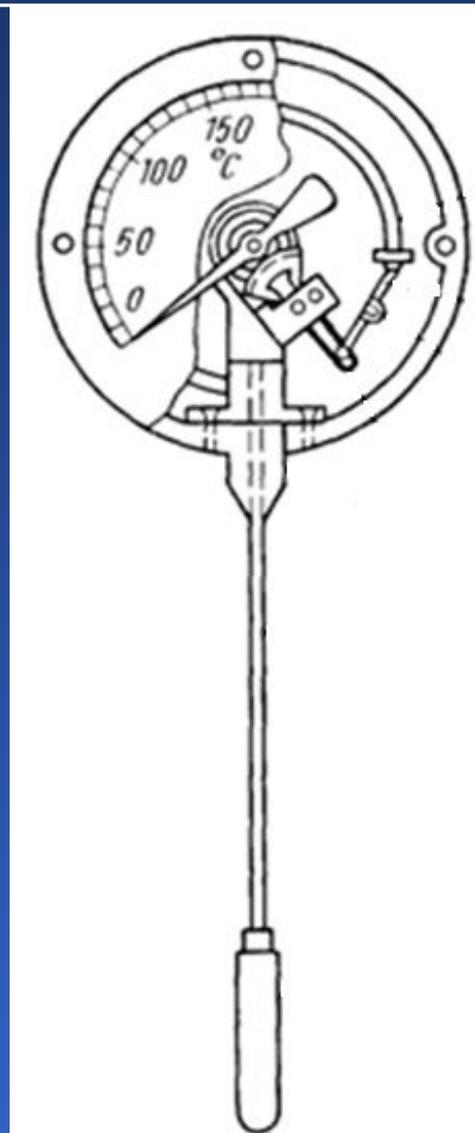
---

К бесконтактным приборам относятся пирометры излучения:

1. **Пирометры частичного излучения** (яркостные, оптические), основанные на изменении интенсивности монохроматического излучения тел в зависимости от температуры. Предел измерений от 800 до 6000 °С.
2. **Радиационные пирометры**, основанные на зависимости мощности излучения нагретого тела от его температуры. Предел от 20 до 2000 °С.
3. **Цветовые пирометры**, основанные на зависимости отношения интенсивностей излучения на двух длинах волн от температуры тела. Пределы измерения от 200 до 3800 °С.

# Манометрические термометры

Манометрический  
термометр с трубчатой  
пружиной



Зависимость давления от температуры  
имеет вид

$$P_t = P_0[1 + \beta(t - t_0)]$$

где  $\beta = 1/273,15$  – температурный коэффициент расширения газа;  
 $t_0$  и  $t$  – начальная и конечная температуры;  
 $P_0$  – давление рабочего вещества при температуре  $t_0$ .

# Электрические термометры сопротивления и приборы для работы с ними

---

Изготавливают платиновые термометры сопротивления (ТСП) для температур от  $-200$  до  $+650$  °С и медные термометры сопротивления (ТСМ) для температур от  $-50$  до  $+180$  °С.

Полупроводниковые термометры сопротивления, которые называются термисторами или терморезисторами, применяются для измерения температуры в интервале от  $-90$  до  $+180$  °С.

Приборы, работающие в комплекте с термометрами сопротивления:

- уравновешенные мосты,
- неуравновешенные мосты,
- логометры.

# Термоэлектрические термометры и приборы для работы с ними

---

Спай термопары с температурой  $t_1$  называется горячим или рабочим, а спай с  $t_0$  – холодным или свободным.

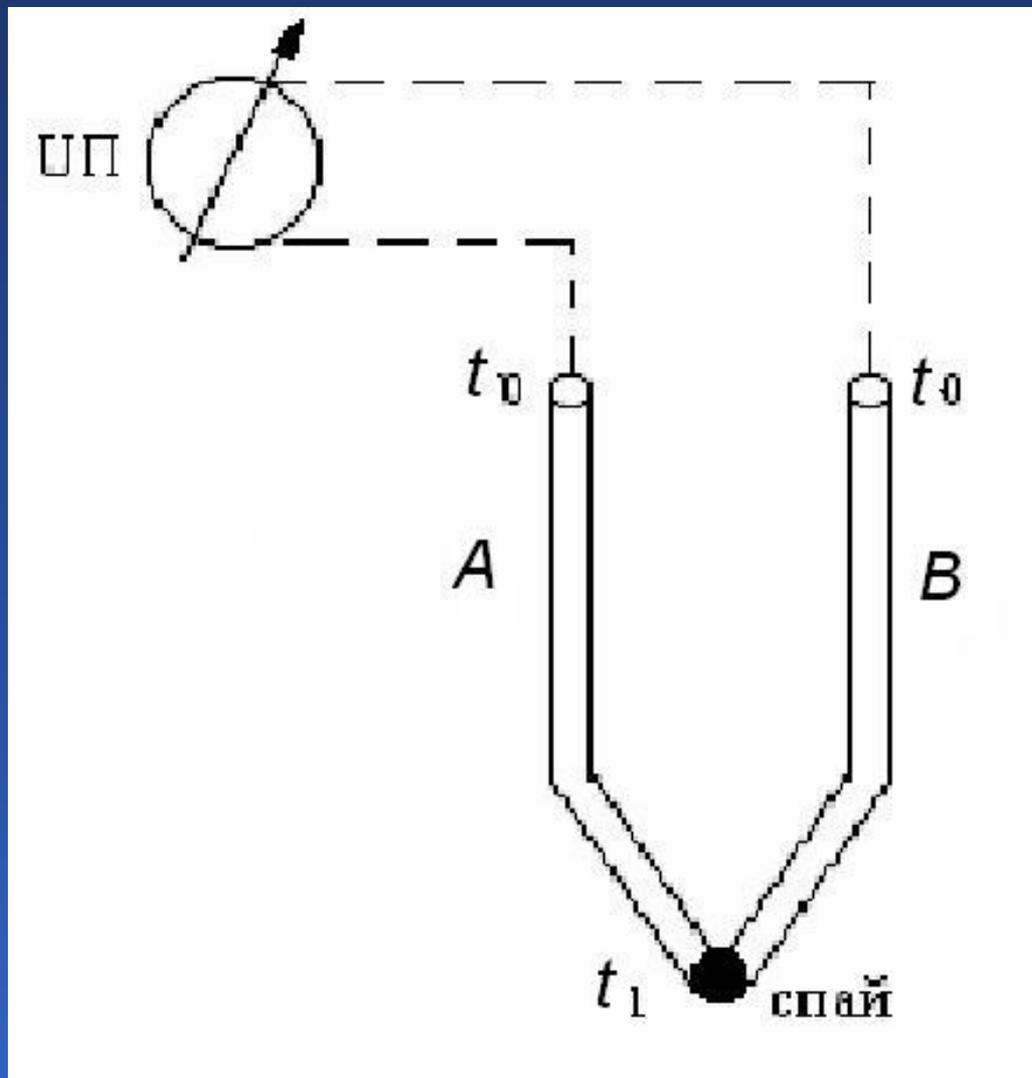
ТермоЭДС термопары есть функция двух температур:

$$E_{AB} = f(t_1, t_0).$$

Приборы, работающие в комплекте с термопарами:

- магнитоэлектрические милливольтметры;
- автоматические потенциометры.

# Электрическая схема термоэлектрического преобразователя (термопара)



# Термоэлектрические преобразователи стандартных градуировок

Термоэлектрический преобразователь	Химический состав термоэлектрода		Диапазон измеряемых температур при длительном измерении, °С	Предельная температура при кратковременном измерении, °С	Допустимые погрешности, °С
	Положительный	Отрицательный			
Хромель-копель (ТХК)	Хромель (89 % Ni, 9,8 % Cr, 1 % Fe, 0,2 % Mn)	Копель (55 % Cu, 45 % Ni)	-50 ÷ 600	800	± 5,8
Хромель-алюмель (ТХА)	Хромель (89 % Ni, 9,8 % Cr, 1 % Fe, 0,2 % Mn)	Алюмель (94 % Ni, 2 % Al, 2,5 % Mn, 1 % Si, 0,5 % Fe)	-50 ÷ 1000	1300	± 9,7
Платинородий-платина (ТПП)	Платинородий (90 % Pt, 10 % Rh)	Платина (100 % Pt)	0 ÷ 1300	1600	± 3,6
Платинородий-платинородий (ТПР)	Платинородий (70 % Pt, 30 % Rh)	Платинородий (94 % Pt, 6 % Rh)	300 ÷ 1600	1800	± 5,2
Вольфрамрений-вольфрамрений (ТВР)	Сплав вольфрама с рением		0 ÷ 2200	2500	± 9,7
	(95 % W, 5 % Re)	(80 % W, 20 % Re)			

# Термопреобразователи с унифицированным ВЫХОДНЫМ СИГНАЛОМ



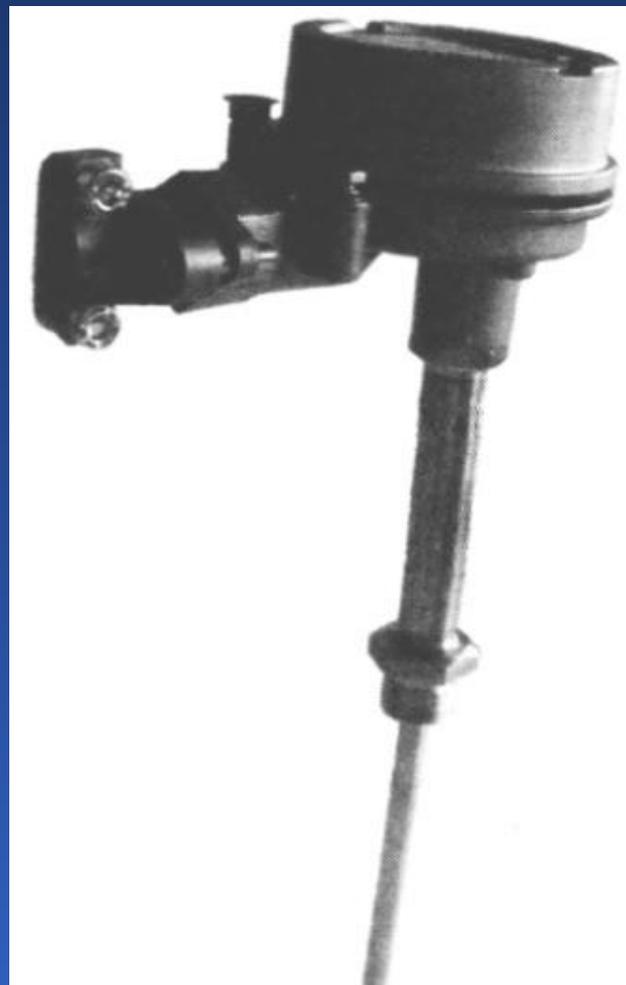
ТХАУ Метран-271, ТСМУ Метран-74

---

Чувствительный элемент первичного преобразователя и встроенный в головку датчика измерительный преобразователь преобразуют измеряемую температуру в унифицированный токовый выходной сигнал, что дает возможность построения АСУ ТП без применения дополнительных нормирующих преобразователей.

Использование термопреобразователей допускается в нейтральных и агрессивных средах, по отношению к которым материал защитной арматуры является коррозионностойким.

# Интеллектуальные преобразователи температуры



Метран-281, Метран-286

# Метран-280

---

Интеллектуальные преобразователи температуры (ИПТ) **Метран-280: Метран-281, Метран-286** предназначены для точных измерений температуры нейтральных, а также агрессивных сред по отношению к которым материал защитной арматуры является коррозионностойким.

Управление ИПТ осуществляется дистанционно, при этом обеспечивается настройка датчика:

- выбор его основных параметров;
- перенастройка диапазонов измерений;
- запрос информации о самом ИПТ (типе, модели, серийном номере, максимальном и минимальном диапазонах измерений, фактическом диапазоне измерений).

# Метран-280

---

В Метран-280 реализовано три единицы измерения температуры:

- градусы Цельсия, °С;
- градусы Кельвина, К;
- градусы Фаренгейта, F.

Диапазон измеряемых температур от 0 до 1000 °С.

Конструктивно Метран-280 состоит из термозонда и электронного модуля, встроенного в корпус соединительной головки. В качестве первичного термопреобразователя используются чувствительные элементы из термопарного кабеля КТМС (ХА) или резистивные чувствительные элементы из платиновой проволоки.

---

При обнаружении неисправности в режиме самодиагностики выходной сигнал устанавливается в состояние, соответствующее нижнему ( $I_{\text{ВЫХ}} \leq 3,77 \text{ мА}$ ) сигналу тревоги.

В Метран-280 реализован режим защиты настроек датчика от несанкционированного доступа.

# Термометры цифровые малогабаритные



ТЦМ 9210

# Термометры ТЦМ 9210

---

Термометры ТЦМ 9210 предлагаются для замены жидкостных стеклянных термометров (ртутных и др.). ТЦМ 9210 обеспечивают четкую индикацию температуры в условиях слабой освещенности.

Термометры цифровые малогабаритные ТЦМ–9210 предназначены для измерений температуры сыпучих, жидких и газообразных сред посредством погружения термопреобразователей в среду (погружные измерения) или для контактных измерений температуры поверхностей (поверхностные измерения) с представлением измеряемой температуры на цифровом табло электронного блока.

---

**Термометры применяются** при научных исследованиях, в технологических процессах в горнодобывающей, нефтяной, деревоперерабатывающей, пищевой и других отраслях промышленности.

Диапазон измеряемых температур от  $-50$  до  $+1800$  °С.

Термометры состоят из термопреобразователя (ТТЦ), электронного блока и сетевого блока питания.

ТТЦ состоит из чувствительного элемента (ЧЭ) с защитной оболочкой, внутренних соединительных проводов и внешних выводов, позволяющих осуществить подключение к электронному блоку термометра.

---

В качестве ЧЭ в ТТЦ термометров используются термопреобразователи сопротивления Pt100, преобразователи термоэлектрические ТХА(К).

Электронный блок предназначен для преобразования сигнала, поступающего с выхода ТТЦ в сигнал измерительной информации, который высвечивается на цифровом табло.

# Бесконтактные методы измерения температуры

---

## Основные законы теплового излучения

Участок спектра в интервале длин волн 0,02–0,4 мкм соответствует ультрафиолетовому излучению, участок 0,4–0,76 мкм – видимому, участок 0,76–400 мкм – инфракрасному излучению.

**Интегральное излучение** (полное излучение) – это суммарное излучение, испускаемое телом во всем спектре длин волн.

**Монохроматическим** (спектральным) называется излучение определенной длины волны.

# Уравнение Планка

Зависимость интенсивности монохроматического излучения  $I_{\lambda_0}$  абсолютно черного тела от температуры описывается уравнением Планка:

$$I_{\lambda_0} = C_1 \lambda^{-5} \left( e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1 \right)^{-1},$$

где  $\lambda$  – длина волны, м;  $T$  – температура, К;  
 $C_1$  и  $C_2$  – постоянные Планка,  $C_1 = 3,7413 \cdot 10^{-6}$  Вт · м<sup>2</sup>;  
 $C_2 = 1,438 \cdot 10^{-2}$  м · К.

При температуре до 3000 К формула Планка может быть с достаточной точностью (погрешность не более 1 %) заменена формулой Вина.

# Формула Вина

$$I_{\lambda_0} = c_1 \cdot \lambda^{-5} e^{-c_2/\lambda T}$$

Интеграл от интенсивности излучения по всем длинам волн дает плотность интегрального излучения  $E_0$ , которая называется **полной мощностью излучения** (закон Стефана – Больцмана):

$$E_0 = C_0 \left( \frac{T}{100} \right)^4$$

где  $C_0 = 5,67 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К}^4)$  – коэффициент излучения абсолютно черного тела.

Яркостной температурой реального тела  $T_{\text{я}}$  называют температуру, при которой интенсивность спектрального излучения абсолютно черного тела равна интенсивности спектрального излучения реального тела при истинной температуре  $T$ .

Соотношение между температурами  $T$  и  $T_{\text{я}}$  записывается в следующем виде:

$$\frac{1}{T_{\text{я}}} - \frac{1}{T} = \frac{\lambda}{C_2} \ln \frac{1}{\varepsilon_{\lambda}}$$

Температура реального тела, измеряемая радиационными пирометрами называется **радиационной**  $T_p$ . При этой температуре полная мощность излучения абсолютно черного тела равна полной мощности излучения реального тела при истинной температуре  $T$ .

Закон Стефана – Больцмана:

$$T = T_p \cdot \sqrt[4]{\frac{1}{\varepsilon_\Sigma}}$$

Температура, измеряемая пирометрами спектрального отношения, называется **цветовой**.

Цветовая температура  $T_{\text{ц}}$  связана с истинной температурой  $T$  соотношением, которое легко выводиться из уравнения Вина:

$$\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{\text{ц}}} = \frac{\ln \frac{\varepsilon_{\lambda_1}}{\varepsilon_{\lambda_2}}}{C_2 \left( \frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right)}$$

где  $\varepsilon_{\lambda_1}$ ,  $\varepsilon_{\lambda_2}$  – монохроматические степени черноты тела для длин волн  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ .

# Виды пирометров



Переносные пирометры ST20/30Pro, ST60/80ProPlus

---

Быстродействующие, компактные и легкие пирометры пистолетного типа обеспечивают бесконтактные точные измерения температуры малых, вредных, опасных и труднодоступных объектов, просты и удобны в эксплуатации.

Диапазон измеряемых температур от  $-32$  до  $+760$  °C.

Погрешность в диапазоне от  $-32$  до  $+26$  °C.

Прицел: лазерный.

Спектральная чувствительность: 7–18 мкм.

Время отклика: 500 мс.

Индикатор: ЖК-дисплей с подсветкой и разрешением;  $0,1$  °C ST60Pro.

Температура окружающей среды:  $0-50$  °C.

# Переносные пирометры



Raynger 3i

# Raynger 3i

---

**Raynger 3i** – серия бесконтактных инфракрасных термометров пистолетного типа с точным визированием, имеющих широкие диапазоны измерений, различные оптические и спектральные характеристики, большое разнообразие функции, что позволяет выбрать пирометр в соответствии с его назначением:

- **2M и 1M** (высокотемпературные модели) – для литейного и металлургического производства: в процессах рафинирования, литья и обработки чугуна, стали и других металлов, для химического и нефтехимического производства;
- **LT, LR** (низкотемпературные модели) – для контроля температуры при производстве бумаги, резины, асфальта, кровельного материала.

# Raynger 3i

---

В пирометрах серии Raynger 3i предусмотрено:

- память на 100 измерений;
- сигнализация верхнего и нижнего пределов измерений;
- микропроцессорная обработка сигналов;
- выход на компьютер, самописец, портативный принтер;
- компенсация отраженной энергии фона.

Для модели LT, LR диапазон измеряемых температур от  $-30$  до  $+1200$  °C, спектральная чувствительность 8–14 мкм.

Для модели 2M диапазон измеряемых температур от 200 до 1800 °C, спектральная чувствительность 1,53–1,74 мкм.

# Универсальная система измерения температуры



## THERMALERT GP

# Thermalert GP

---

**Thermalert GP** – универсальная система для непрерывного измерения температуры, в состав которой входит компактный недорогой монитор и инфракрасный датчик GPR и GPM.

При необходимости монитор оснащается релейным модулем для сигнализации по двум точкам, а также обеспечивает питание датчика.

Инфракрасные датчики необходимы в таких областях, где контактное измерение температуры повредит поверхность, например, пластиковой пленки, или загрязнит продукт, а также для измерения температуры движущихся или труднодоступных объектов.

# Thermalert GP

В пирометрах серии **Thermalert GP**:

- параметры монитора и датчика устанавливаются с клавиатуры монитора;
- обеспечена обработка результатов измерений: фиксация пиковых значений, вычисление средней температуры, компенсация температуры окружающей среды;
- предусмотрена стандартная или фокусная оптика;
- диапазоны сигнализации устанавливаются оператором;
- имеется возможность работы монитора GP с другими инфракрасными пирометрами фирмы Raytek, например, Thermalert CI и Thermalert TX.

Диапазон измеряемых температур от  $-18$  до  $+538$  °C.

# Бесконтактные инфракрасные датчики



THERMALERT TX

# Thermalert TX

---

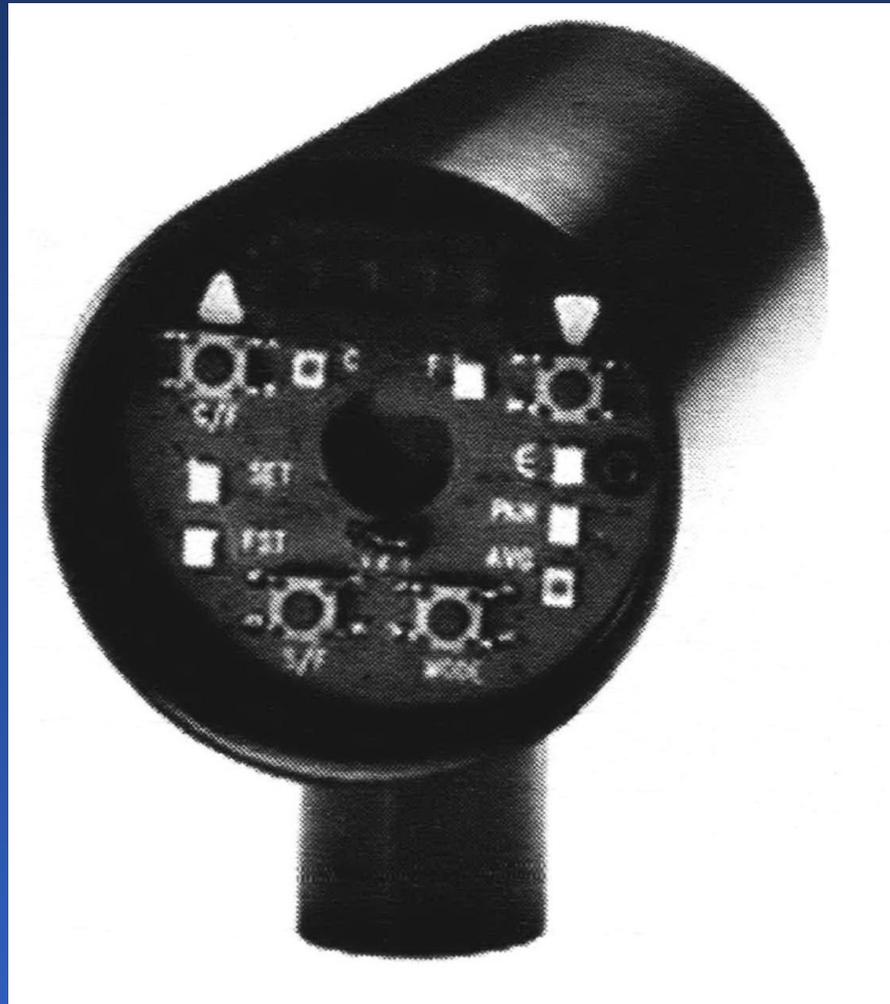
Стационарные бесконтактные инфракрасные датчики серии Thermalert TX предназначены для бесконтактного измерения температуры труднодоступных объектов и подключаются по двухпроводной линии связи к монитору, например, Thermalert GP.

Для модели LT диапазон измеряемых температур от  $-18$  до  $+500$  °С, спектральная чувствительность 8–14 мкм.

Для модели LTO диапазон измеряемых температур от 0 до 500 °С, спектральная чувствительность 8–14 мкм.

Для модели MT диапазон измеряемых температур от 200 до 1000 °С, спектральная чувствительность 3,9 мкм.

# Одноцветные пирометры



Marathon MA

# Пирометры спектрального отношения



Marathon MR1S

# Marathon MR1S

---

Стационарные инфракрасные пирометры спектрального отношения серии Marathon MR1S используют двухцветный метод измерения для получения высокой точности при работе с высокими температурами. Пирометры MR1S имеют улучшенную электронно-оптическую систему, "интеллектуальную" электронику, которые размещаются в прочном, компактном корпусе.

Эти пирометры – идеальное решение при измерении температуры в загазованных, задымленных зонах, движущихся объектов или очень маленьких объектов, поэтому находят применение в различных отраслях промышленности: плавке руды, выплавке и обработке металлов, нагреве в печах различных типов, в том числе индукционных, выращивании кристаллов и др.

# Marathon MR1S

---

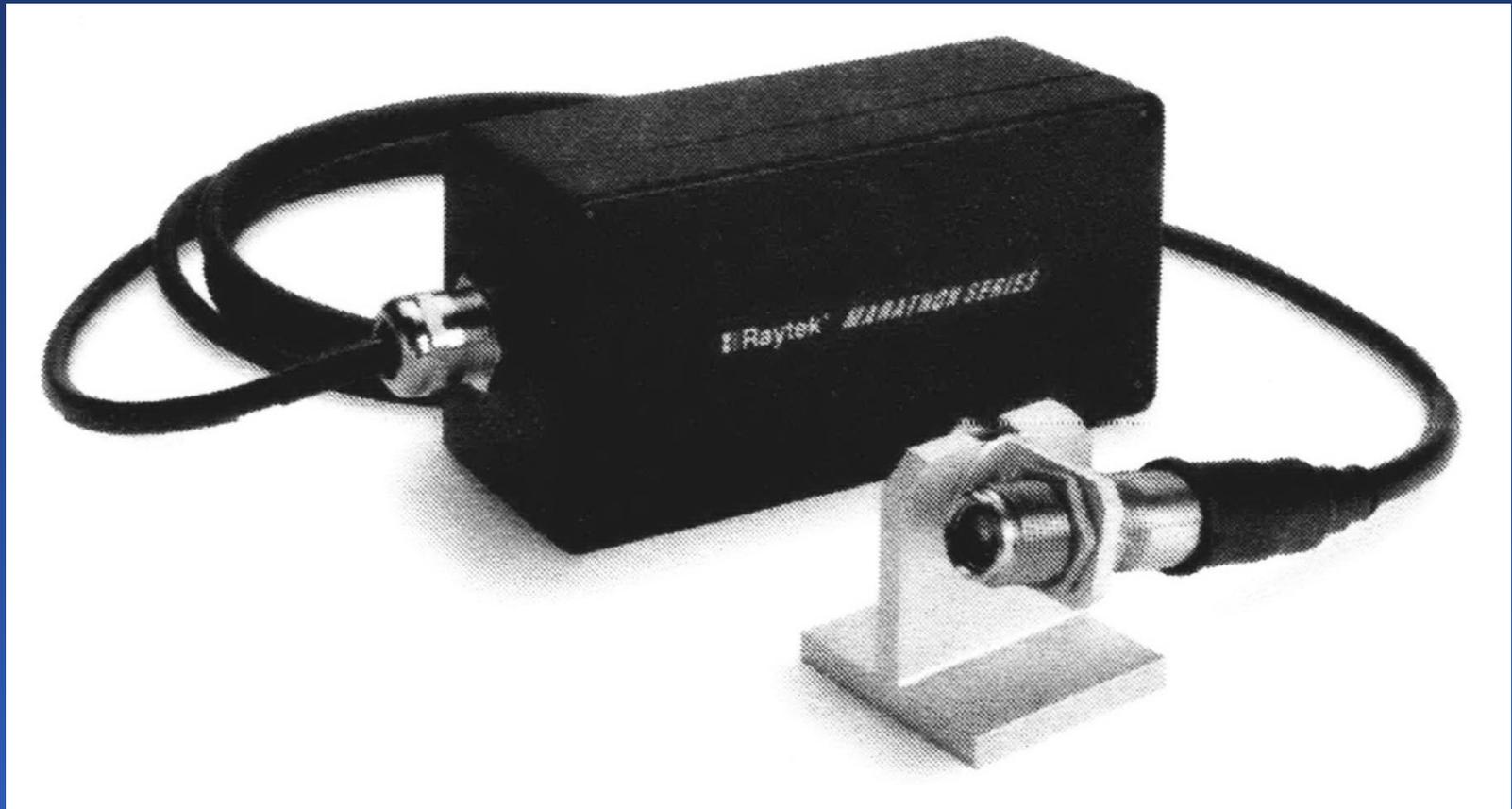
В пирометрах данной серии предусмотрено:

- одно - или двухцветный режим измерения;
- изменяемое фокусное расстояние;
- высокоскоростной процессор;
- программное обеспечение для "полевой" калибровки и диагностики;
- уникальное предупреждение о 'грязной' линзе;
- программное обеспечение Marathon DataTemp.

Для модели MRA1SA диапазон измеряемых температур от 600 до 1400 °С.

Для модели MRA1SC диапазон измеряемых температур от 1000 до 3000 °С.

# Оптоволоконные пирометры спектрального отношения



Marathon FibreOptic

# Marathon FR1

---

Стационарные пирометры серии Marathon FR1 используют технологию инфракрасного спектрального отношения, что обеспечивает высочайшую точность измерений в диапазоне от 500 до 2500 °С.

Пирометры позволяют измерять объекты, находящиеся в опасных и агрессивных зонах, и особенно применяются там, где невозможно использовать другие инфракрасные датчики. Они способны точно измерять температуру труднодоступных объектов, находящихся при высокой температуре окружающей среды, загрязненной атмосфере или сильных электромагнитных полях.

---

Инфракрасные измерительные датчики и оптоволоконная сборка выдерживают температуру окружающей среды до 200 °С. Для предотвращения скопления конденсата на линзах и их загрязнения может быть использована система воздухоочистки линз.

# Коммуникатор



Метран - 650

# Коммуникатор

---

Коммуникатор не является средством измерений.

Коммуникатор Метран-650 – портативное устройство, предназначенное для считывания информации, удаленной настройки и конфигурирования интеллектуальных полевых приборов (датчиков давления Метран-100, датчиков температуры Метран-280 и т. п.), поддерживающих HART-протокол.

Коммуникатор состоит из следующих частей:

- микропроцессор;
- HART модем с выходным и входным буферами;
- жидкокристаллический индикатор;
- клавиатура;
- зарядное устройство;
- автономный источник питания;
- стабилизаторы напряжения.

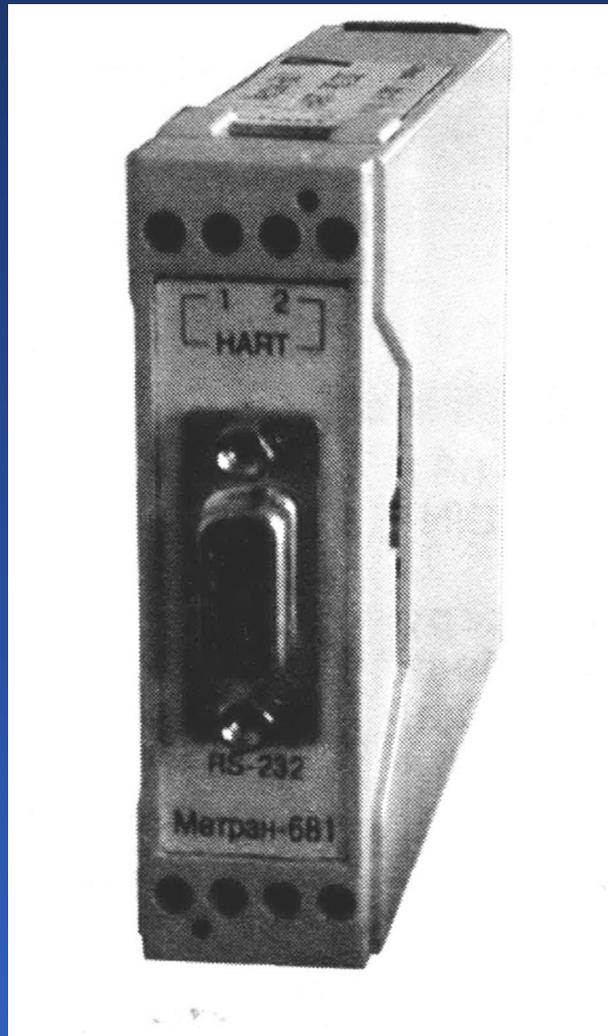


---

Основной частью коммутатора является микропроцессор, который:

- обрабатывает принятую от интеллектуальных датчиков информацию;
- управляет режимами работы всех остальных составных частей;
- следит за состоянием автономного источника питания.

# HART-модем



Метран-681

---

НART-модем Метран-681 предназначен для согласования (связи) персонального компьютера или системных средств АСУТП с интеллектуальными датчиками давления Метран-100, интеллектуальными преобразователями температуры Метран-280 и другими устройствами, поддерживающими НART-протокол.

Высокая надежность передачи данных.

Совместное использование с программой H-Master или с любым другим сертифицированным программным обеспечением (AMS, Visual Instrument).

# Измерение давления

---

Различают следующие виды давления:

- атмосферное (барометрическое), т. е. давление воздушного столба земной атмосферы;
- избыточное (манометрическое), т. е. превышение давления над атмосферным;
- абсолютное (полное), т. е. сумма атмосферного и избыточного давления.

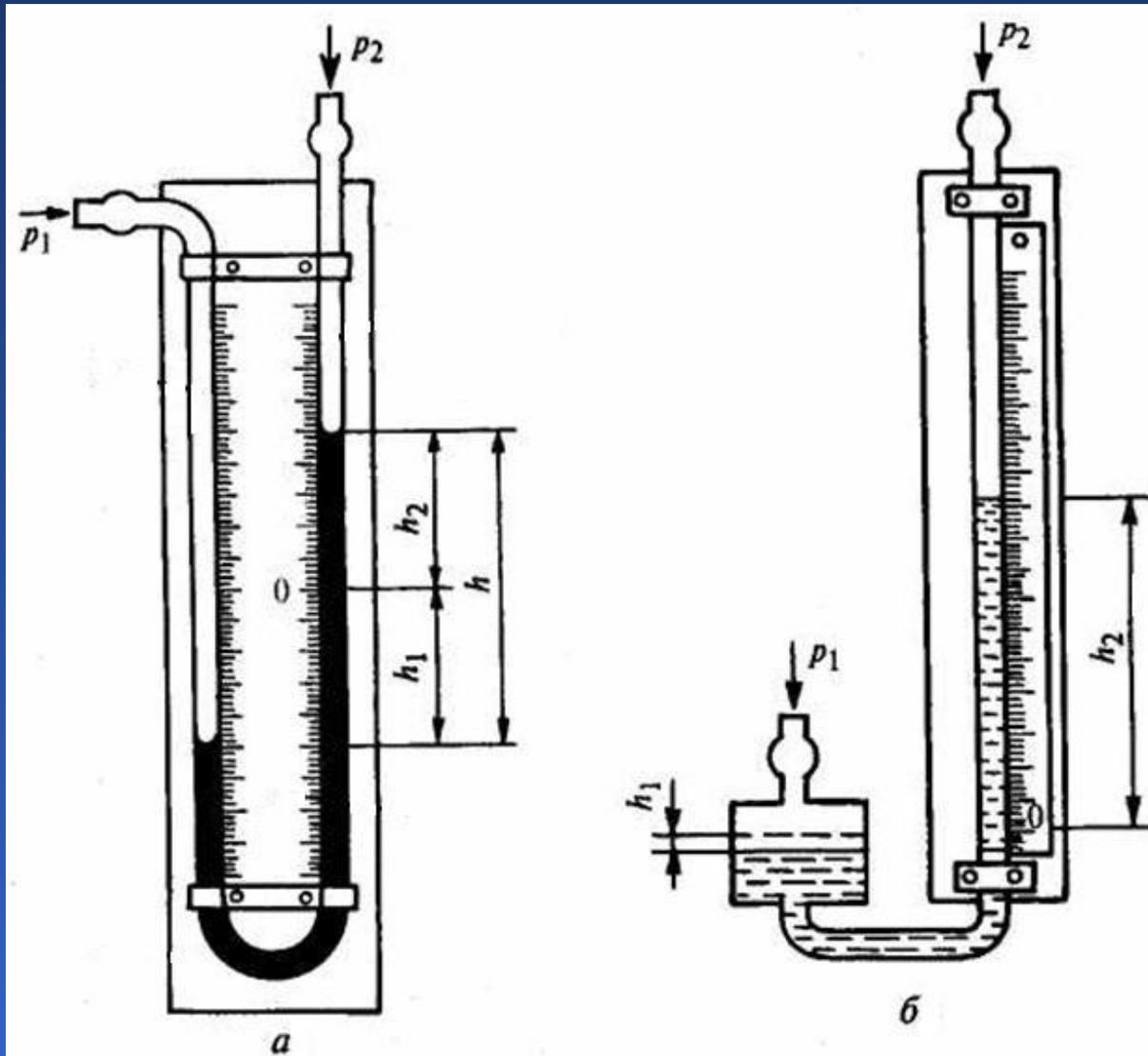
Если абсолютное давление меньше атмосферного, то избыточное давление становится отрицательным. В этом случае говорят о разрежении или вакууме.

# По виду измеряемого давления приборы подразделяют:

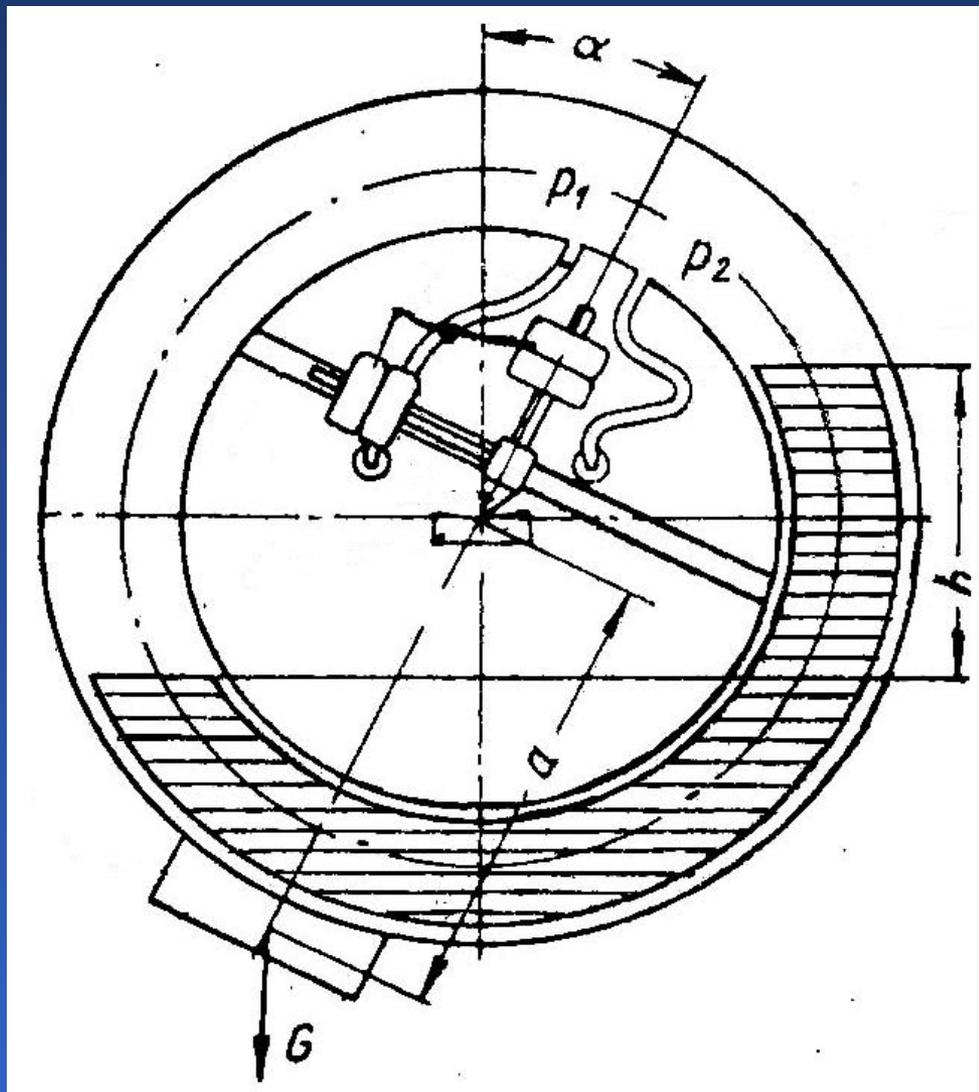
---

1. **Манометры** – для измерения избыточного и абсолютного давления.
2. **Барометры** – для измерения атмосферного давления.
3. **Вакуумметры** – для измерения вакуума (разрежения).
4. **Мановакуумметры** – для измерения избыточного давления и вакуума (разрежения).
5. **Напоромеры (микроманометры)** – приборы для измерения малых избыточных давлений (до 40 кПа).
6. **Тягомеры (микроманометры)** – приборы для измерения малых разрежений (с верхним пределом измерения не более 40кПа).
7. **Тягонапоромеры (микроманометры)** – приборы для измерения малых давлений и разрежений (с диапазоном измерений от –20 до +20 кП).
8. **Дифференциальные манометры** – приборы для измерения разности двух давлений, ни одно из которых не является давлением окружающей среды.

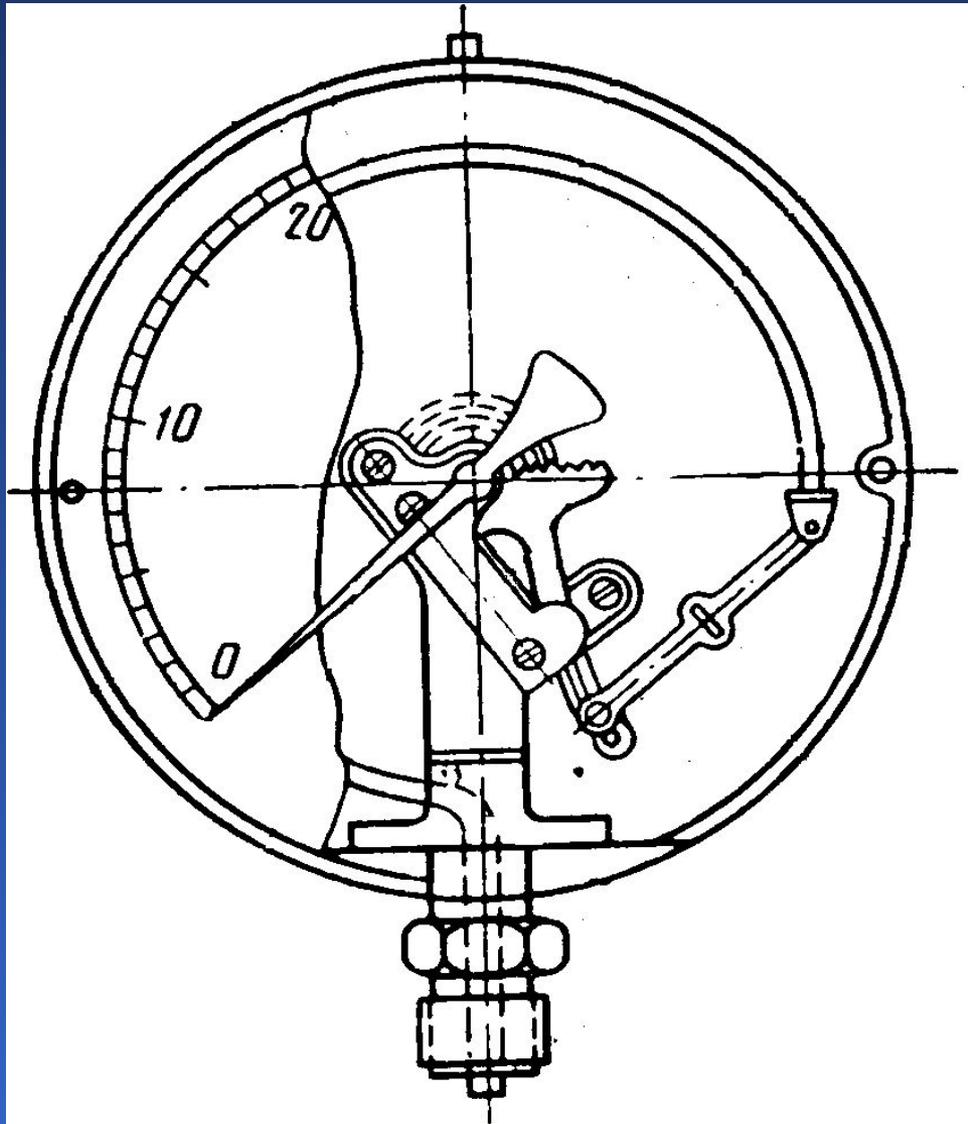
# Схемы U-образного манометра (а) и чашечного манометра (б)



# Дифманометр типа «кольцевые весы»



# Манометр с одновитковой трубчатой пружиной



# Коррозионностойкие датчики давления



МЕТРАН-49

# Измеряемые среды

---

**Измеряемые среды** – агрессивные среды с высоким содержанием сероводорода, нефтепродукты, сырая нефть и другие, по отношению к которым материалы датчика, контактирующие с измеряемой средой, являются коррозионностойкими.

Основная погрешность измерений до  $\pm 0,15\%$  от диапазона.

# Метран-49

---

Коррозионностойкие интеллектуальные датчики давления Метран-49 предназначены для работы в системах автоматического контроля, регулирования, управления технологическими процессами и обеспечивают непрерывное преобразование в унифицированный аналоговый токовый выходной сигнал и/или цифровой сигнал в стандарте протокола HART.

# Датчики давления 3051S



# 3051S Super Module

---

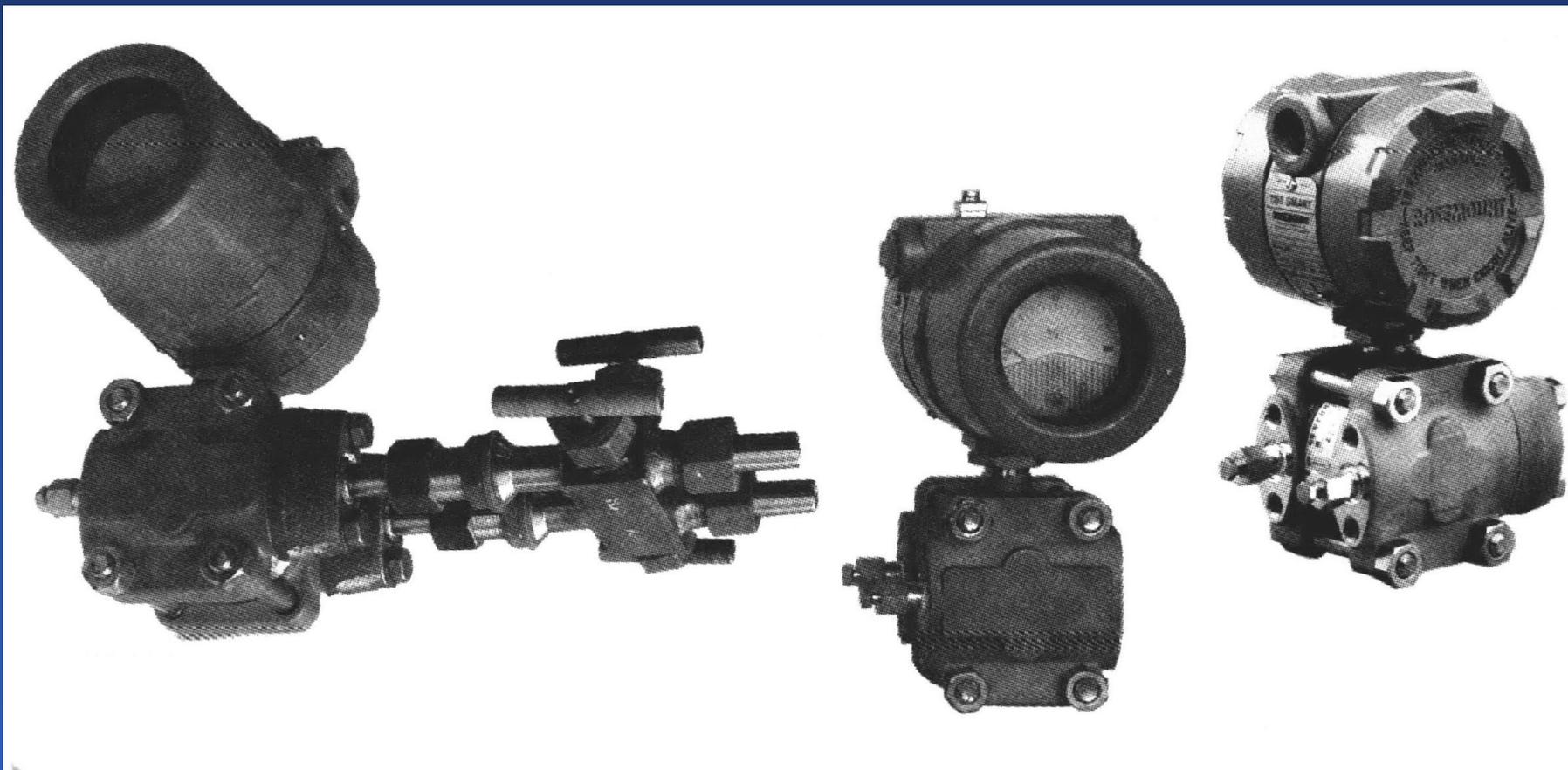
Датчики давления 3051S Super Module (супер модуль) – новейшая разработка XXI века, с минимальными дополнительными погрешностями, вызванными влияниями изменения температуры окружающей среды и статического давления. Используются для высокоточных технологических процессов и коммерческого учета дорогостоящих продуктов.

Верхние границы диапазонов измерений от  $-13,8$  до  $+68,9$  МПа.

Температура окружающей среды: от  $-40$  до  $+85$  °С.

Температура измеряемой среды: от  $-40$  до  $+149$  °С.

# Датчики давления 1151



# Датчики давления 1151

---

Измеряемая среда: газ, жидкости (в т. ч. агрессивные), пар.

Диапазоны верхних пределов измерений, кПа:

- абсолютное давление 6,22–6895;
- избыточное давление 0,18–41369;
- перепад давлений 0,18–895;
- гидростатическое давление (уровень) 6,2–689,5.

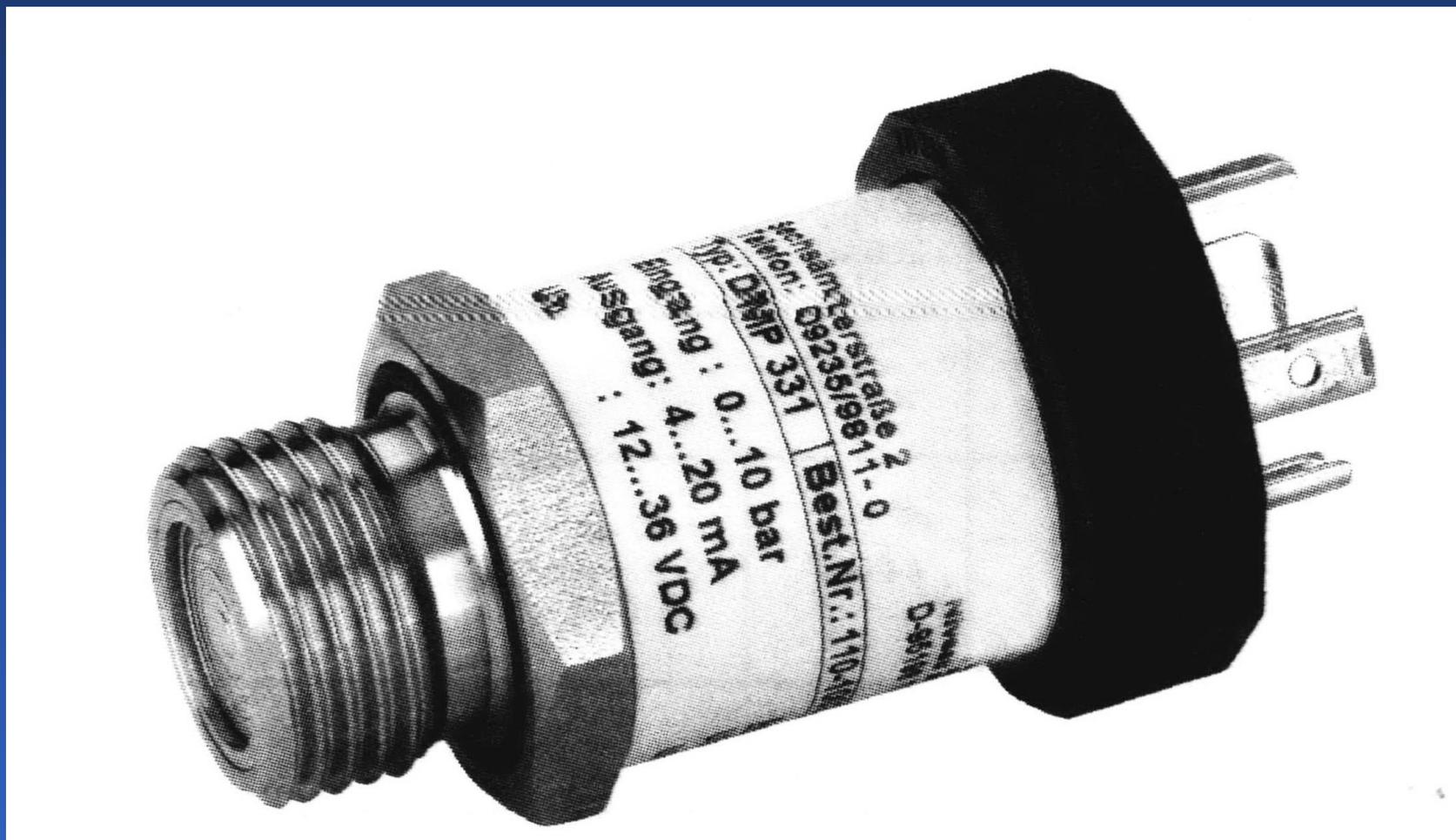
Предел допускаемой основной приведенной погрешности  $\pm 0,075$  %.

# Датчики давления 1151

---

Высокоточные интеллектуальные датчики давления серии 1151 обыкновенного и взрывозащищенного исполнений предназначены для точных измерений абсолютного, избыточного давлений, разности давлений газов, паров (в т.ч. насыщенных), жидкостей, уровня жидкостей (в т.ч. нагретых, химически активных) и дистанционной передачи выходных сигналов в системы автоматического контроля, регулирования и управления технологических процессов.

# Датчик давления МЕТРАН-55-ДМП 331



# Датчик давления МЕТРАН-55-ДМП 331

Измеряемые среды: жидкость, пар, газ.

Диапазон измеряемых давлений: минимальный – 0–4 кПа (избыточное), 0–10 кПа – абсолютное, максимальный – 0–4 МПа.

Погрешность измерений:  $\pm 0,25$  %;  $\pm 0,3$  %;  $\pm 0,5$  %ВПИ.

Температура измеряемой среды:

- от  $-40$  до  $+125$  °С.

Температура окружающей среды :

- от 0 до  $+50$  °С (ВПИ до 40 кПа);
- от 0 до  $+70$  °С (ВПИ  $> 40$  кПа).

дополнительно:

- от  $-20$  до  $+50$  °С;
- от  $-40$  до  $+70$  °С.

# Метран-55-ДМП 331

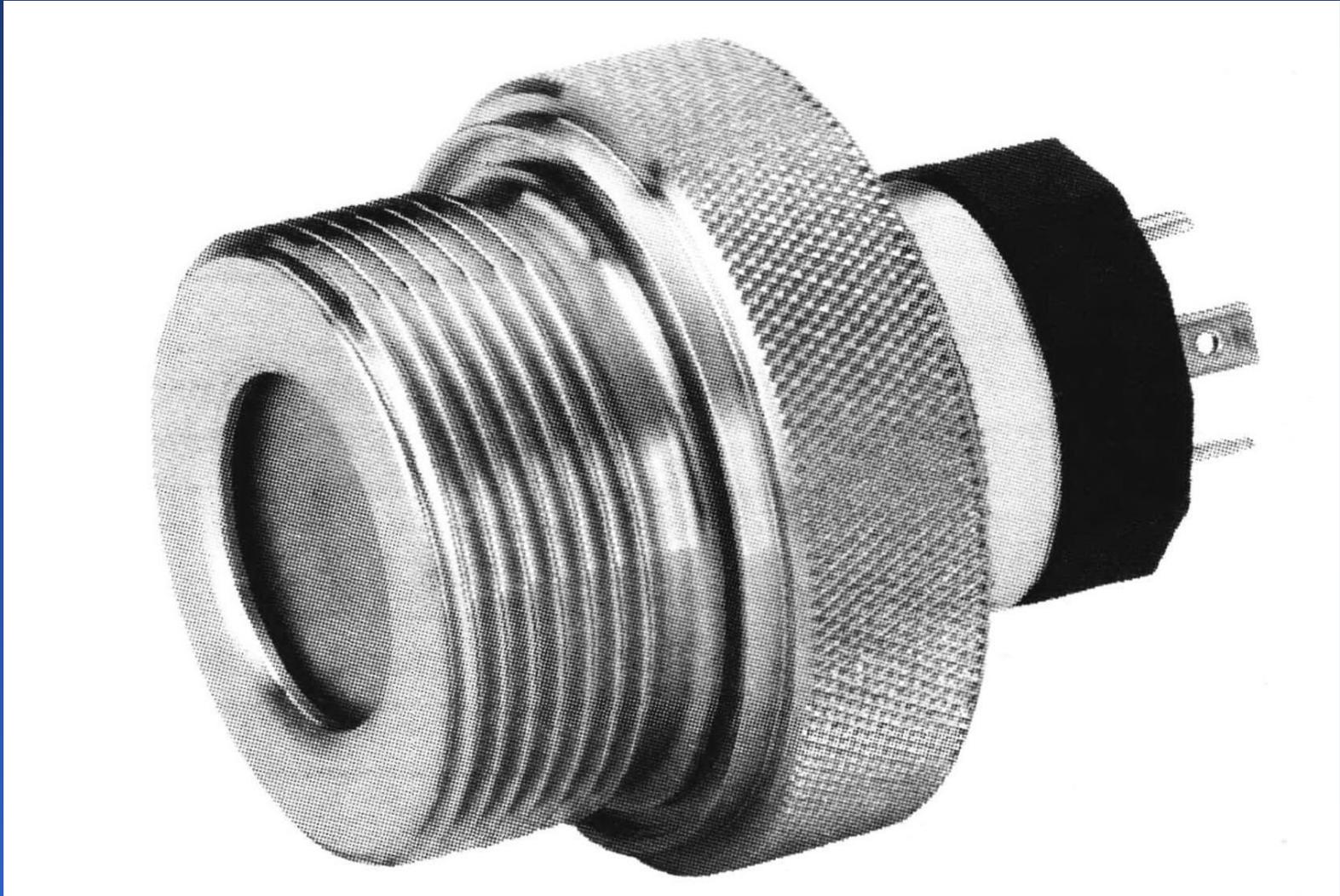
---

Метран-55-ДМП 331 – универсальный датчик давления для различных отраслей промышленности, пропорционально преобразующий абсолютное или избыточное давление рабочей среды в электрический сигнал.

Достоинства:

- прочная и надёжная конструкция для тяжелых условий эксплуатации;
- корпус датчика изготовлен из нержавеющей стали;
- различные варианты электрических и механических соединений;
- коррозионно-стойкий металлический корпус для полевых условий.

# Датчик давления МЕТРАН-55-ЛМК 351



# Датчик давления МЕТРАН-55-ЛМК 351

---

Измеряемые среды: жидкость, пар, газ.

Диапазон измеряемых давлений:

минимальный – 0–4 кПа (0,4 м вод.ст.);

максимальный – 0–1 МПа (100 м вод.ст.).

Выходной сигнал: 4–20 мА.

Погрешность измерений:  $\pm 0,35$  %ВПИ.

Температура измеряемой среды:

- от  $-25$  до  $+125$   $^{\circ}\text{C}$ .

Температура окружающей среды :

- от  $-25$  до  $+85$   $^{\circ}\text{C}$ .

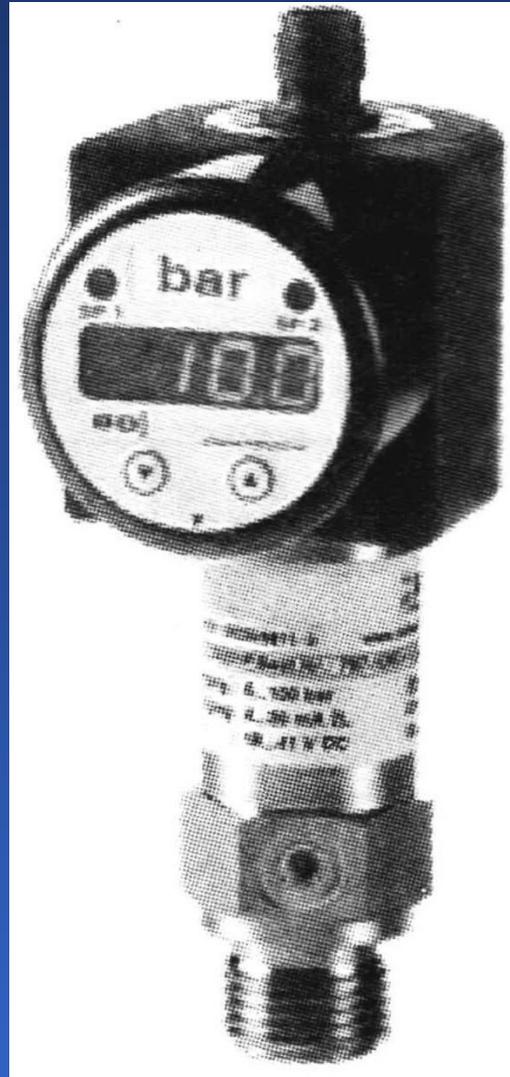
# Датчик давления МЕТРАН-55-ЛМК 351

---

Метран-55-ЛМК 351 – датчик давления с емкостным керамическим сенсором. Предназначен для измерения уровня или избыточного давления различных сред, в том числе вязких, пастообразных или сильно загрязненных.

Отличительной особенностью керамического датчика является его устойчивость к воздействию агрессивных сред.

# Многофункциональный датчик давления Метран-55-ДС



# Метран-55-ДС

Измеряемые среды: жидкость, пар, газ.

Диапазон измеряемых давлений: минимальный – 0–4 кПа (избыточное), 0–10 кПа (абсолютное), максимальный – 0–60 МПа.

Погрешность измерений:  $\pm 0,35$  %ВПИ (стандартно) (ВПИ > 40 кПа).

Выходные сигналы: 4–20 мА, 0–10 В.

Температура измеряемой среды: от –25 до +125 °С.

Температура окружающей среды:

- от 0 до 50 °С (ВПИ до 40 кПа);
- от 0 до 70 °С (ВПИ > 40 кПа).

# Метран-55-ДС

---

Многофункциональный датчик давления Метран-55-ДС 200 предназначен для работы во всех типах сред, неагрессивных к нержавеющей стали, и представляет собой удачное сочетание нескольких устройств:

- прецизионный датчик давления;
- программируемый переключатель давления с релейным выходом;
- цифровой дисплей.

# Измерение расхода, количества жидкостей и газов

---

**Расход вещества** – это количество вещества, проходящее в единицу времени через сечение трубопровода, канала и т.п.

**Количество вещества** – это суммарный объем или масса вещества, хранящаяся в каких-либо емкостях или выданные потребителю за любой произвольный интервал времени.

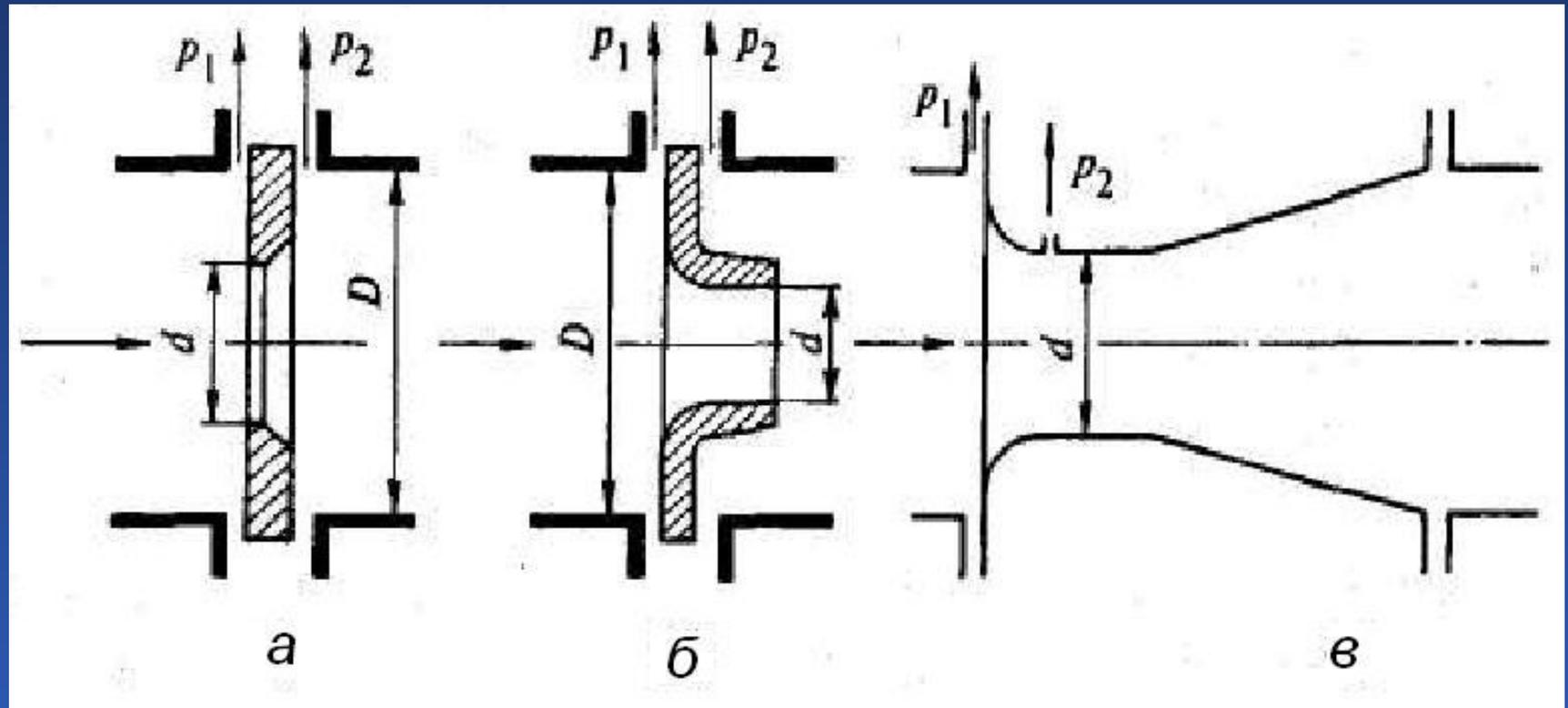
Приборы, измеряющие расход, называют **расходомерами**. Количество вещества измеряется при помощи счетчиков и весов.

---

В соответствии с применяемыми методами измерений измерительные приборы подразделяют на следующие группы:

- расходомеры переменного перепада давления
- расходомеры постоянного перепада давления
- вихревые, расходомеры электромагнитные
- ультразвуковые
- калориметрические
- дозирующие устройства

# Расходомеры переменного перепада давления



Стандартные сужающие устройства:  
*а* – диафрагма; *б* – сопло; *в* – сопло Вентури

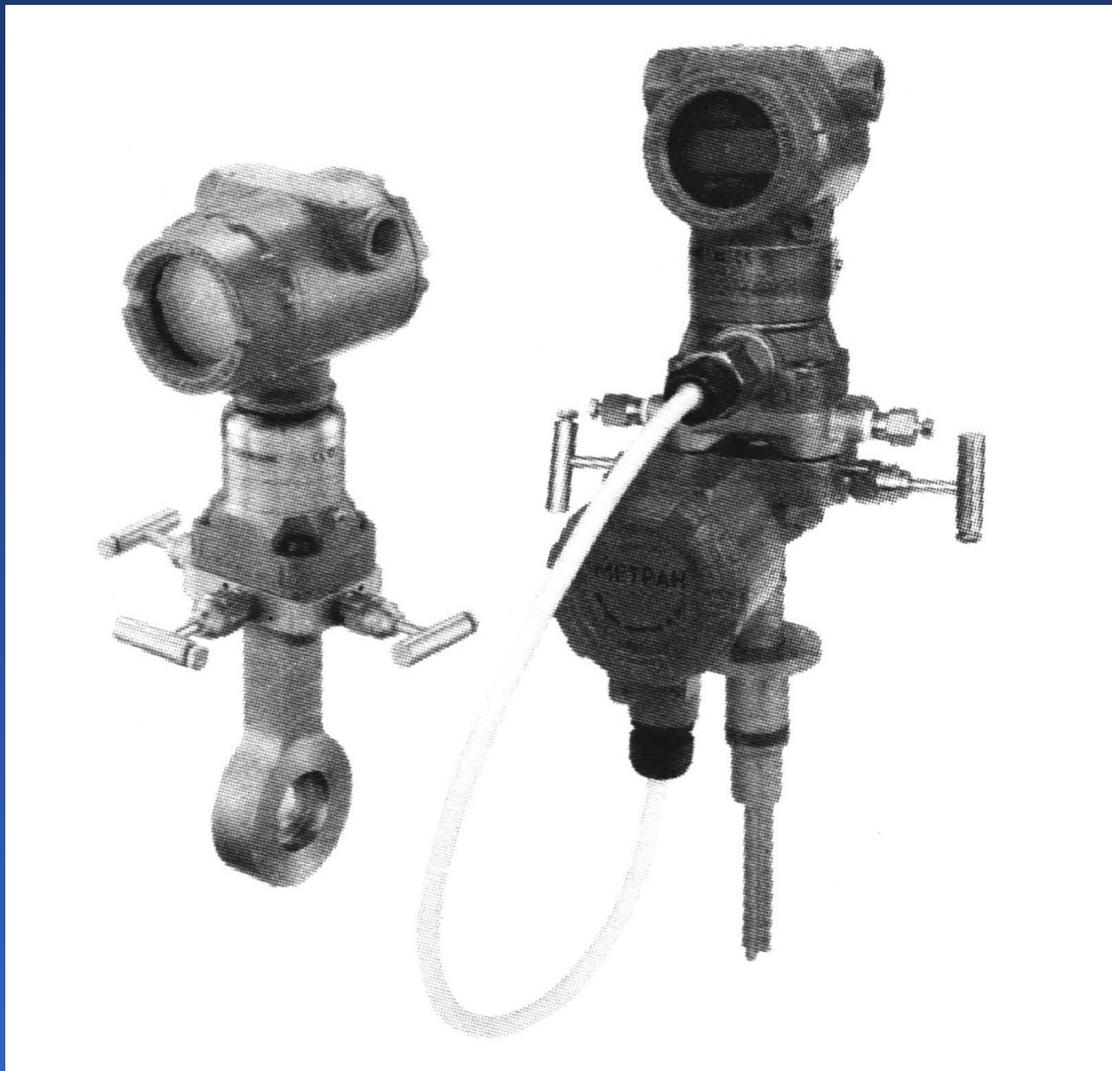
Для практического использования применяют следующие уравнения для определения объемного  $Q$  и массового расхода  $Q_m$ :

$$Q = 0,01252 \cdot a \cdot \varepsilon \cdot d^2 \sqrt{\Delta p / \rho}$$

$$Q_m = 0,01252 \cdot \varepsilon \cdot d^2 \sqrt{\Delta p / \rho}$$

где  $\varepsilon$  – поправочный множитель, учитывающий изменение плотности среды;  $a$  – коэффициент расхода, безразмерная величина, определяемая экспериментально, показывает, во сколько раз действительный расход отличается от теоретического;  $d$  – диаметр сужающего отверстия, м;  $\rho$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $\Delta p$  – перепад давления, создаваемый сужающим устройством, Па.

# Расходомер перепада давлений



# Расходомер перепада давлений

Нормализованные сужающие устройства могут применяться в трубопроводах диаметром не менее 50 мм при значениях модуля  $m$ , равного квадрату отношений площадей проходных сечений сужающего устройства и трубопровода:

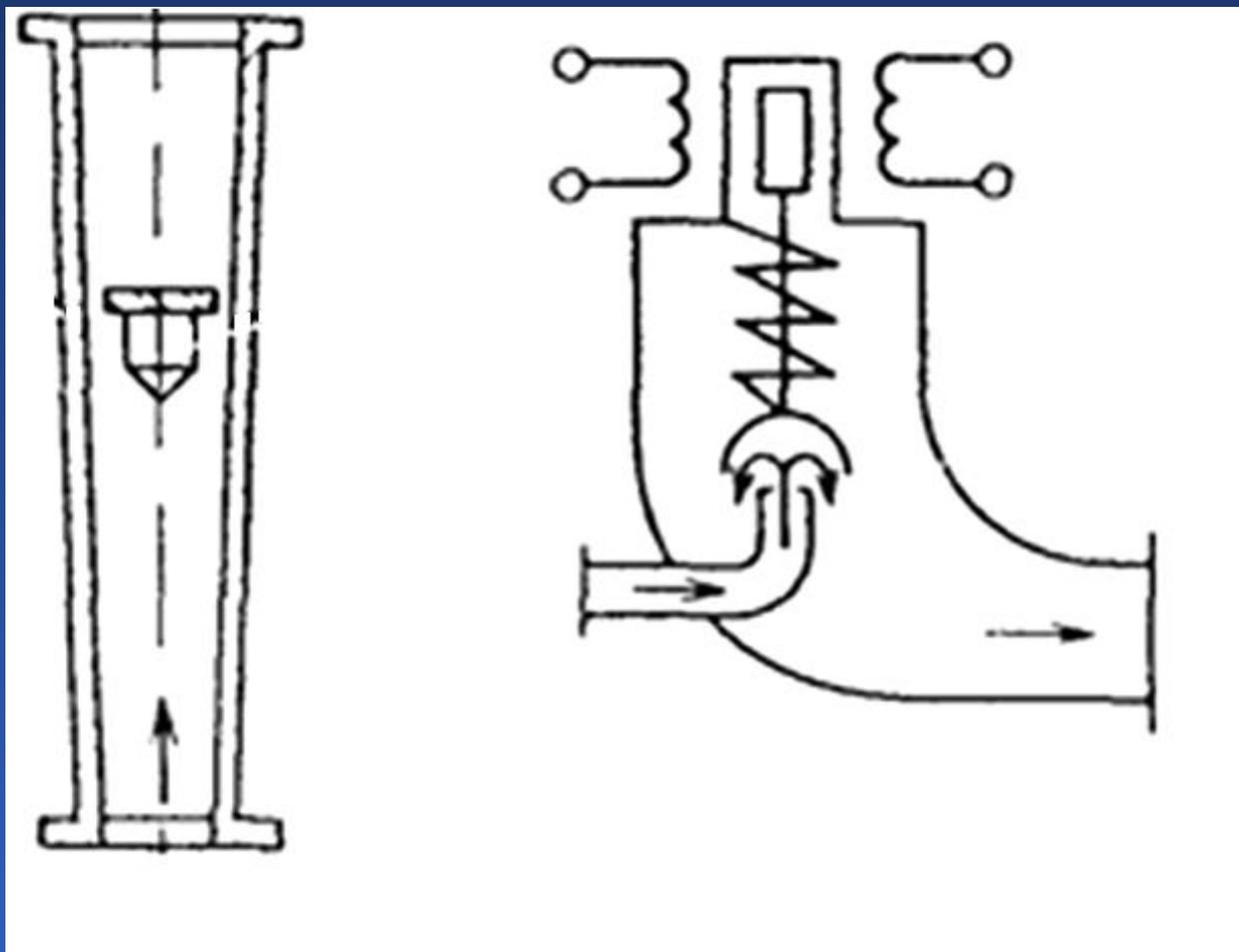
$$m = \frac{d^2}{D^2} .$$

Для диафрагм  $m=0,5-0,7$ ,

для сопел  $m=0,05-0,65$ ,

для сопел Вентури  $m=0,05-0,6$ .

# Расходомеры постоянного перепада давления



Схемы расходомеров обтекания

Объемный расход вещества можно подсчитать по формуле

$$Q = C \cdot (S_k - S_{\Pi}) \sqrt{\Delta p / \rho} ,$$

где  $S_{\Pi}$  – площадь верхней торцевой поверхности поплавка;

$S_k$  – площадь сечения конической трубки в положении равновесия поплавка (его верхней торцевой поверхности);

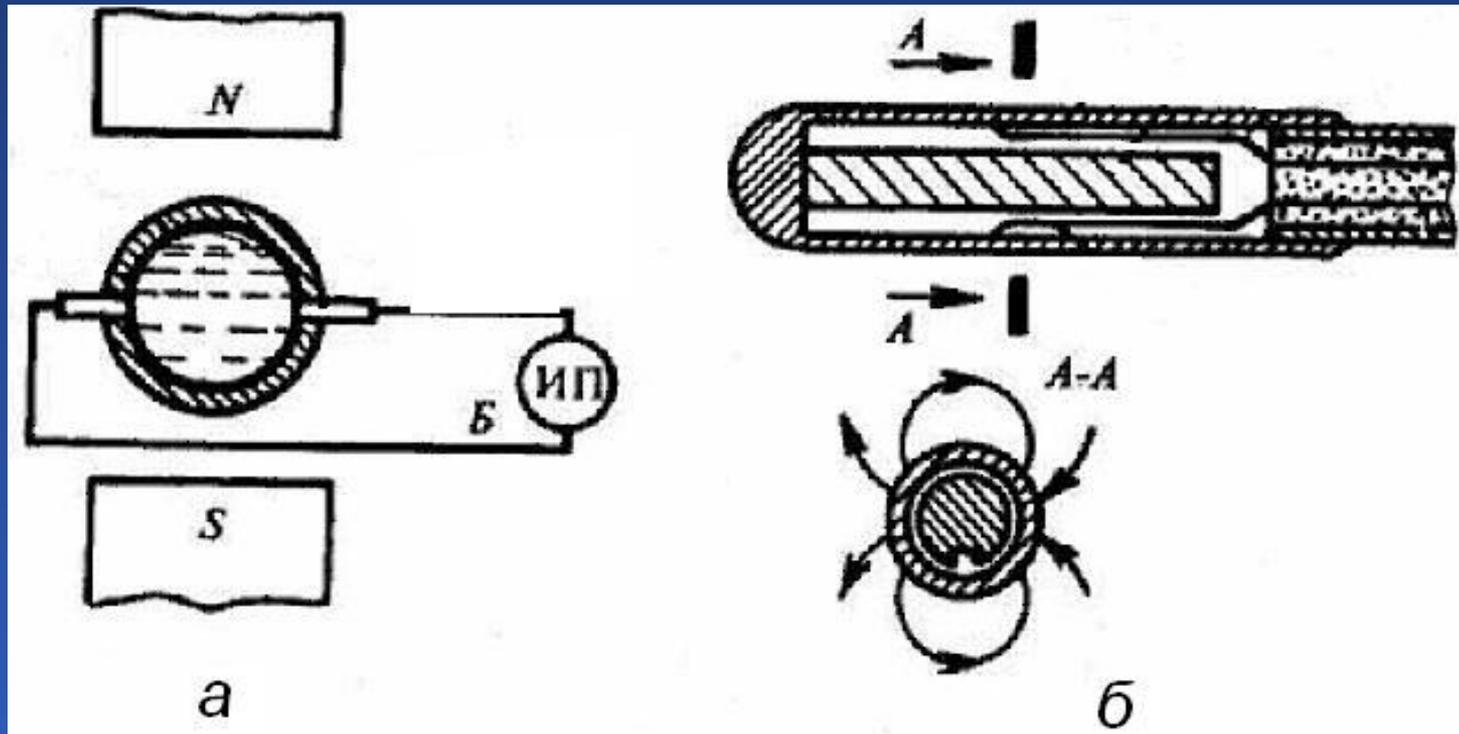
$\rho$  – плотность измеряемой среды;

$\Delta p$  – перепад давления;

$C$  – коэффициент, зависящий от размеров и конструкции ротаметра.

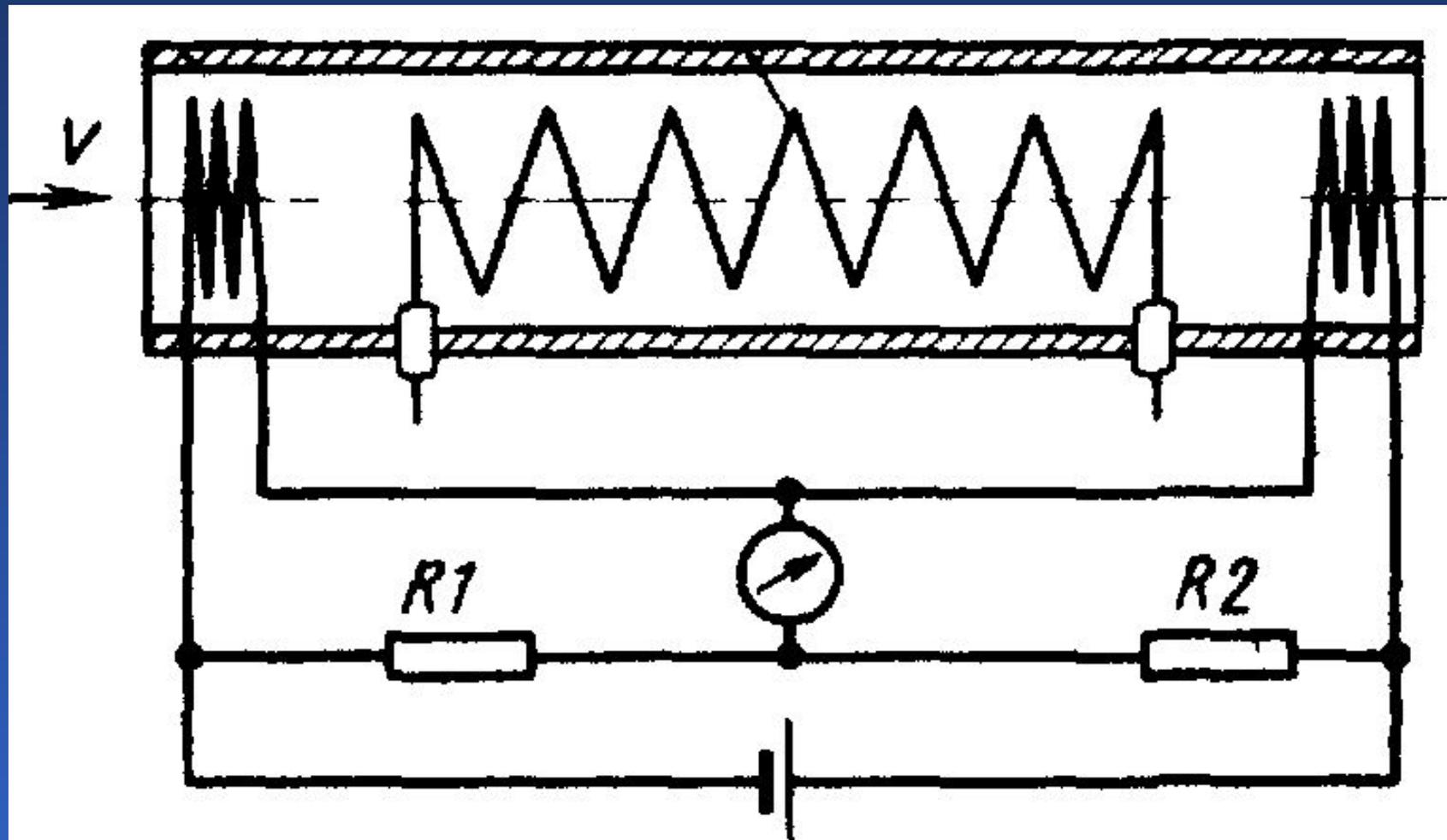
# Электромагнитные расходомеры

## Схема преобразователей электромагнитных расходомеров



а – с внешним магнитом; б – с внутренним магнитом

# Калориметрические (тепловые) расходомеры



# Уравнение теплового баланса

---

$$q_t = k \cdot Q_m \cdot C_p \cdot \Delta t ,$$

где  $q_t$  – количество теплоты, отдаваемой нагревателем газу;  
 $k$  – поправочный коэффициент на неравномерность распределения температуры по сечению трубы;

$Q_m$  – массовый расход газа;

$\Delta t$  – разность температур нагреваемой среды до и после нагревателя;

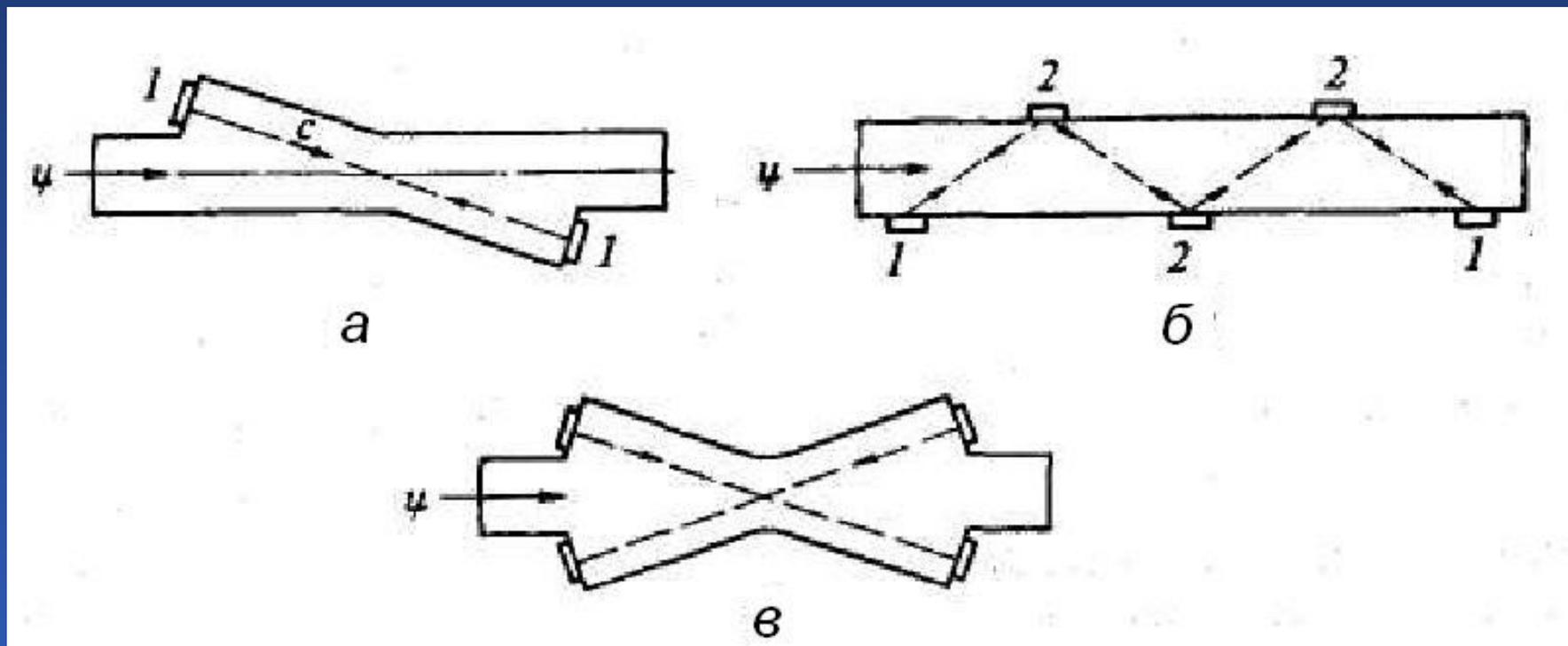
$C_p$  – удельная теплоемкость газа при температуре  $t = (t_1 + t_2)/2$ .

Из равенства приведённого выше следует:

$$Q_m = q_t / k \cdot C_p \cdot \Delta t .$$

# Ультразвуковые расходомеры

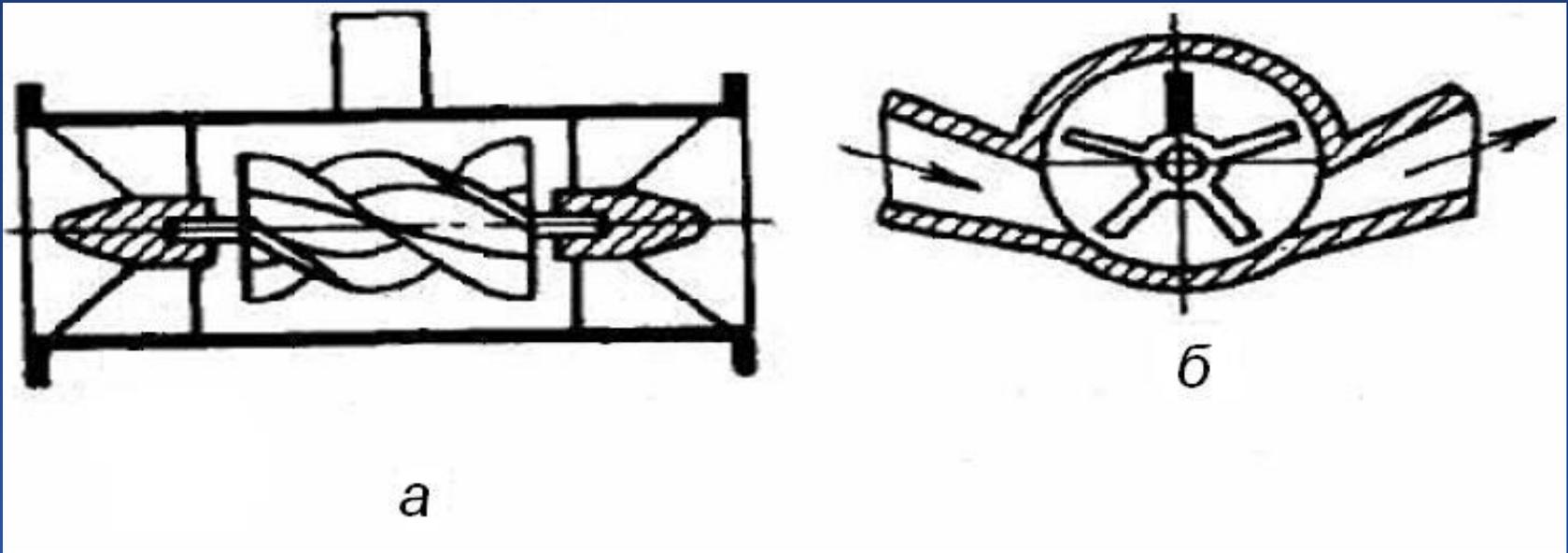
Схемы ультразвуковых преобразователей расходомеров



а – одноканального;

б – с отражателями; в – двухканального

# Устройство турбинных преобразователей расхода



*a* – четырехлопастная турбина  
*б* – турбина одноструйных водосчетчиков



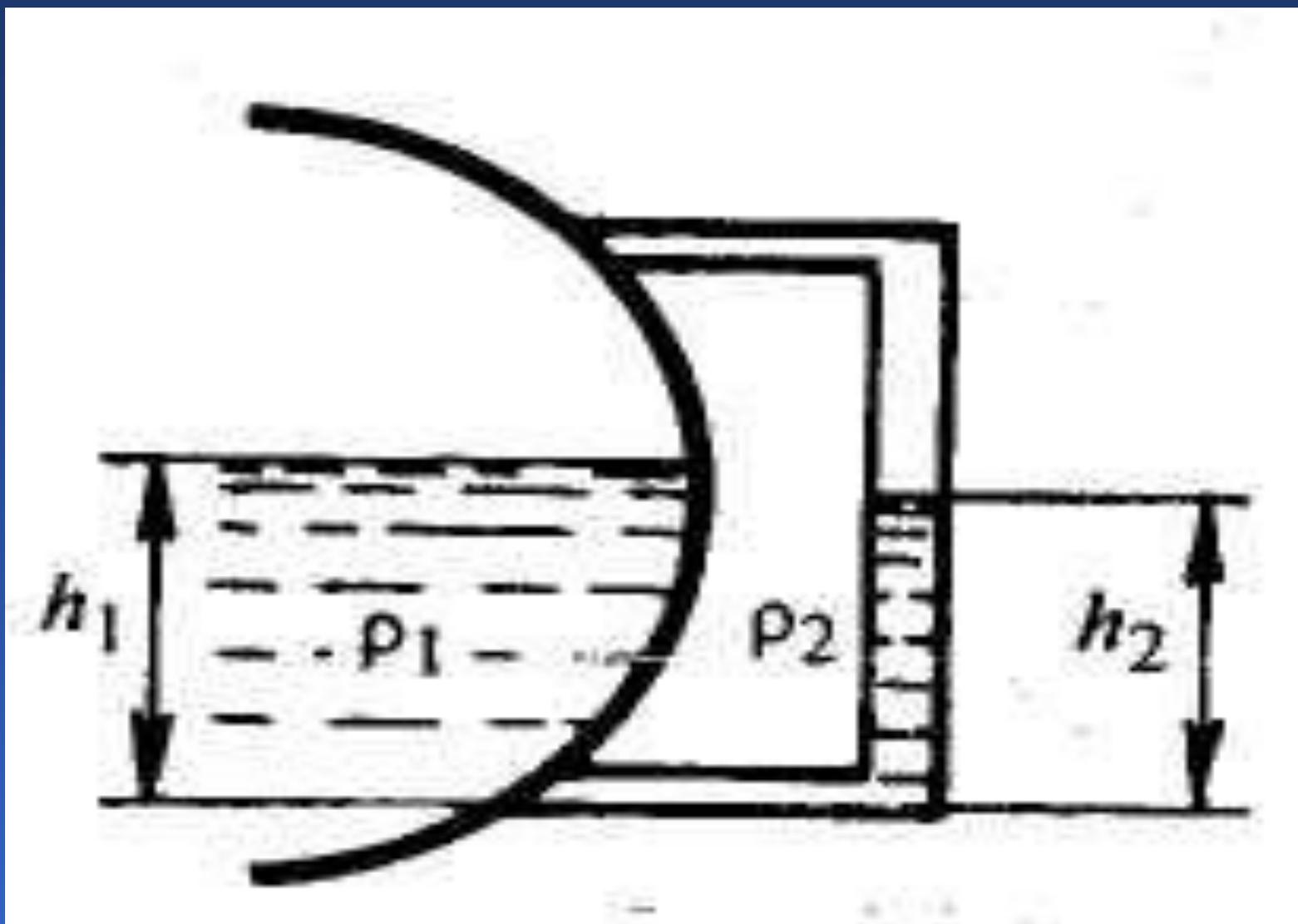
# Измерение уровня

---

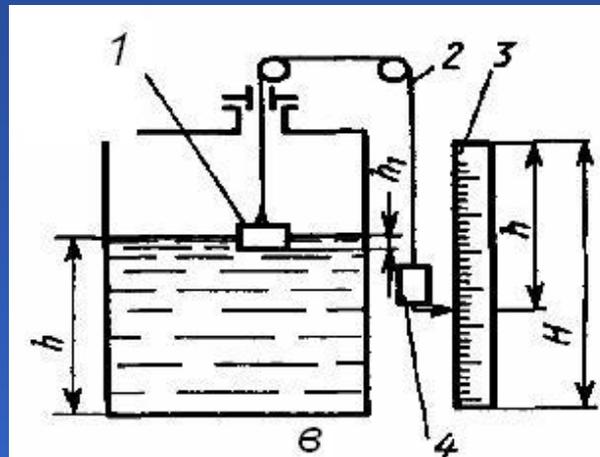
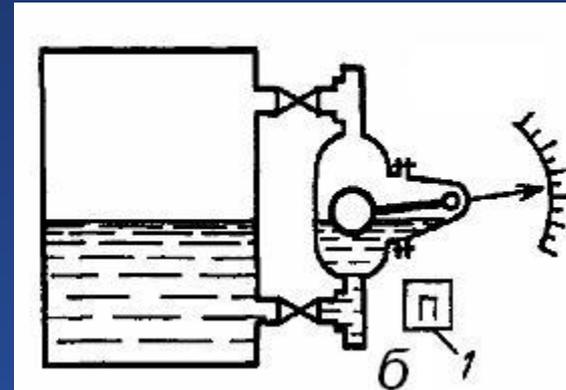
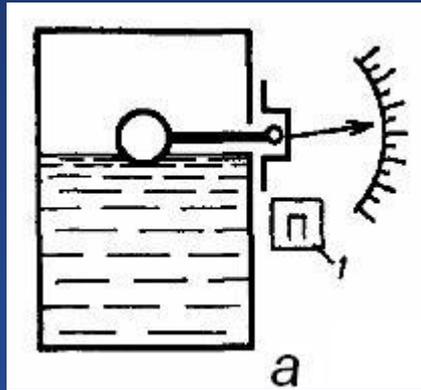
**Уровнем** называют высоту заполнения технологического аппарата рабочей средой – жидкостью или сыпучим материалом.

Технические средства для измерения уровня называются **уровнемерами**. Приборы, предназначенные для сигнализации предельных значений уровня рабочей среды, называются **сигнализаторами уровня**.

В производственной практике для измерения уровня применяются указательные стекла, поплавковые, буйковые, гидростатические, электрические, ультразвуковые и радиоизотопные уровнемеры.



# Поплавковые уровнемеры



# Приборы для измерения уровня

Схема измерения уровня гидростатическим уровнемером

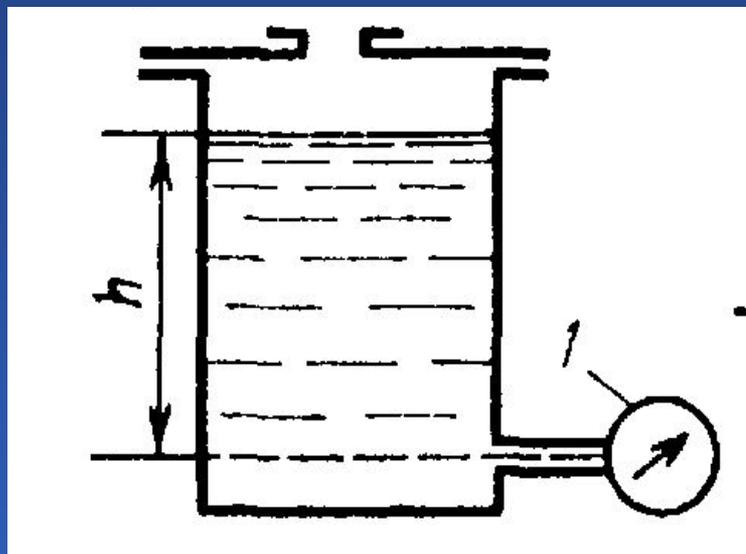
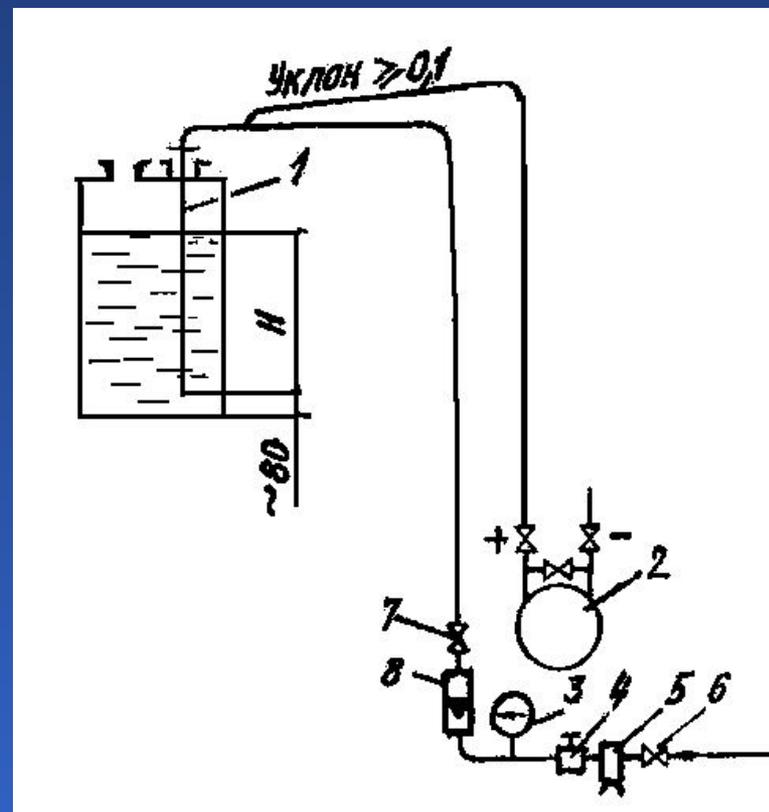
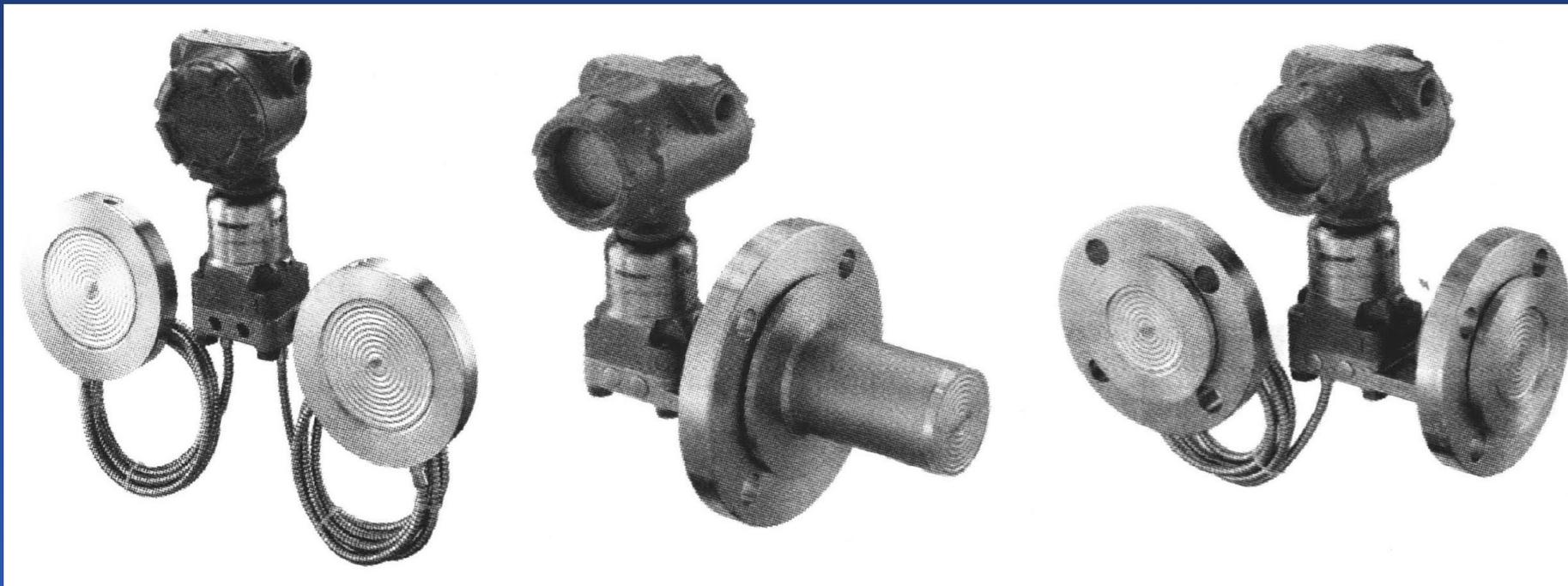


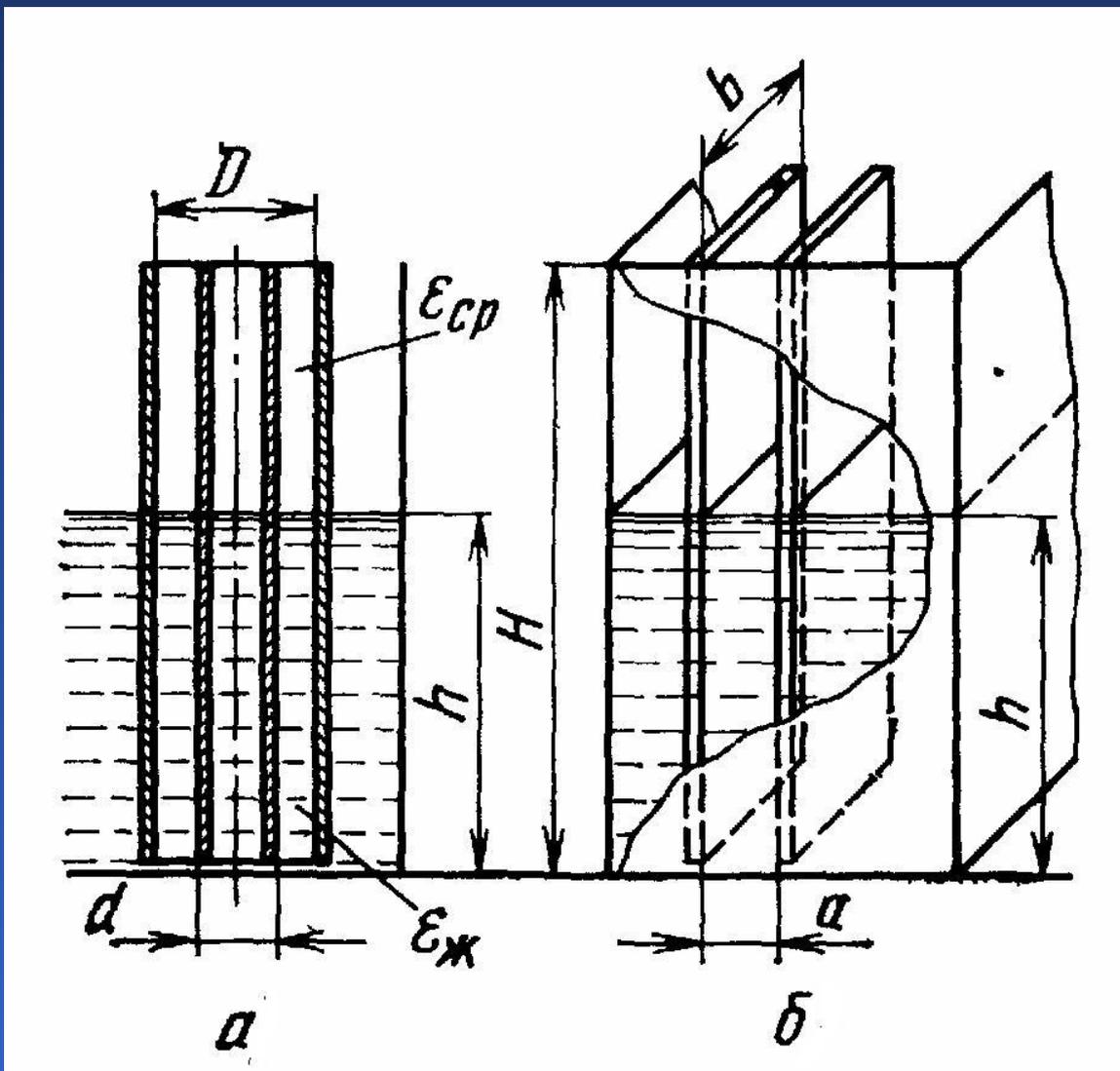
Схема пьезометрического уровнемера



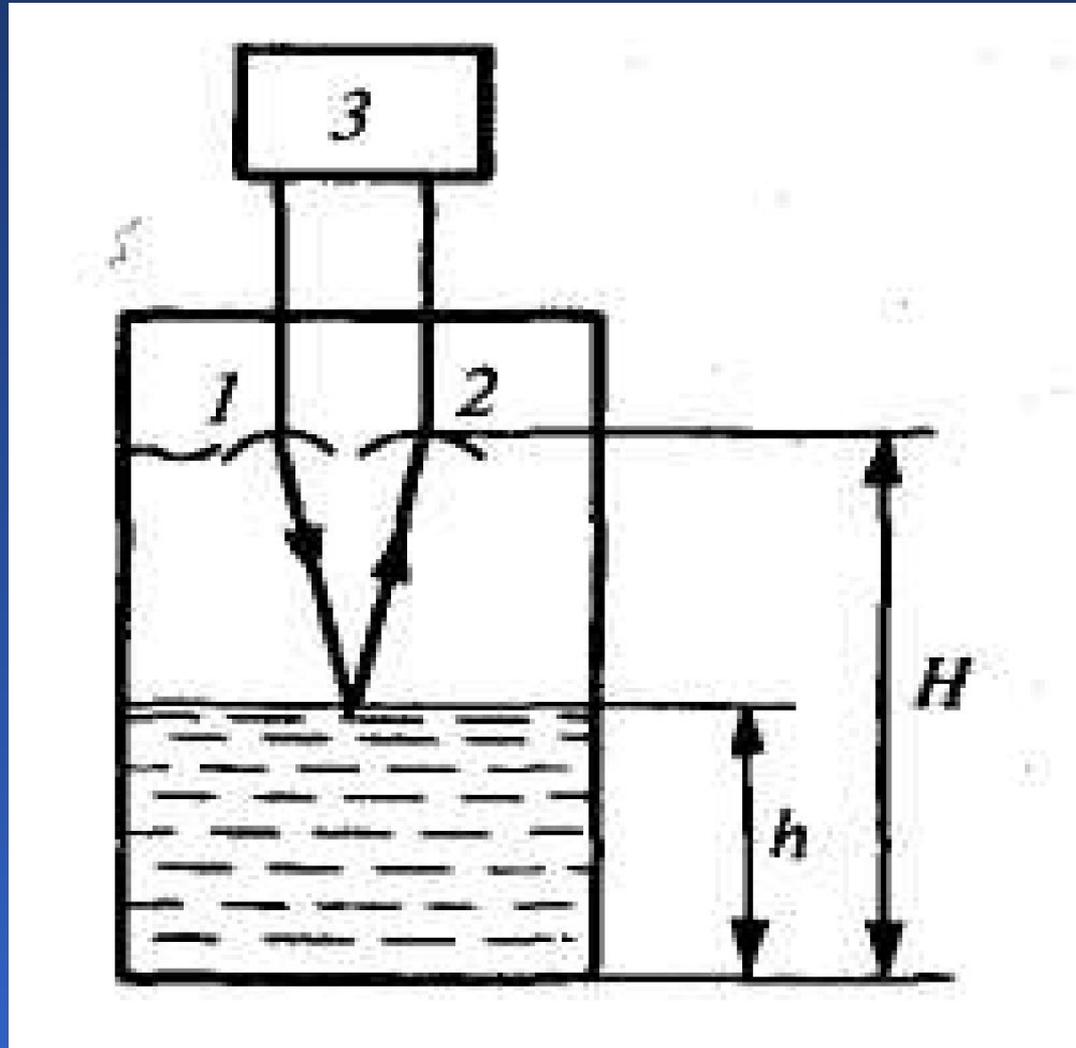
# Гидростатические уровнемеры



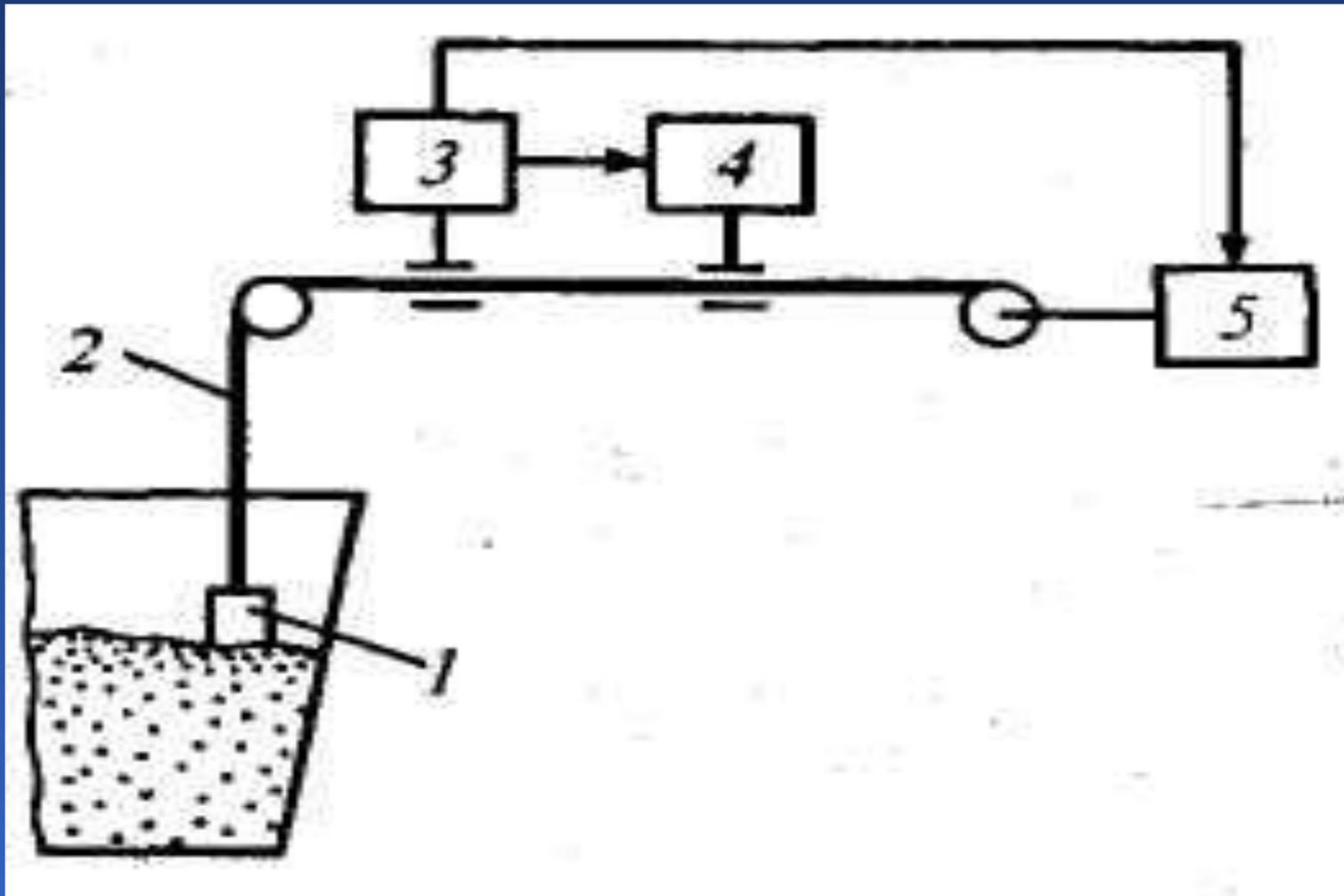
# Схемы емкостных преобразователей (датчиков) уровнемеров



# Ультразвуковые и радиолокационные уровнемеры

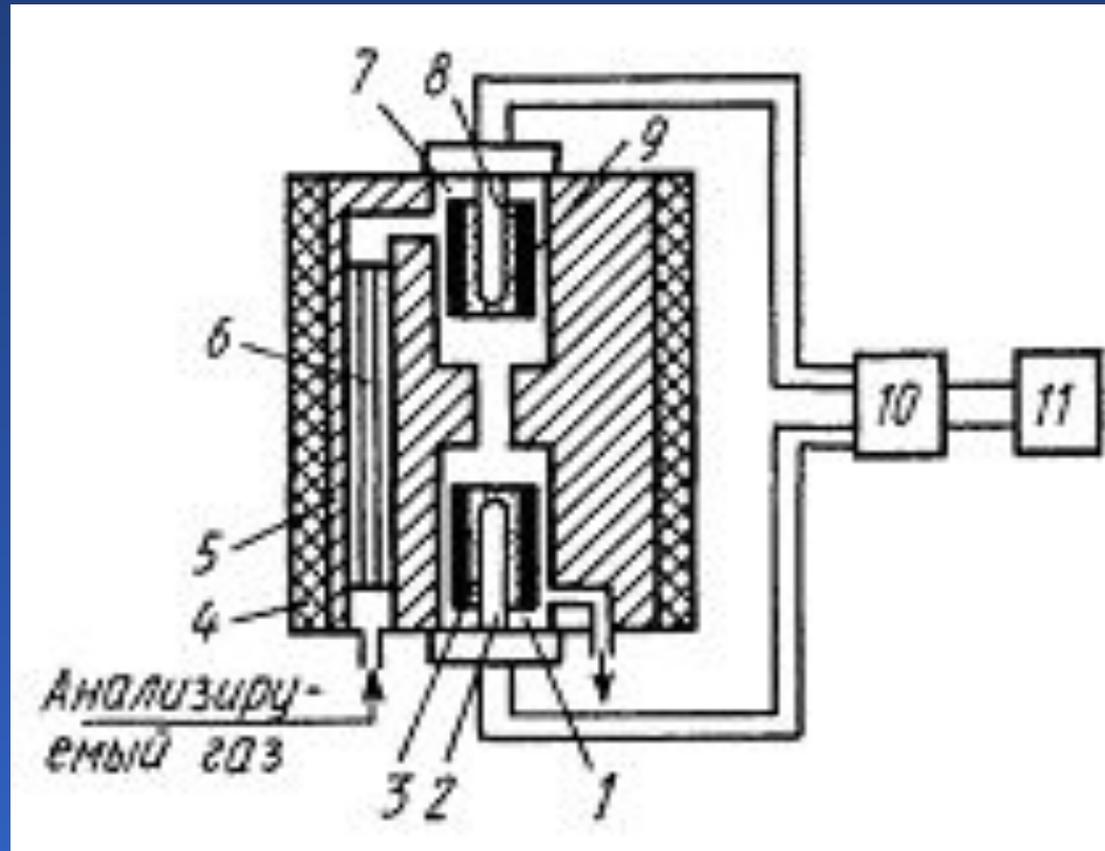


# Схема лотового уровнемера сыпучих материалов

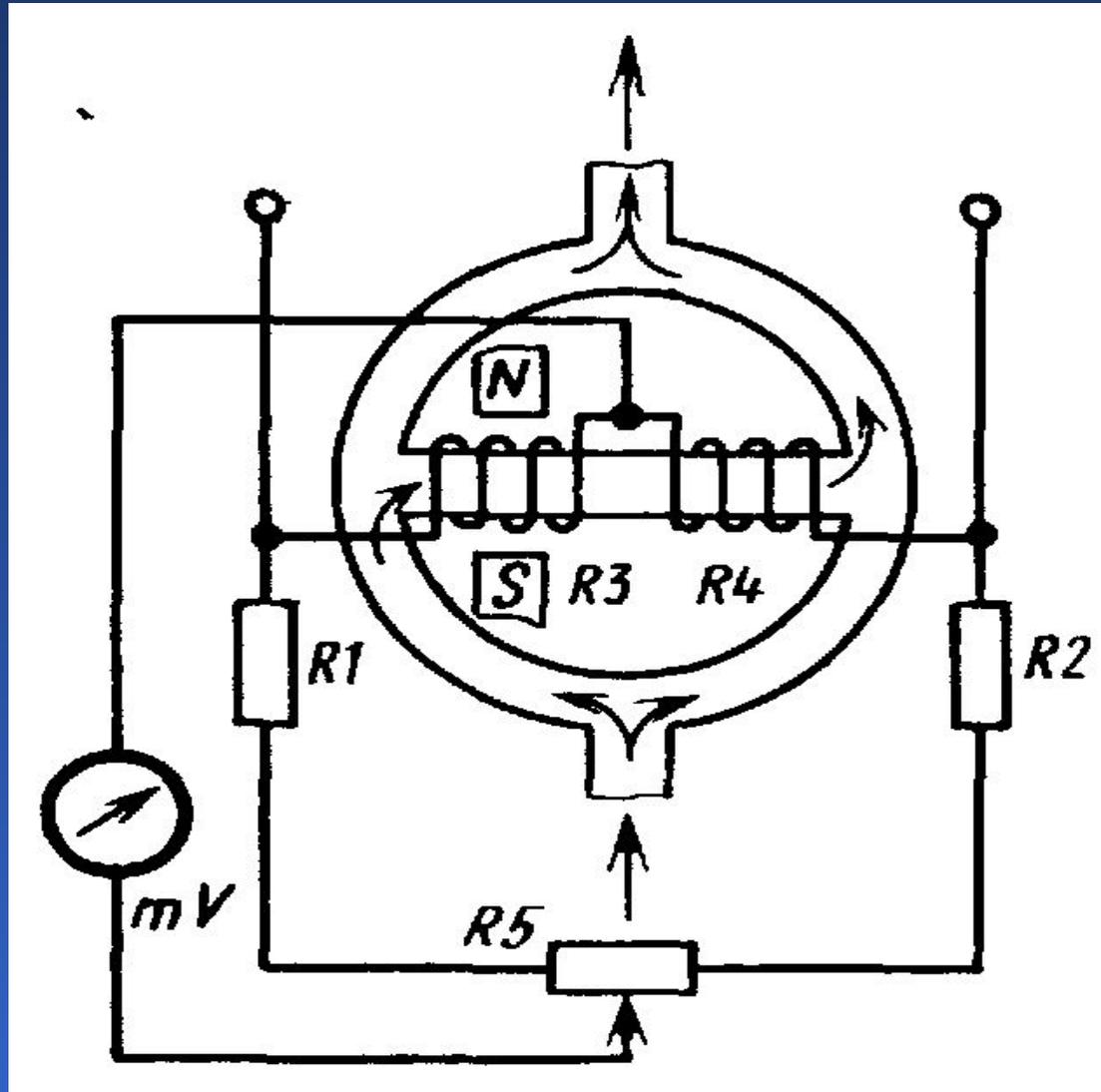


# Измерение химического состава газов и жидкостей

## Схема термохимического газоанализатора



# Принципиальная схема термомагнитного газоанализатора



# Измерение ионного состава растворов и жидкой фазы пульп

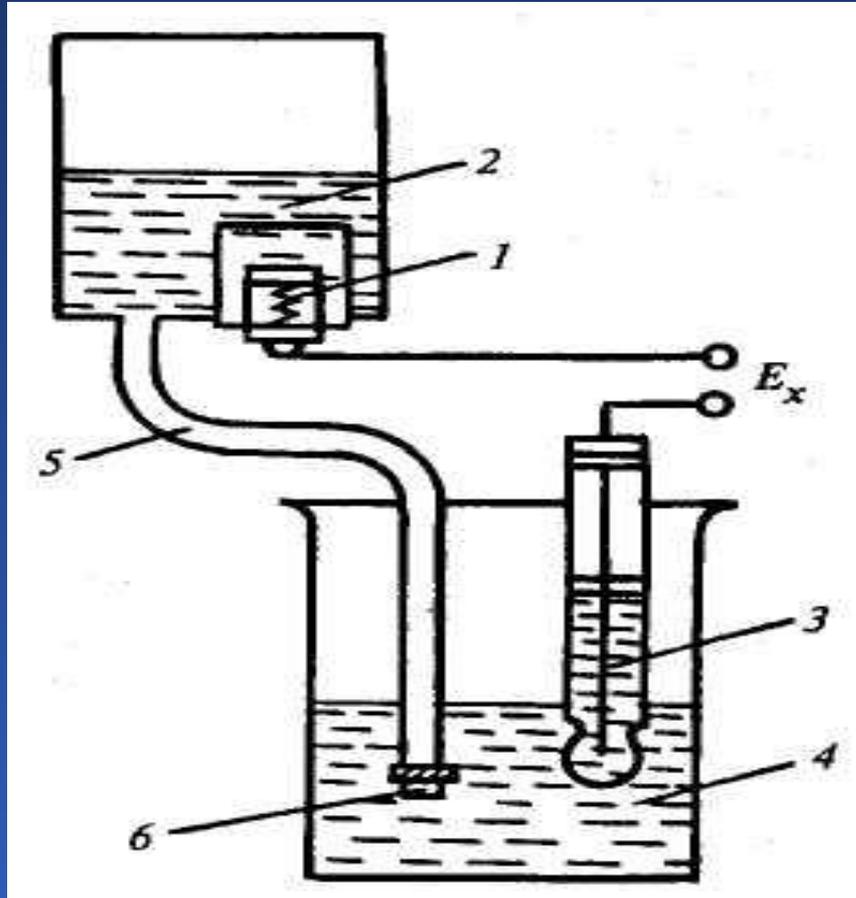
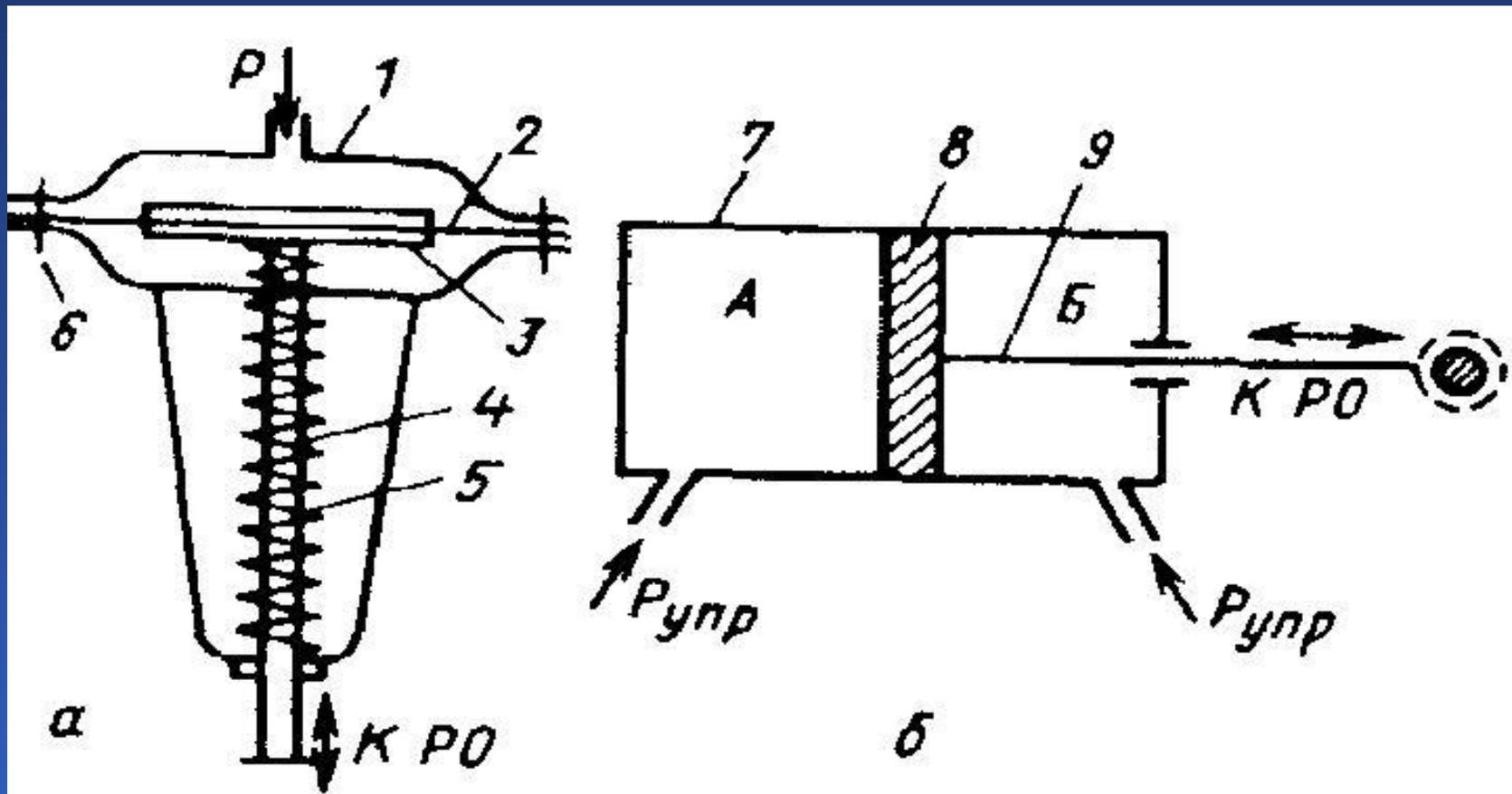


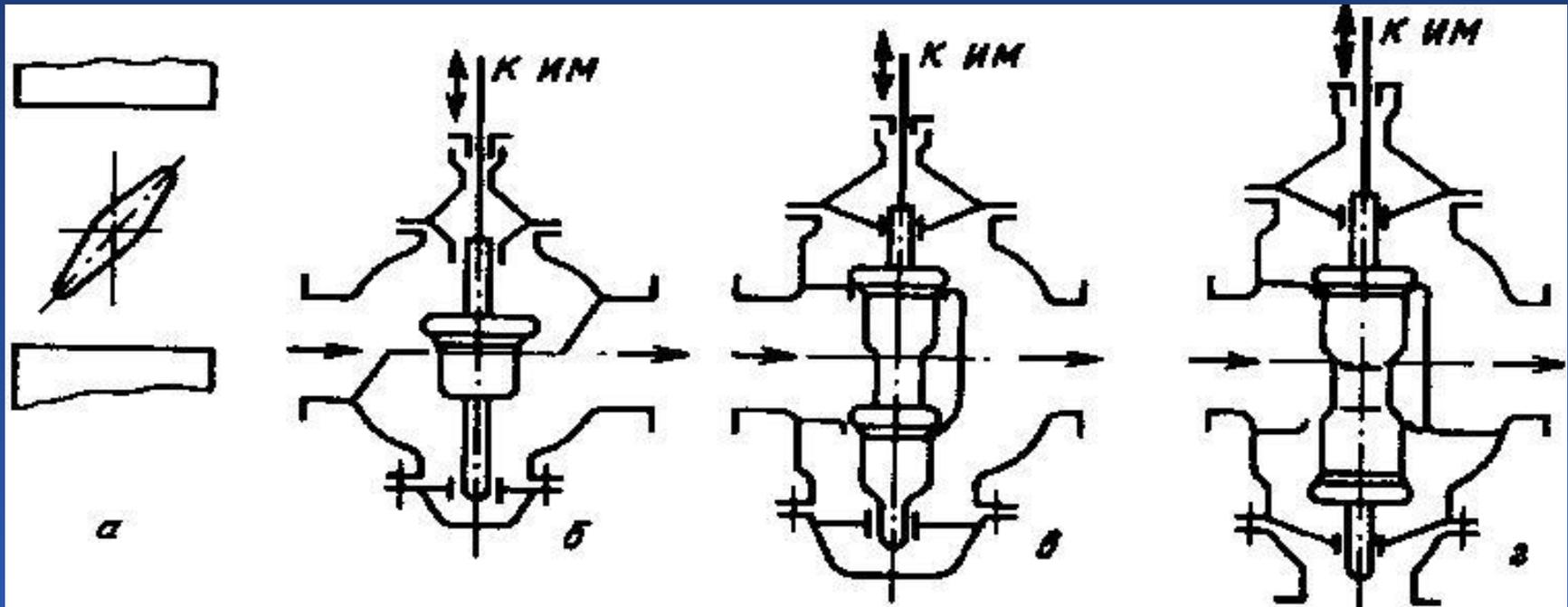
Схема электродной системы рН-метра  
выносным вспомогательным электродом



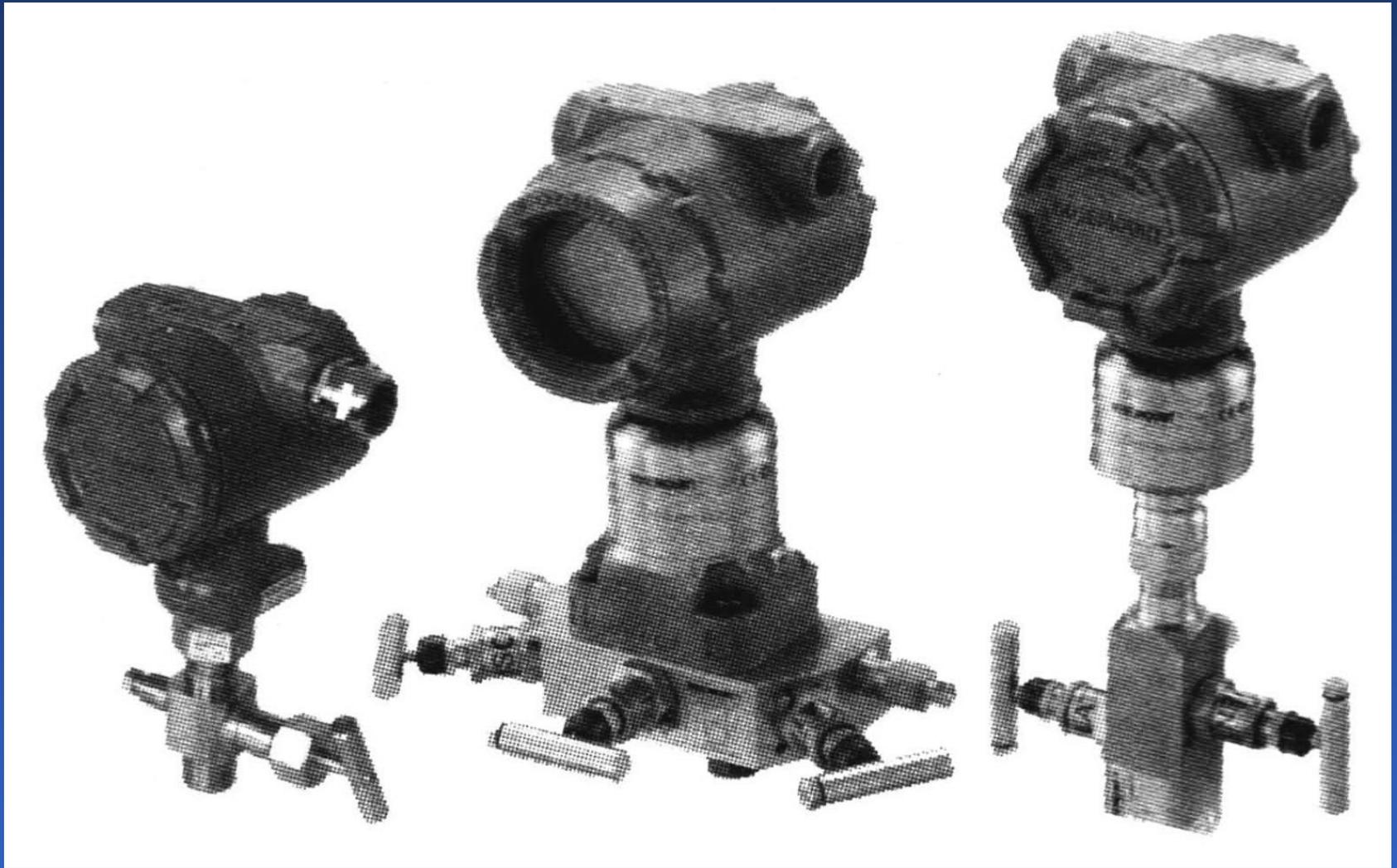
# Схемы мембранного и поршневого исполнительных механизмов



# Схемы регулирующих органов



# Интегральные клапанные блоки



# Элементы проектирования систем автоматизации

# Элементы проектирования систем автоматизации

---

1. Цели, задачи и стадии проектирования
2. Функциональные схемы автоматизации

# Цели, задачи и стадии проектирования

---

## Основные разделы технического задания

1. Условия эксплуатации системы управления.
2. Эксплуатационно-технические характеристики системы управления.
3. Объем выполняемых разработчиком работ.
4. Технические требования к системе управления.
5. Требования к художественно-конструкторскому оформлению системы.
6. Требования к патентной защищенности СУ.
7. Требования к заказчику по обеспечению разработки, внедрения и эксплуатации системы управления.

# Цели, задачи и стадии проектирования

Буквенные условные обозначения

Обозначение	Измеряемая величина		Функции, выполняемые прибором		
	Основное значение первой буквы	Дополнительное значение, уточняющее значение первой буквы	Отображение информации	Формирование выходного сигнала	Дополнительное значение
<i>A</i>	-	-	Сигнализация	-	-
<i>B</i>	Резервная буква	-	-	-	-
<i>C</i>	-	-	-	Регулирование, управление	-
<i>D</i>	Плотность	Разность, перепад	-	-	-
<i>E</i>	Любая электрическая величина	-	-	-	Чувствительный элемент
<i>F</i>	Расход	Соотношение, доля, дробь	-	-	-
<i>G</i>	Размер, положение, перемещение	-	-	-	-
<i>H</i>	Ручное воздействие	-	-	-	Верхний предел измеряемой величины
<i>I</i>	-	-	Показание	-	-

<i>J</i>	-	Автоматическое переключение, обегание	-	-	-
<i>K</i>	Время, временная программа	-	-	-	Станция управления
<i>L</i>	Уровень	-	-	-	Нижний предел измеряемой величины
<i>M</i>	Влажность	-	-	-	-
<i>O</i>	Резервная буква	-	-	-	-
<i>N</i>	Резервная буква	-	-	-	-
<i>P</i>	Давление, вакуум	-	-	-	-
<i>Q</i>	Величина, характеризующая качество: состав, концентрация и т.п.	Интегрирование, суммирование по времени	-	-	-
<i>R</i>	Радиоактивность	-	Регистрация	-	-
<i>S</i>	Скорость, частота	-	-	Включение, отключение, переключение, сигнализация	-
<i>T</i>	Температура	-	-	-	Дистанционная передача
<i>U</i>	Несколько различных измеряемых величин	-	-	-	-
<i>V</i>	Вязкость	-	-	-	-
<i>W</i>	Масса	-	-	-	-
<i>Y</i>	-	-	Преобразование	-	-

# Принцип построения условного обозначения прибора

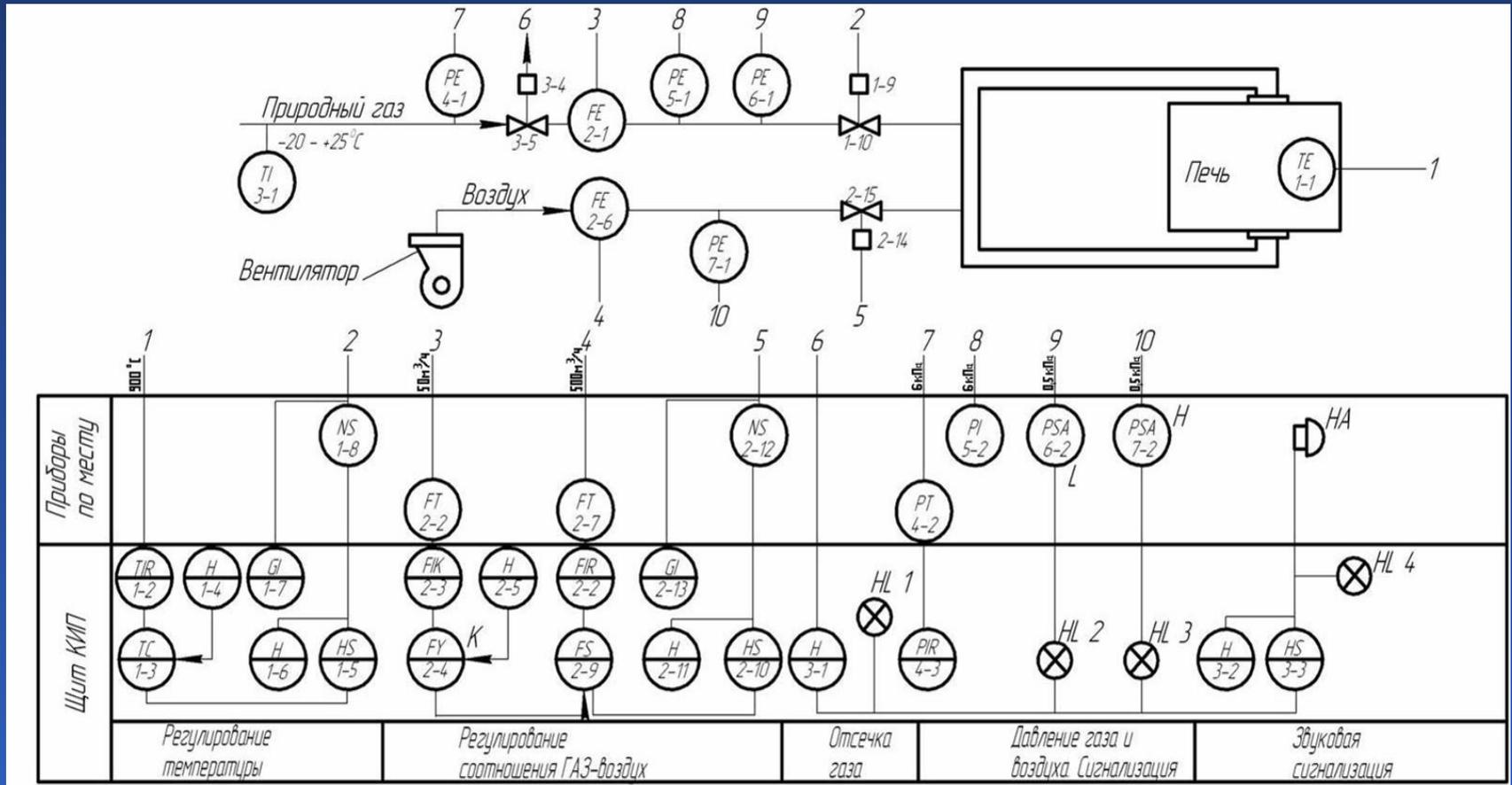


# Перечень элементов по ГОСТ 2.701

The image shows a technical drawing of a table with four columns and five rows. The table is enclosed in a rectangular frame. Dimensions are indicated with arrows and numbers: the total height is 15, the height of the first row is 8, the width of the first column is 20, the width of the second column is 110, the width of the third column is 10, and the total width is 185. The column headers are: 'Поз. обозначение' (Position designation), 'Наименование' (Name), 'Кол.' (Quantity), and 'Примечание' (Remarks).

Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Примечание

# Функциональная схема автоматизации нагревательной печи



# Автоматизированные системы управления технологическими процессами

# Автоматизированные системы управления технологическими процессами

---

1. Иерархия управления
2. Разновидности АСУ ТП
3. Состав АСУ ТП. Основные компоненты
4. Принципы построения распределенных систем контроля и управления

# Иерархический принцип управления

---

Иерархический принцип управления заключается в многоступенчатой организации процесса, где каждая ступень управления имеет свои объекты и цели.

Иерархичность системы, ее многоуровневость обуславливаются сложностью систем управления.

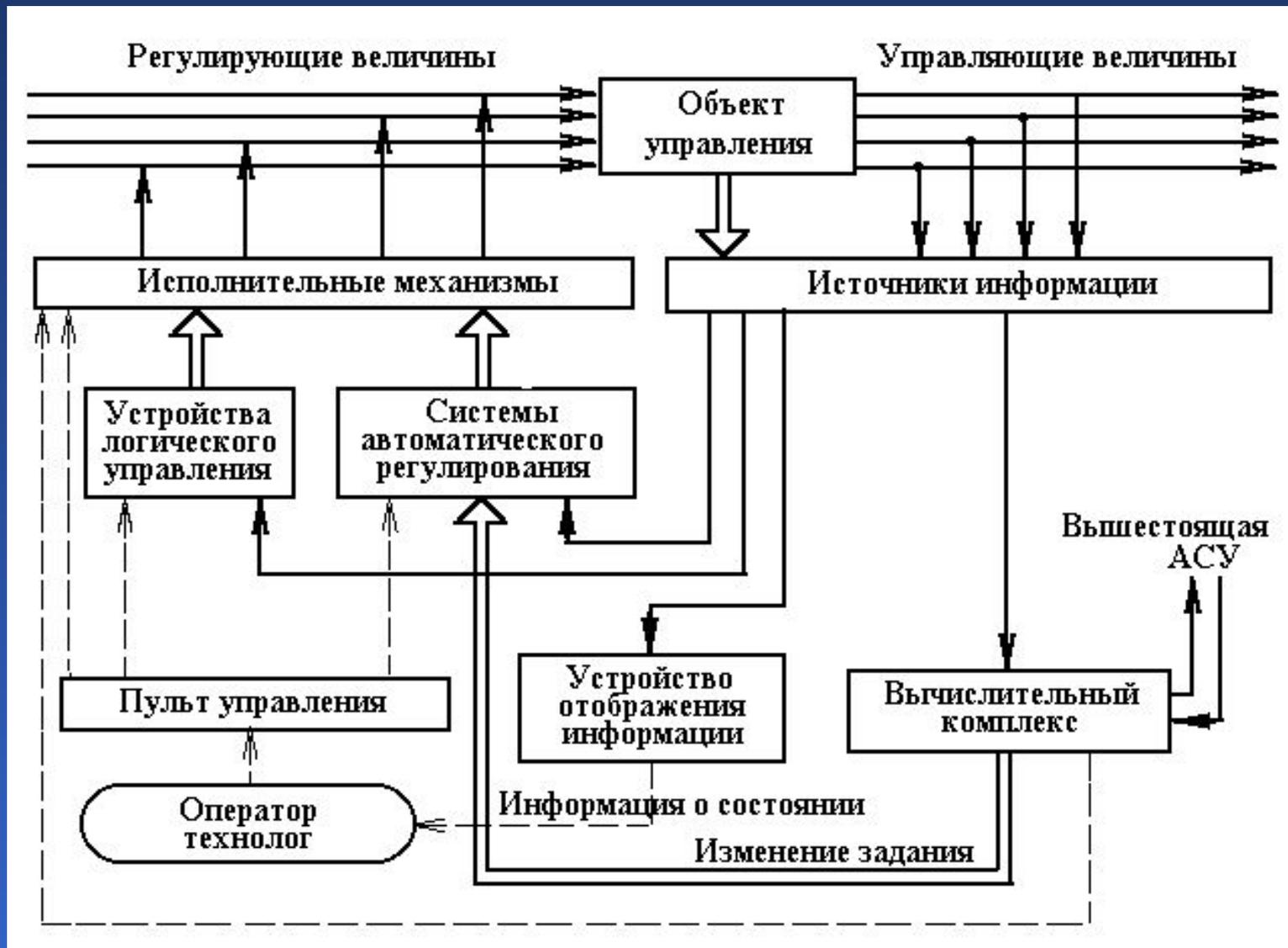
Автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) вырабатывают и реализуют управляющие воздействия на технологическом объекте управления в соответствии с принятым **критерием управления**.

# Разновидности АСУ ТП

---

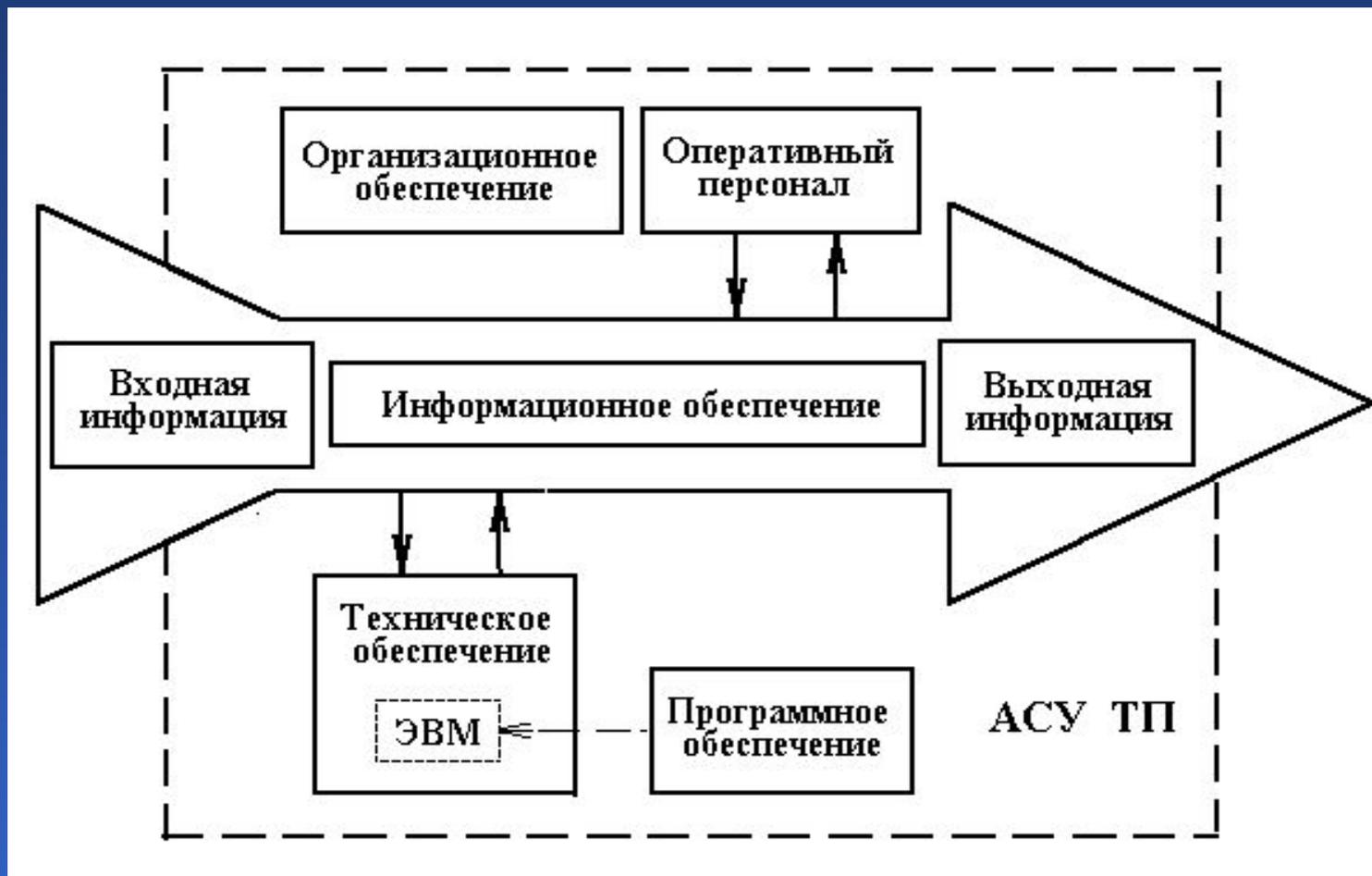
1. АСУ ТП, функционирующие без вычислительного комплекса.
2. АСУ ТП с вычислительным комплексом, выполняющим информационные функции.
3. АСУ ТП с вычислительным комплексом, выполняющим управляющие функции в режиме "советчика".
4. АСУ ТП с вычислительным комплексом, выполняющим функции центрального управляющего устройства (супервизорное управление).
5. АСУ ТП с вычислительным комплексом, выполняющим функции непосредственного (прямого) цифрового управления.

# АСУ ТП с вычислительным комплексом



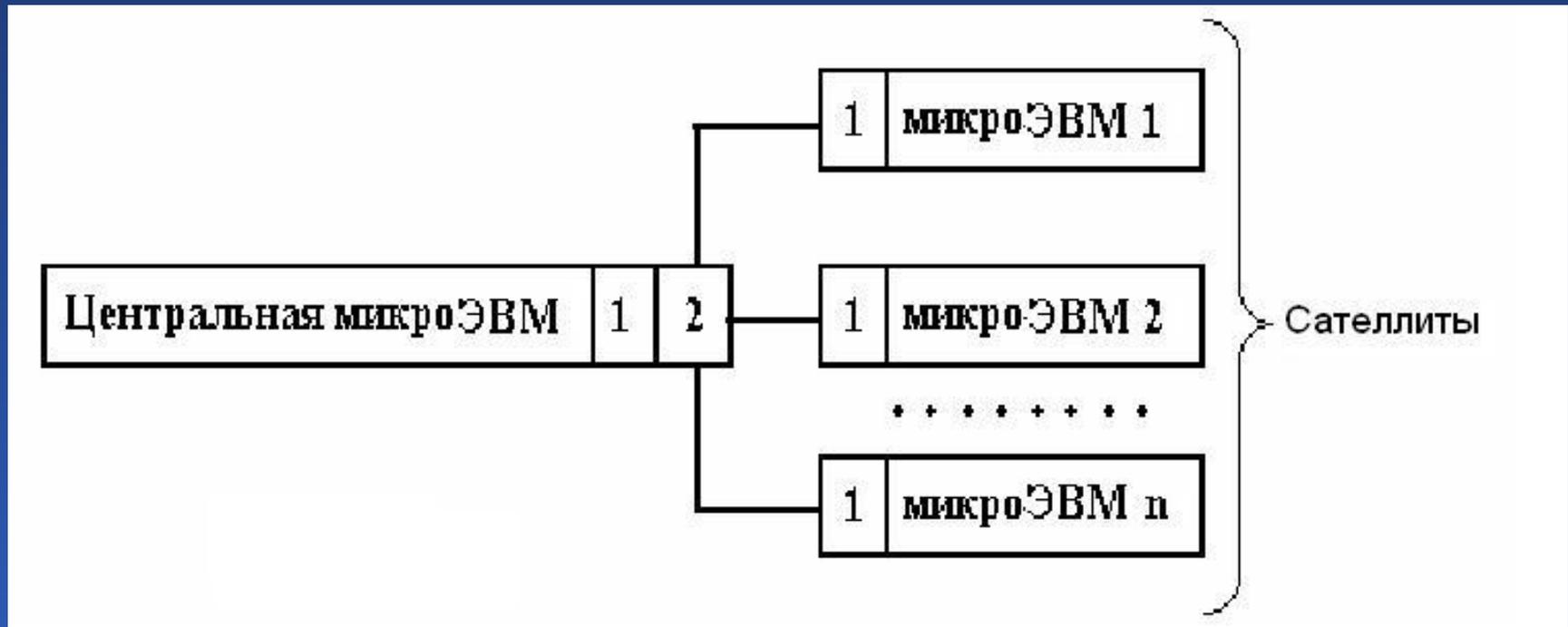
# Состав АСУ ТП. Основные компоненты

Упрощенная схема взаимодействия основных компонентов АСУ ТП



# Принципы построения распределенных систем контроля и управления

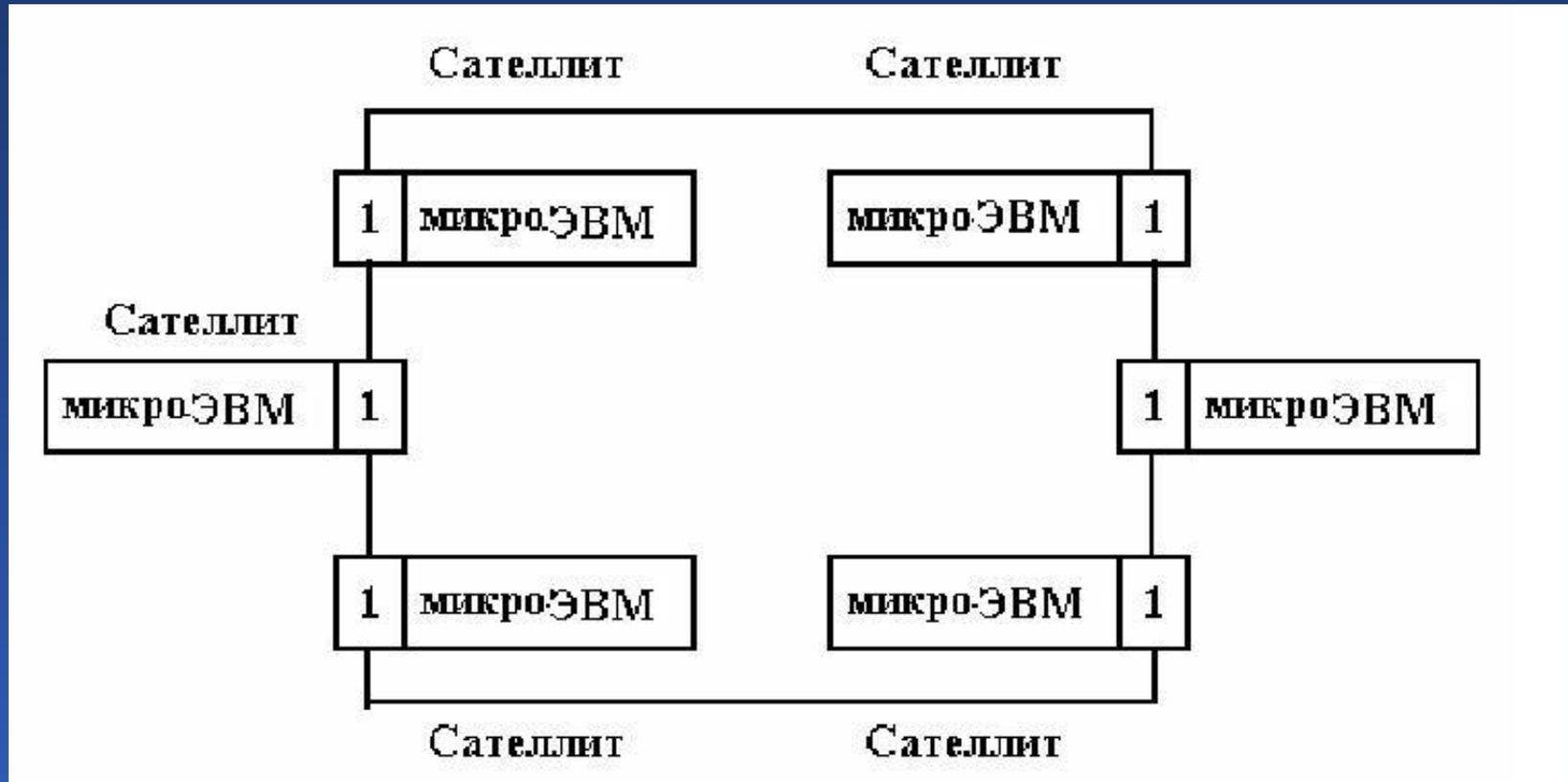
## Звездообразная структура локальной вычислительной сети микроЭВМ



1 – сетевой адаптер (устройство сопряжения);

2 – узел коммутации

# Кольцевая структура локальной вычислительной сети микроЭВМ



1 – сетевой адаптер

# Автоматизированные системы управления предприятием

# Автоматизированные системы управления предприятием

---

1. Типы АСУ, их назначение, цели и функции
2. Состав АСУП
3. Современные тенденции в построении АСУП

# Типы АСУ, их назначение, цели и функции

---

Различают два основных типа АСУ:

- автоматизированные системы организационно-экономического или административного управления (АСУП);
- автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП).

К АСУП относятся различные отраслевые, территориальные АСУ, АСУ производственными объединениями, предприятиями и др.

На практике часто приходится иметь дело с системами, где комбинируются функции, характерные как для АСУП, так и для АСУ ТП.

# Состав АСУП



# Современные тенденции в построении АСУП

