

*САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)*

*КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ  
ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ*

**СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ  
ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ  
(СУХТП)**

**ИЛЛЮСТРАТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ ПО КУРСУ ЛЕКЦИЙ**

**СОСТАВИЛ ДОЦЕНТ А.А. ПЕШЕХОНОВ**

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
2015**

# ***СОСТАВ КУРСА***

---

- ЛЕКЦИИ – 36 ЧАСОВ
- ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ – 18 ЧАСОВ
- КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ
- САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА – 72 ЧАСА  
(36 часов у 514, 515)
- ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ
- ЭКЗАМЕН 514, 515, 314
- ЗАЧЁТ 512, 513 (ТОЛЬКО), 314

# РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- БЕСПАЛОВ, А.В. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ: УЧЕБНИК ДЛЯ ВУЗОВ/ А.В. БЕСПАЛОВ, Н.И. ХАРИТОНОВ. - М.: ИКЦ «АКАДЕМКНИГА», 2007. – 690 С.
- ШУВАЛОВ, В.В. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ / В.В. ШУВАЛОВ, Г.А. ОГАДЖАНОВ, В.А. ГОЛУБЯТНИКОВ. - М.: ХИМИЯ, 1991. – 480С.
- ПОЛОЦКИЙ, Л.М. АВТОМАТИЗАЦИЯ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ / Л.М. ПОЛОЦКИЙ, Г.И. ЛАПШЕНКОВ. – М.: ХИМИЯ, 1982. – 295 С.
- КУЛАКОВ, М.В. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ПРИБОРЫ ДЛЯ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ / М.В. КУЛАКОВ. – М.: АЛЬЯНС, 2008. – 424 С.
- ХАРАЗОВ, В.Г. ИНТЕГРИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ / В.Г. ХАРАЗОВ.- 3 ИЗДАНИЕ, ПЕРЕРАБ И ЛОП.-СПБ.: ПРОФЕССИЯ, 2013.- 656С.

# ***ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ***

- ▣ **АВТОМАТИЗАЦИЯ** – ЗАМЕНА РЯДА ФУНКЦИЙ ЧЕЛОВЕКА ПО КОНТРОЛЮ И УПРАВЛЕНИЮ В ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ РАБОТОЙ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ
- ▣ **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ОБЪЕКТ АВТОМАТИЗАЦИИ** – СОВОКУПНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА (ТП) И ОБОРУДОВАНИЯ, НА КОТОРОМ ЭТОТ ПРОЦСС ВЫПОЛНЯЕТСЯ
- ▣ **ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА** – ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ, ЕГО ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ
- ▣ **УПРАВЛЕНИЕ** – СОВОКУПНОСТЬ ОПЕРАЦИЙ, НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ПУСКА И ОСТАНОВА ПРОЦЕССА, А ТАКЖЕ ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ ИЛИ ИЗМЕНЕНИЯ В ТРЕБУЕМОМ НАПРАВЛЕНИИ ЕГО ПАРАМЕТРОВ
- ▣ **РЕГУЛИРОВАНИЕ** – СТАБИЛИЗАЦИЯ НА ЗАДАННОМ ЗНАЧЕНИИ ИЛИ ИЗМЕНЕНИЕ ПО ПРОГРАММЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА.

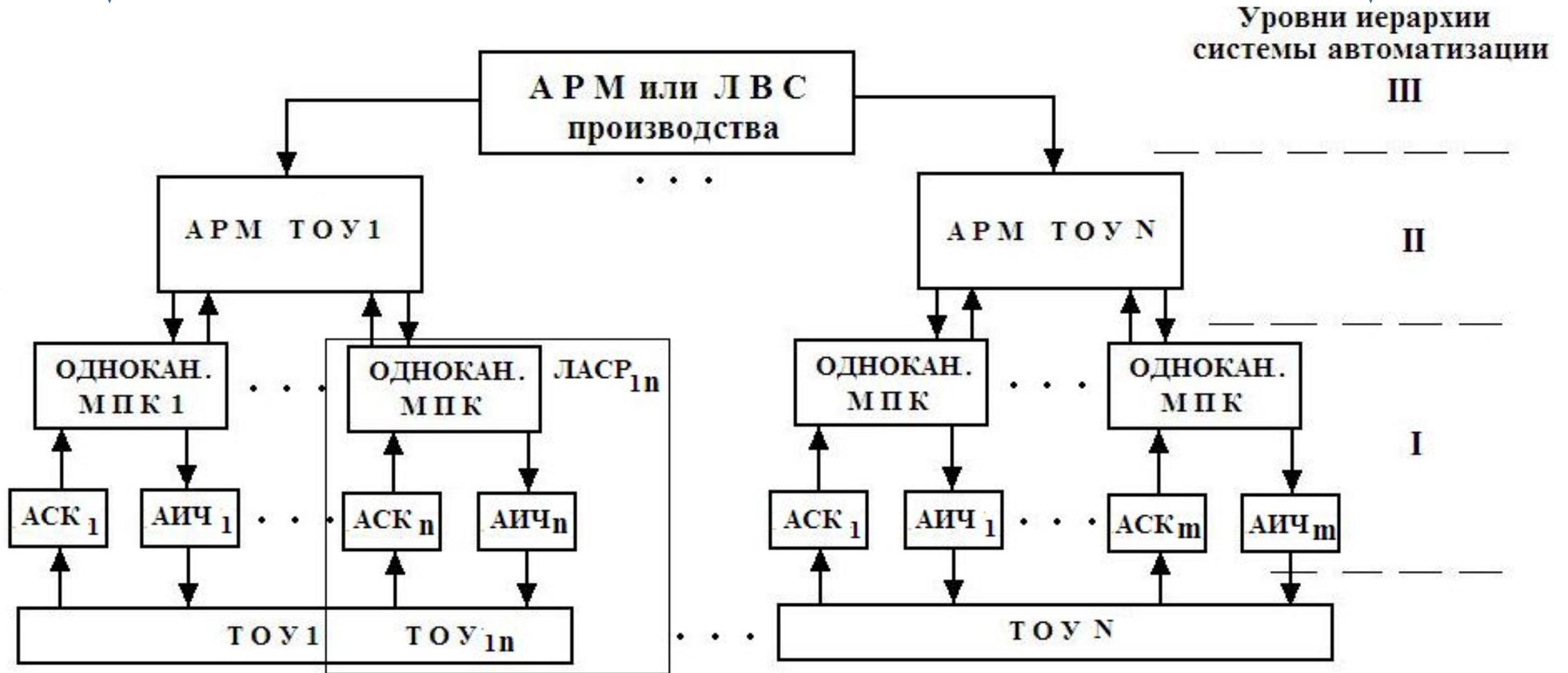
# О ТЕРМИНОЛОГИИ

- ▣ **СИСТЕМА** – МНОЖЕСТВО СВЯЗАННЫХ МЕЖДУ СОБОЙ ЭЛЕМЕНТОВ,  
ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ ОБЩЕЙ ЦЕЛИ.
- ▣ **ЭЛЕМЕНТ СИСТЕМЫ** – ЕЁ ЧАСТЬ, НЕДЕЛИМАЯ ПРИ РЕШЕНИИ КОНКРЕТНОЙ ЗАДАЧИ.
- ▣ **СВЯЗЬ** МЕЖДУ ЭЛЕМЕНТАМИ – ХАРАКТЕРИСТИКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕЖДУ НИМИ, ОПРЕДЕЛЯЕМАЯ ПО ВЕЛИЧИНЕ И НАПРАВЛЕНИЮ.
- ▣ **УСТОЙЧИВОСТЬ СИСТЕМЫ** – СПОСОБНОСТЬ ВОЗВРАЩАТЬСЯ В СОСТОЯНИЕ РАВНОВЕСИЯ БЕЗ ПОМОЩИ ИЗВНЕ.
- ▣ **СОСТОЯНИЕ СИСТЕМЫ** – ОТСУТСТВИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВО ВРЕМЕНИ (**СТАТИКА**).
- ▣ **ПОВЕДЕНИЕ СИСТЕМЫ** – ПЕРЕХОД ИЗ ОДНОГО СОСТОЯНИЯ В ДРУГОЕ (**ДИНАМИКА**)

# ***ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ***

- АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА:** В ВЫПОЛНЕНИИ ФУНКЦИЙ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ УЧАСТВУЕТ ЧЕЛОВЕК
- АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА:** ФУНКЦИЯ ЧЕЛОВЕКА СВЕДЕНА К УСТАНОВКЕ ЗАДАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМ СРЕДСТВАМ
- АСУП** – АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ – ЧЕЛОВЕКО-МАШИННАЯ СИСТЕМА, ЦЕЛЮ КОТОРОЙ ЯВЛЯЕТСЯ ДОСТИЖЕНИЕ РЕЖИМНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ В ЦЕЛОМ
- АСУ ТП** – СОВОКУПНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ И ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ, ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ КОТОРЫХ НАПРАВЛЕНО НА ДОСТИЖЕНИЕ ОПТИМУМА ЗАДАННОГО КРИТЕРИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОНКРЕТНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

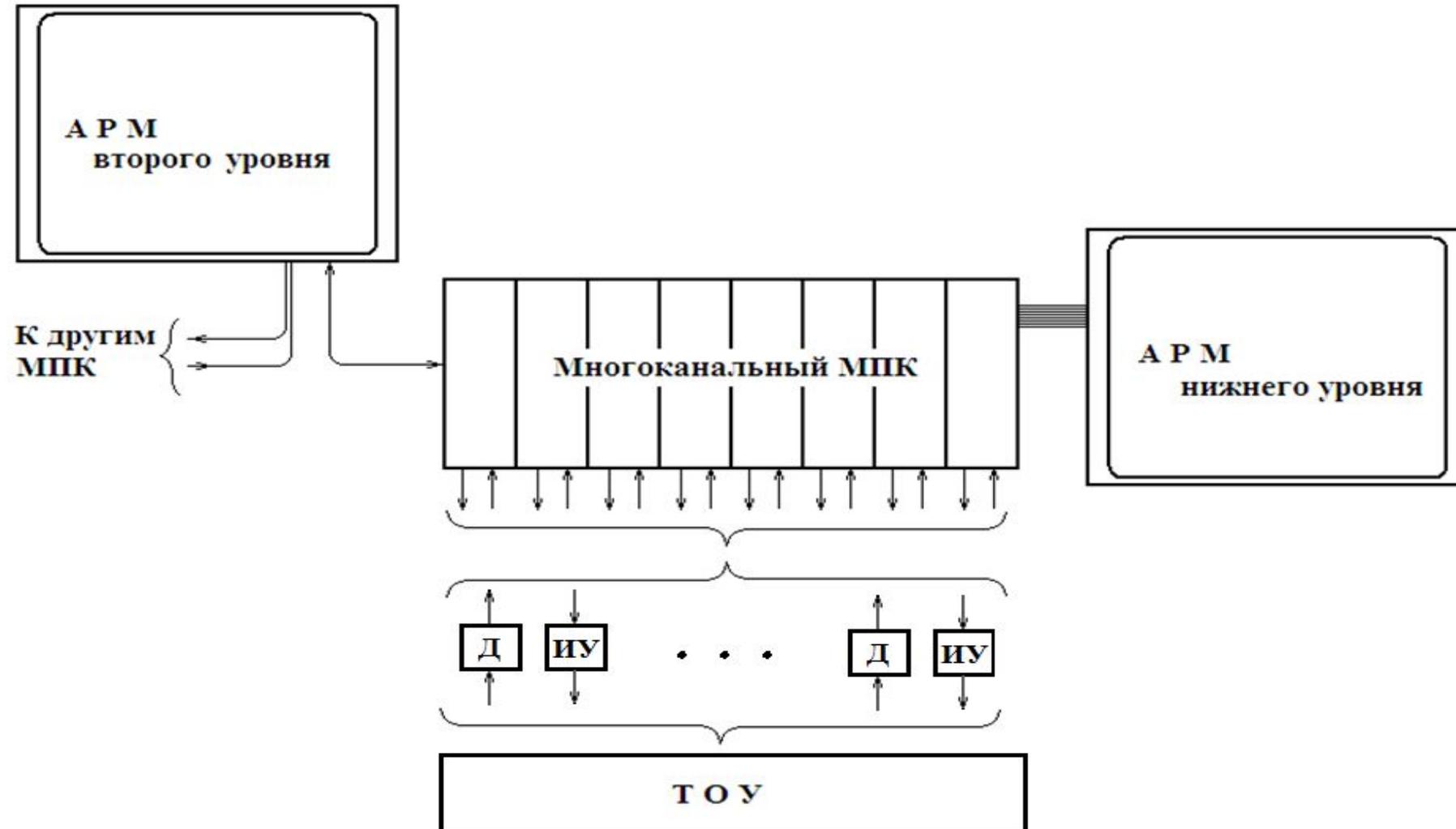
# ИЕРАРХИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ



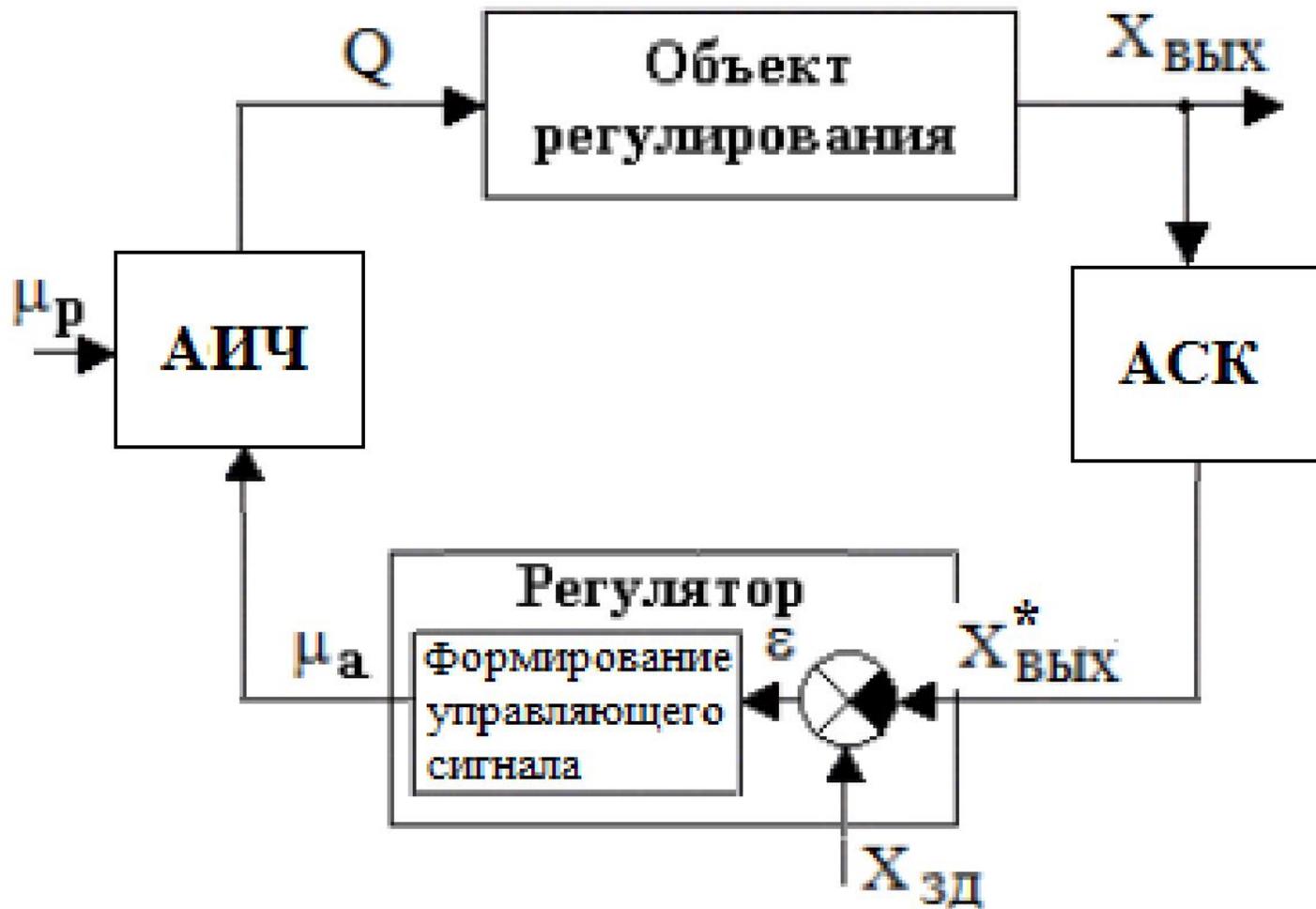
# ***ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ***

- **АРМ** – АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ РАБОЧЕЕ МЕСТО ОПЕРАТОРА ТП
- **ЛАСР (АСР)** – ЛОКАЛЬНАЯ АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ (СТАБИЛИЗАЦИИ) ПАРАМЕТРА ТП
- **АСК** – АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРА ТП, СЛУЖАЩАЯ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРА И ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЕГО ТЕКУЩЕГО ЗНАЧЕНИЯ В СИГНАЛ СТАНДАРТНОГО РЯДА ИЛИ В СИГНАЛ, ПРИГОДНЫЙ ДЛЯ НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ВОСПРИЯТИЯ ОПЕРАТОРОМ
- **АИЧ** – АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЧАСТЬ АСР, СЛУЖАЩАЯ ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ УПРАВЛЯЮЩЕГО СИГНАЛА В УПРАВЛЯЮЩЕЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ В ВИДЕ ПЕРЕМЕННОГО КОЛИЧЕСТВА ВЕЩЕСТВА ИЛИ ЭНЕРГИИ

# СТРУКТУРА ДВУХУРОВНЕВОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ



# ТИПОВАЯ СТРУКТУРА ЛОКАЛЬНОЙ АСР



$X_{\text{ВЫХ}}$  – регулируемый параметр  
 $X_{\text{ЗД}}$  – заданное значение регулируемого параметра  
 $\mu$  – управляющий сигнал,  
 $Q$  – управляющее воздействие  
 $r$  – ручное  
 $a$  - автоматическое

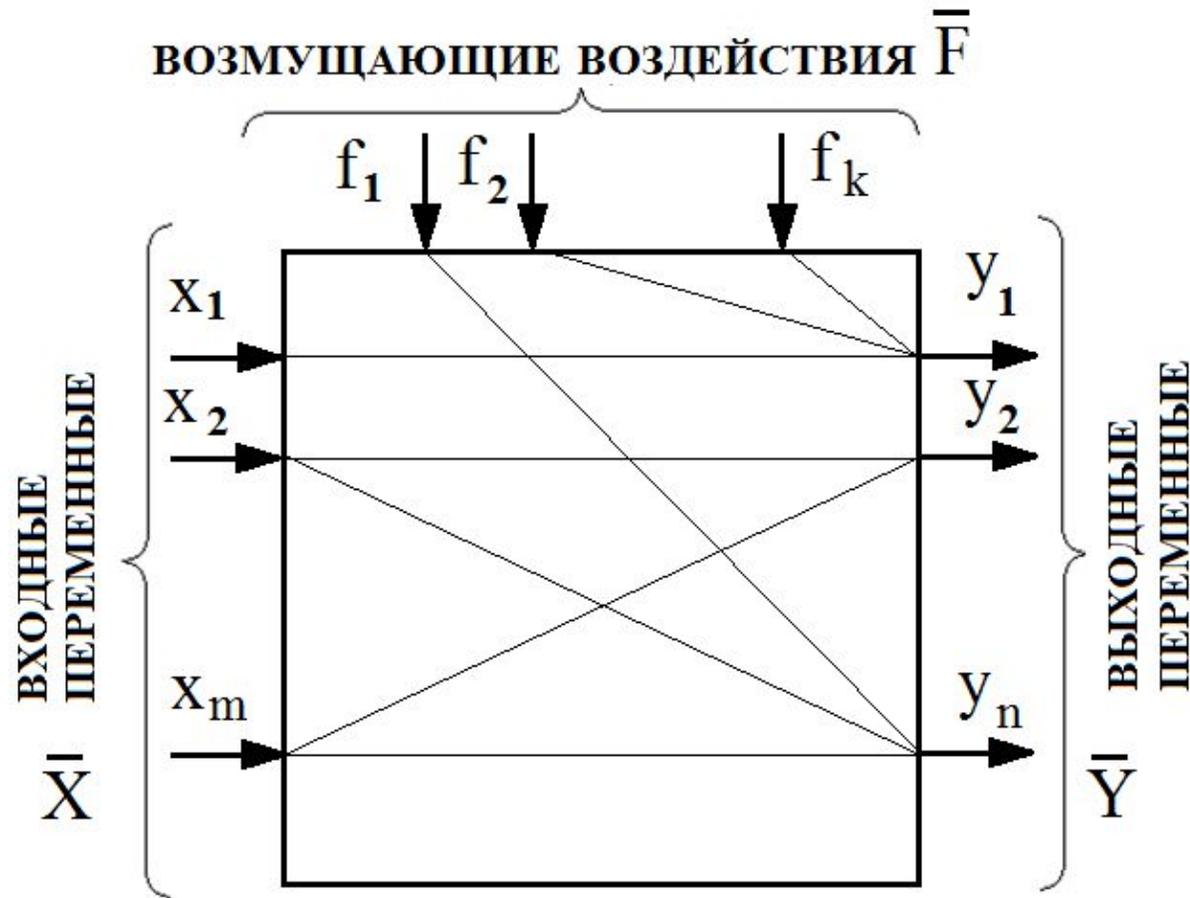
# КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

*начать 21.09.15*

КЛАСС	ПРИМЕРЫ
<b>Гидро-механические</b>	ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ, РАЗДЕЛЕНИЕ НЕОДНОРОДНЫХ СИСТЕМ, ПЕРЕМЕШИВАНИЕ, ОЧИСТКА ГАЗОВ
<b>Тепловые</b>	НАГРЕВАНИЕ, ОХЛАЖДЕНИЕ, ВЫПАРИВАНИЕ, КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ, ИСКУССТВЕННОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ
<b>Массообменные</b>	РЕКТИФИКАЦИЯ, АБСОРБЦИЯ, АДСОРБЦИЯ, СУШКА, ЭКСТРАКЦИЯ
<b>Механические</b>	ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ, ДОЗИРОВАНИЕ, СОРТИРОВКА, ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ, ПЕРЕМЕШИВАНИЕ, ХРАНЕНИЕ.
<b>Химические</b>	ОКИСЛЕНИЕ, ВОССТАНОВЛЕНИЕ, СИНТЕЗ, РАЗЛОЖЕНИЕ СОЛЕЙ, ОБРАЗОВАНИЕ ГИДРОКСИДОВ, НЕЙТРАЛИЗАЦИЯ, ДЕГИДРАТАЦИЯ, ЭЛЕКТРОЛИЗ

# ОБЪЕКТЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

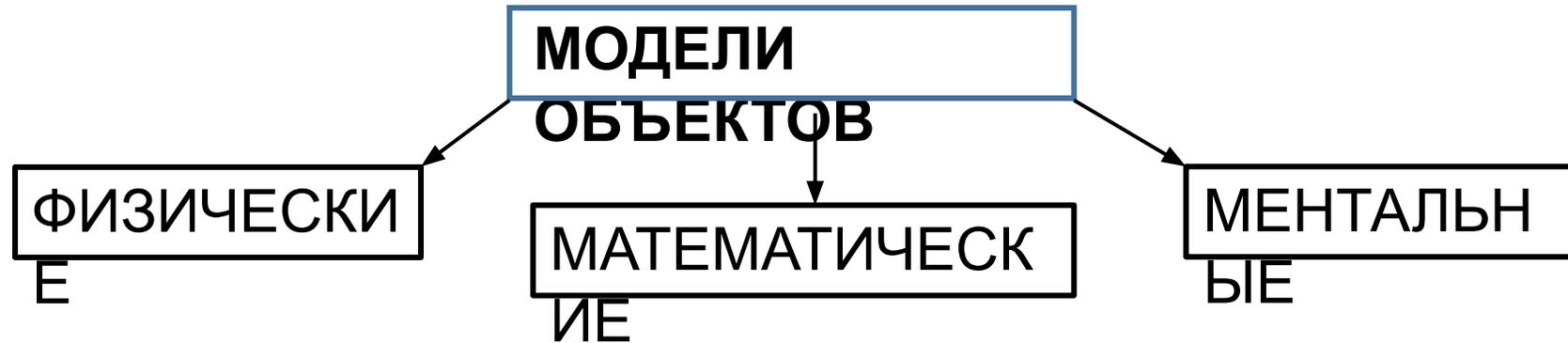
## МНОГОМЕРНЫЙ МНОГОСВЯЗНЫЙ ОБЪЕКТ (УСЛОВНОЕ ГРАФИЧЕСКОЕ ПЕРЕДАЧИ)



СТАТИЧЕСКОЕ  $\bar{Y} = f(\bar{X}, \bar{F})$   
 ДИНАМИЧЕСКОЕ  $\bar{Y} = \varphi(\bar{X}, \bar{F}, t)$   
 НЕЛИНЕЙНОЕ

ВОЗМУЩЕНИЯ  
 ← КОНТРОЛИРУЕМЫЕ  
 → НЕКОНТРОЛИРУЕМЫЕ  
**ВХОДНЫЕ ПЕРЕМЕННЫЕ**  
 ← УПРАВЛЯЮЩИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ  
 → НЕЗАВИСИМЫЕ  
**ВЫХОДНЫЕ ПЕРЕМЕННЫЕ**  
 ← КОНТРОЛИРУЕМЫЕ РЕГУЛИРУЕМЫЕ  
 → НЕЗАВИСИМЫЕ  
 ПЕРЕМЕННЫЕ

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ АВТОМАТИЗАЦИИ



## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБЪЕКТА:

СИСТЕМА УРАВНЕНИЙ, СТАВЯЩИХ В СООТВЕТСТВИЕ ЗНАЧЕНИЯ ВЕКТОРА ВЫХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЗНАЧЕНИЯМ ВЕКТОРА ВХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ

ДЕТЕРМИНИРОВАННЫЕ  
МОДЕЛИ

СТОХАСТИЧЕСКИЕ  
МОДЕЛИ

## ОСНОВАНИЯ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ

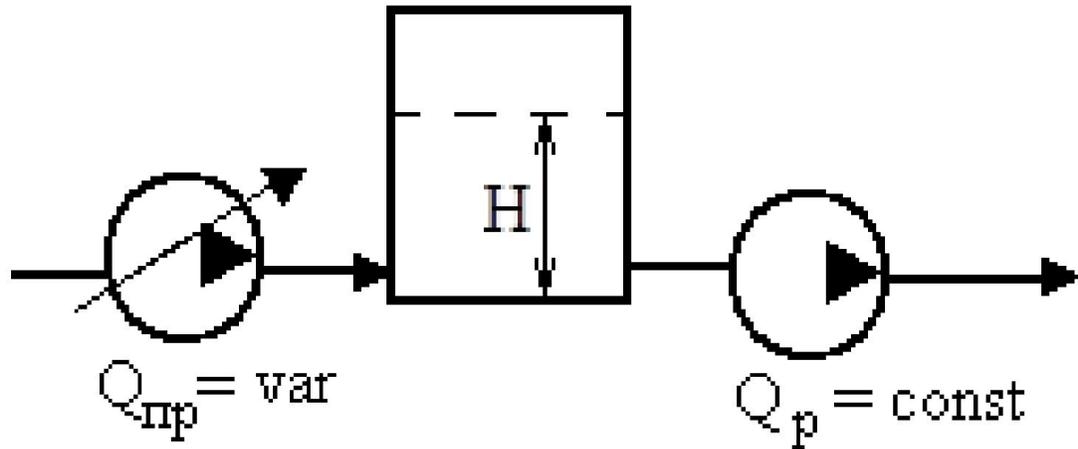
**МОДЕЛЕЙ:**  
УРАВНЕНИЯ МАССАЛЬНОГО И ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА, ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ, КОЛИЧЕСТВА ДВИЖЕНИЯ, УРАВНЕНИЯ СИЛ

# ***СВОЙСТВА ОБЪЕКТОВ АВТОМАТИЗАЦИИ***

- **ЕМКОСТЬ** – СПОСОБНОСТЬ ОБЪЕКТА АККУМУЛИРОВАТЬ ВЕЩЕСТВО ИЛИ ЭНЕРГИЮ
- **НАГРУЗКА** – КОЛИЧЕСТВО ВЕЩЕСТВА ИЛИ ЭНЕРГИИ, ПРОХОДЯЩЕЕ ЧЕРЕЗ ОБЪЕКТ В ЕДИНИЦУ ВРЕМЕНИ
- **САМОВЫРАВНИВАНИЕ** – СПОСОБНОСТЬ ОБЪЕКТА ПРИХОДИТЬ В СОСТОЯНИЕ РАВНОВЕСИЯ БЕЗ ВМЕШАТЕЛЬСТВА ИЗВНЕ
- **ЗАПАЗДЫВАНИЕ** – ВРЕМЯ МЕЖДУ МОМЕНТОМ НАНЕСЕНИЯ ВОЗМУЩЕНИЯ НА ВХОД ОБЪЕКТА И ПОЯВЛЕНИЕМ ОТКЛИКА НА ВЫХОДЕ

# ТИПОВЫЕ ЗВЕНЬЯ ОБЪЕКТОВ АВТОМАТИЗАЦИИ

## АСТАТИЧЕСКОЕ (ИНТЕГРИРУЮЩЕЕ) ЗВЕНО ПЕРВОГО ПОРЯДКА

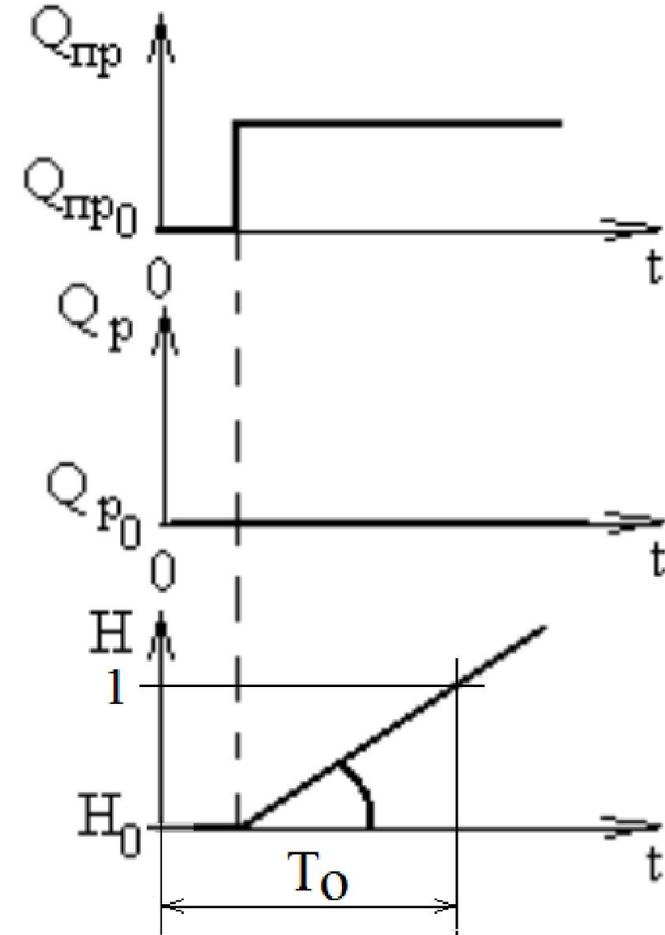


УРАВНЕНИЕ  
СТАТИКИ

$$H = K \cdot Q_{\text{пр}}$$

УРАВНЕНИЕ ДИНАМИКИ

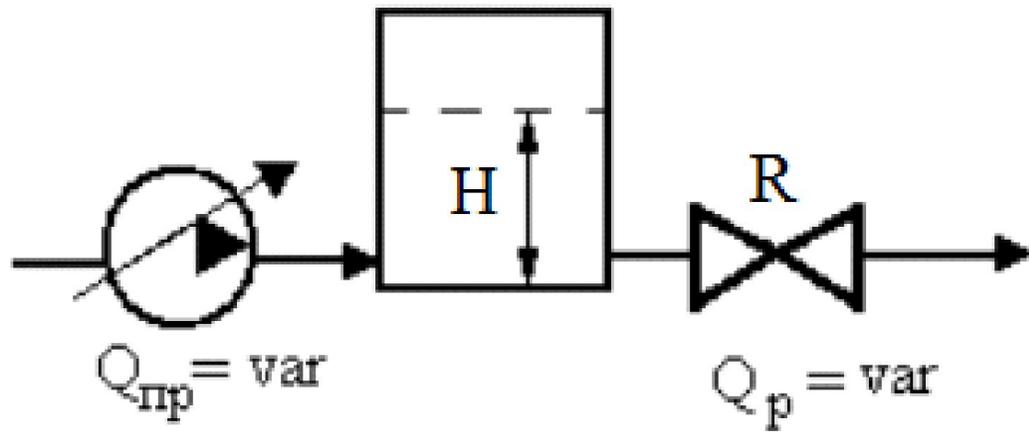
$$S \frac{dH}{dt} = Q_{\text{пр}}$$



$T_0$  - ПОСТОЯННАЯ ВРЕМЕНИ  
ОБЪЕКТА

# ТИПОВЫЕ ЗВЕНЬЯ ОБЪЕКТОВ АВТОМАТИЗАЦИИ

СТАТИЧЕСКОЕ (ИНЕРЦИОННОЕ, АПЕРИОДИЧЕСКОЕ) ЗВЕНО ПЕРВОГО ПОРЯДКА



УРАВНЕНИЯ  
СТАТИКИ

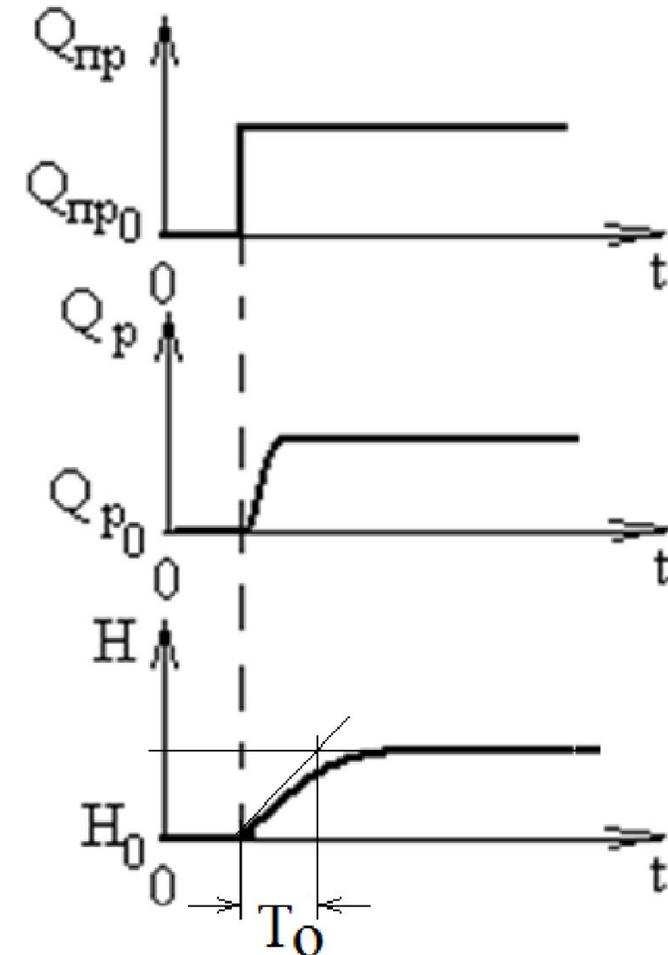
$$Q_p = K_1 \sqrt{P}$$

$$P = \gamma g H$$

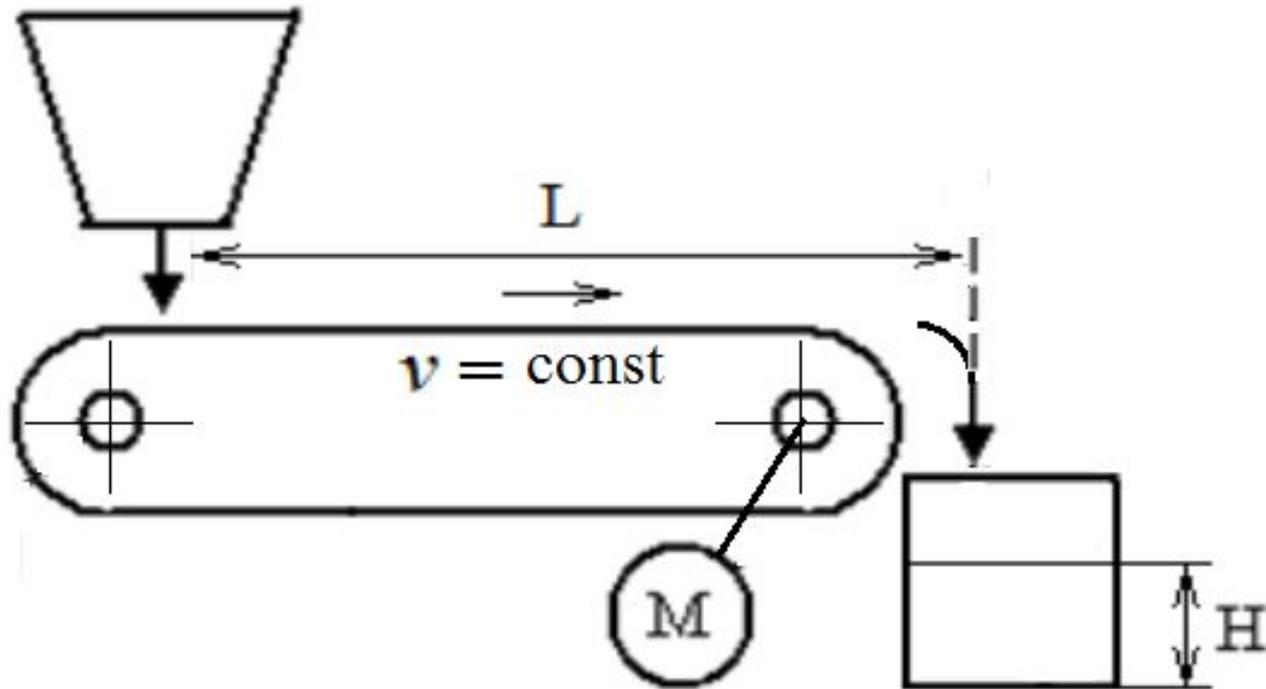
$$H = K Q_{\text{пр}} - K_2 \sqrt{H}$$

УРАВНЕНИЕ  
ДИНАМИКИ

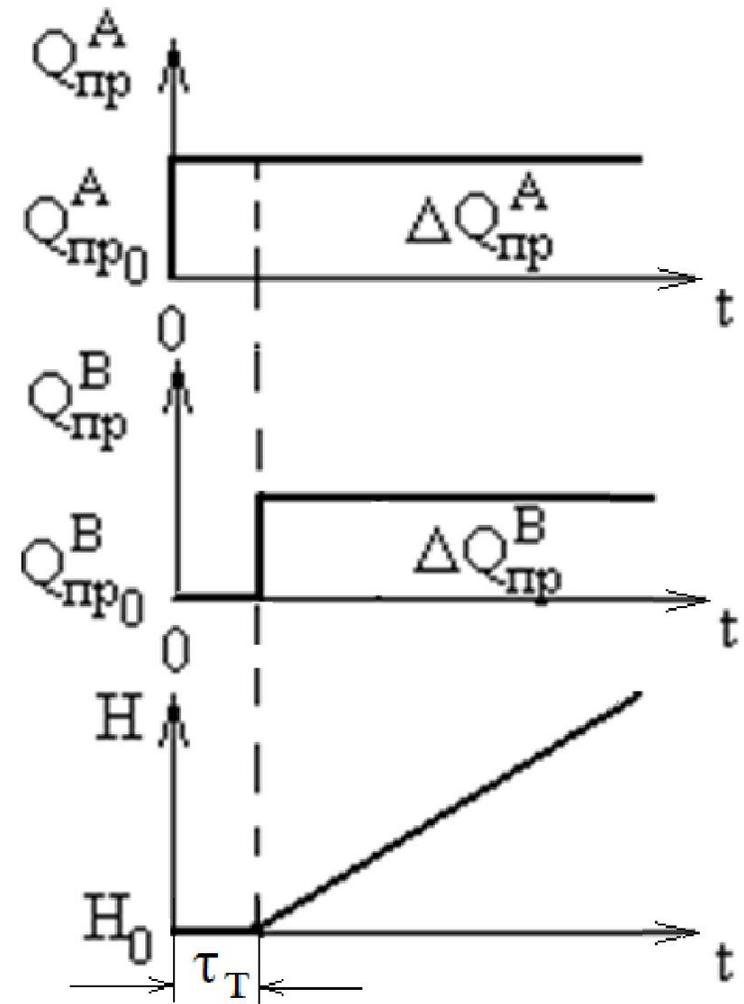
$$S \frac{dH}{dt} = Q_{\text{пр}} - Q_p(H)$$



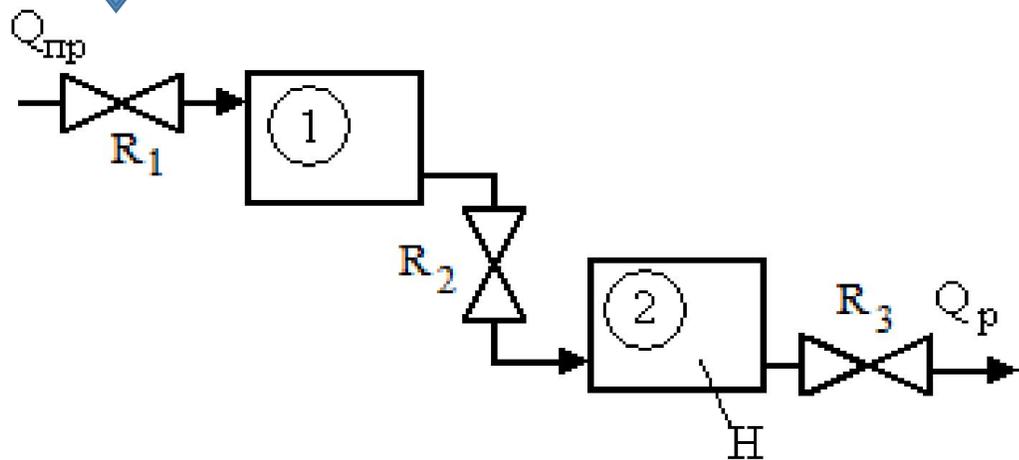
# ЗВЕНО ЧИСТОГО ЗАПАЗДВІВННЯ



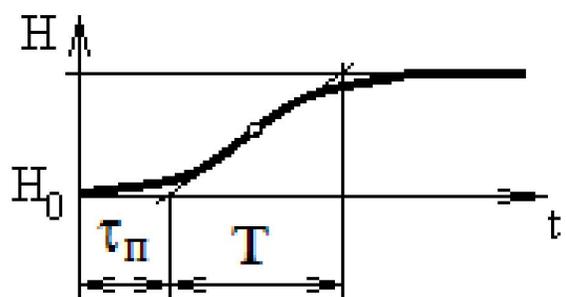
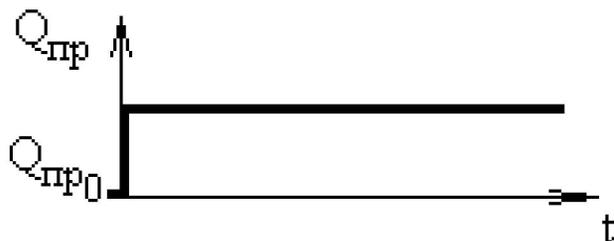
$$Q_{\text{пр}}^{\text{В}}(t) = Q_{\text{пр}}^{\text{А}}(t - \tau); \quad \tau = \frac{L}{v}$$



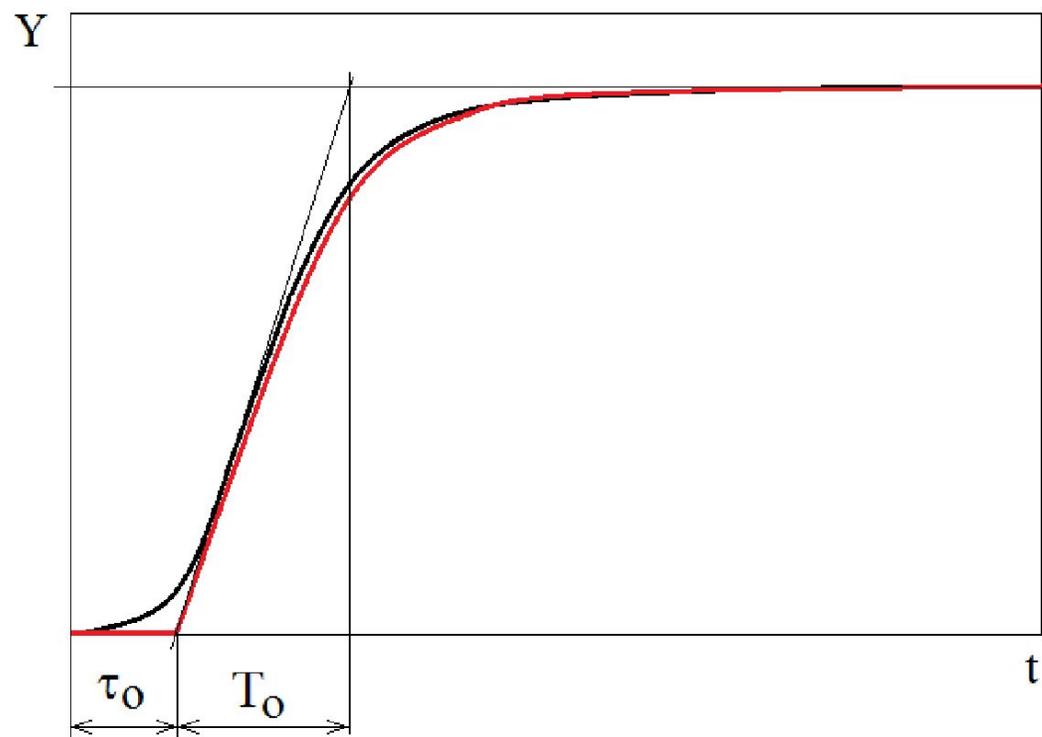
# АПЕРИОДИЧЕСКОЕ ЗВЕНО ВТОРОГО ПОРЯДКА



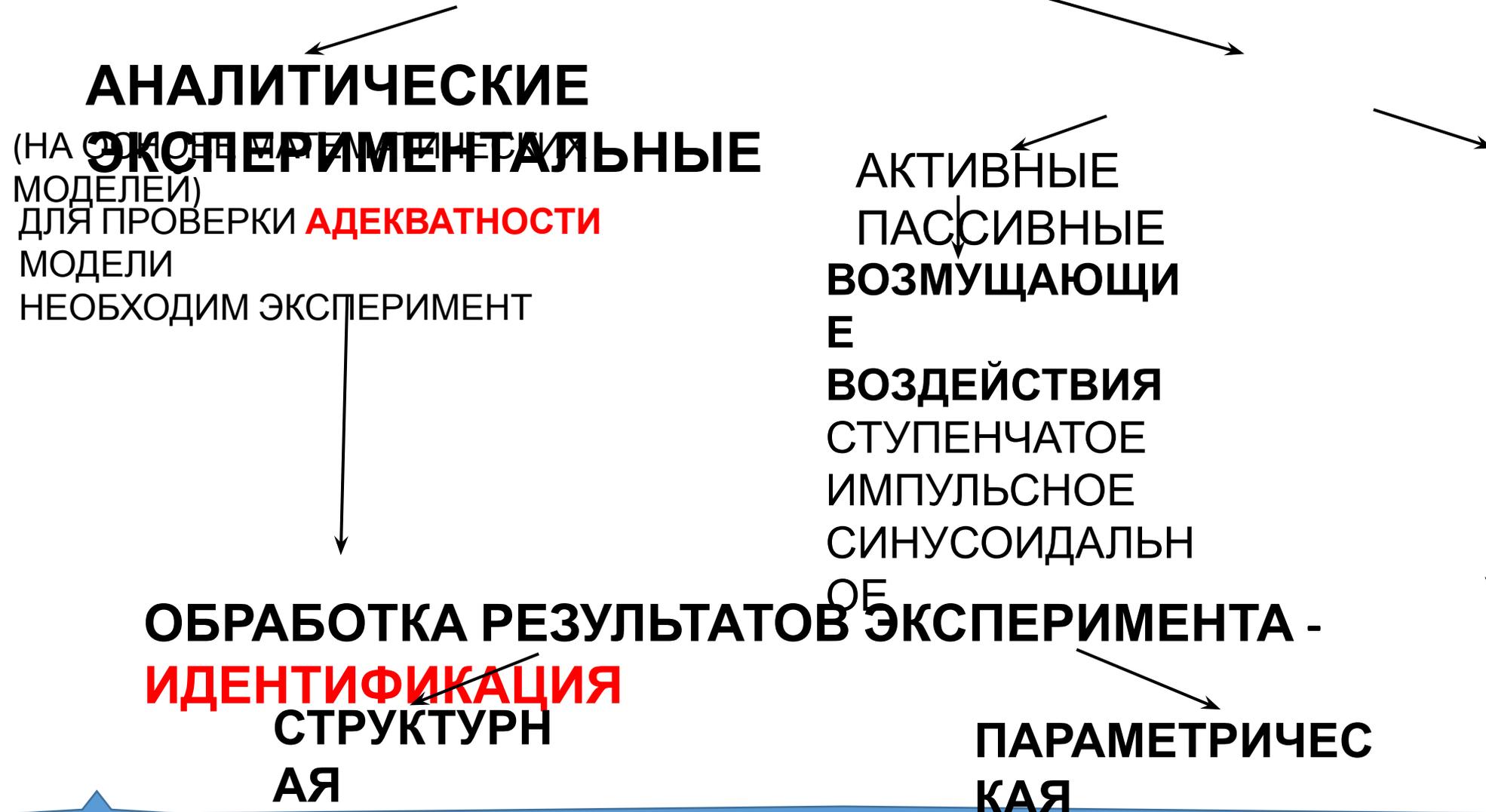
$$T_1 \frac{d^2 H(t)}{dt^2} + T_2 \frac{dH(t)}{dt} + T_3 H(t) = K_1 Q_{пр}$$



ГРАФИЧЕСКАЯ АППРОКСИМАЦИЯ  
ЗВЕНОМ ПЕРВОГО ПОРЯДКА С  
ЗАПАЗДЫВАНИЕМ



# МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СВОЙСТВ ОБЪЕКТОВ



# ПОНЯТИЕ О ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИИ

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ УРАВНЕНИЕ ОБЪЕКТА

$$T_1 \frac{d^2 Y(t)}{dt^2} + T_2 \frac{dY(t)}{dt} + T_3 Y(t) = K_1 \frac{dX(t)}{dt} + K_2 X(t) + K_3 F(t)$$

ОПЕРАТОР ЛАПЛАСА

$$p = \frac{d}{dt}$$

ПОСЛЕ ПОДСТАНОВКИ И ПРЕОБРАЗОВАНИЙ

$$T_1 p^2 Y(p) + T_2 p Y(p) + T_3 Y(p) = K_1 p X(p) + K_2 X(p) + K_3 F(p),$$

$$(T_1 p^2 + T_2 p + T_3) Y(p) = (K_1 p + K_2) X(p) + K_3 F(p).$$

**ПЕРЕДАТОЧНАЯ ФУНКЦИЯ**

$$Y = \frac{(K_1 p + K_2) X + K_3 F}{T_1 p^2 + T_2 p + T_3} = \frac{K_1 p + K_2}{T_1 p^2 + T_2 p + T_3} X + \frac{K_3}{T_1 p^2 + T_2 p + T_3} F$$

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

ПЕРЕДАТОЧНАЯ ФУНКЦИЯ ПО КАНАЛУ УПРАВЛЕНИЯ

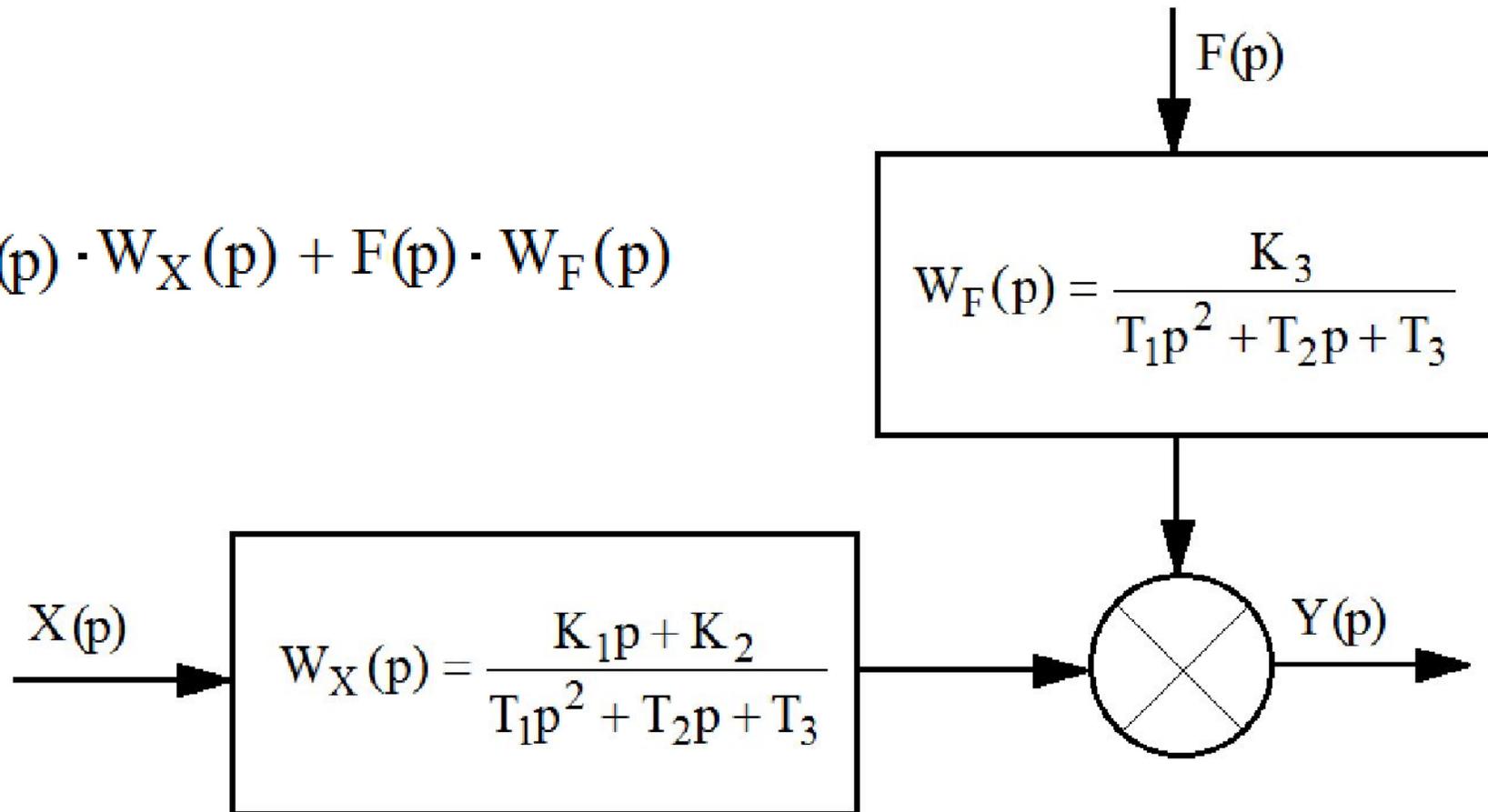
ПЕРЕДАТОЧНАЯ ФУНКЦИЯ ПО КАНАЛУ ВОЗМУЩЕНИЯ

$$W_X(p) = \frac{K_1 p + K_2}{T_1 p^2 + T_2 p + T_3}$$

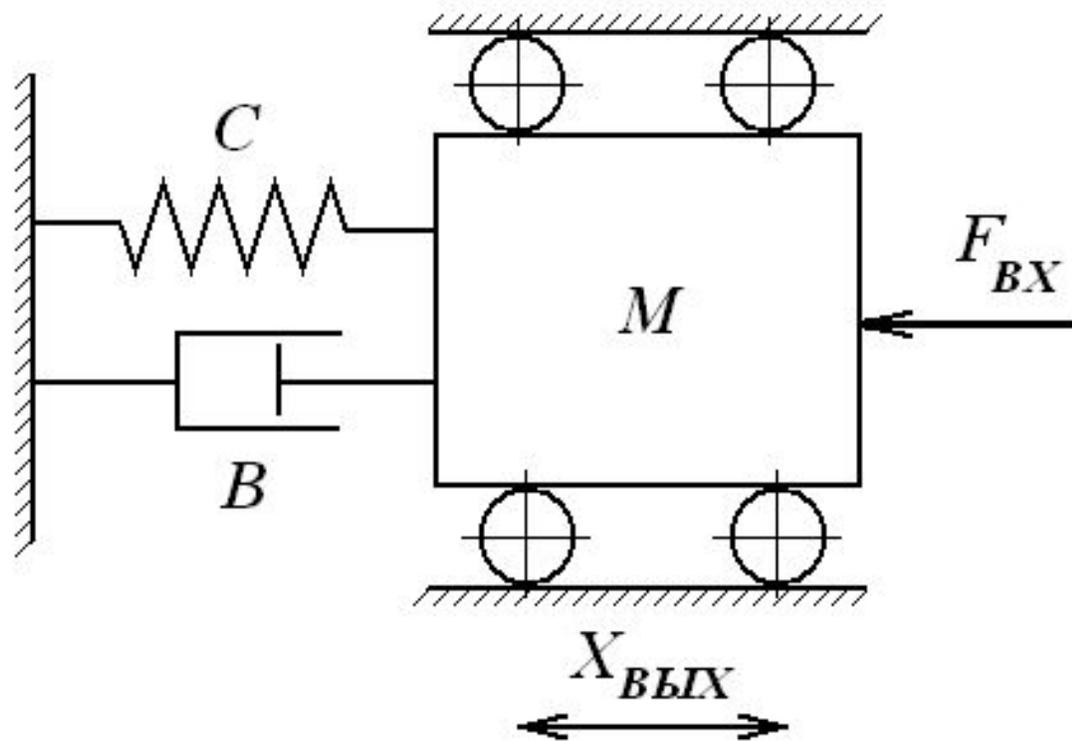
$$W_F(p) = \frac{K_3}{T_1 p^2 + T_2 p + T_3}$$

# ПОНЯТИЕ О ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИИ (продолжение)

$$Y(p) = X(p) \cdot W_X(p) + F(p) \cdot W_F(p)$$



# ПЕРЕДАТОЧНАЯ ФУНКЦИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА (НА ПРИМЕРЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ)



$$M \cdot a = \sum_{i=1}^n F_i = -F_B - F_C + F_{\text{ВХ}}$$

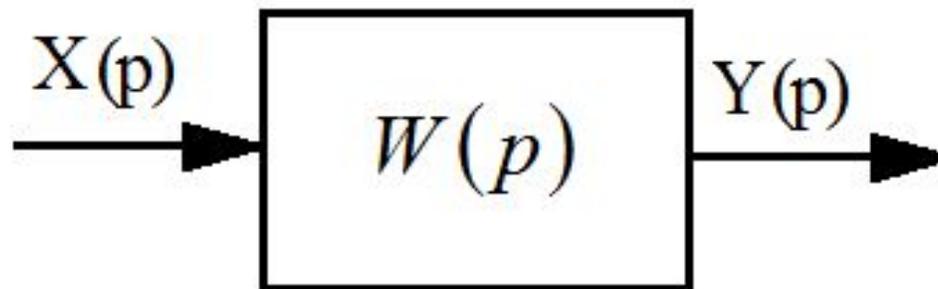
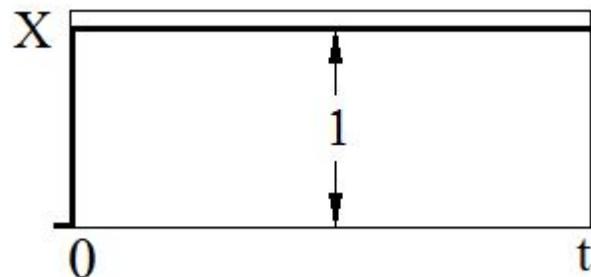
$$M \frac{d^2 X_{\text{ВЫХ}}}{dt^2} + B \frac{dX_{\text{ВЫХ}}}{dt} + CX_{\text{ВЫХ}} = F_{\text{ВХ}}$$

$$W(p) = \frac{k}{T_2 \cdot p^2 + T_1 \cdot p + 1}$$

$$T_2 = \frac{M}{C}, \quad T_1 = \frac{B}{C}, \quad k = \frac{1}{C}$$

# ПЕРЕДАТОЧНЫЕ ФУНКЦИИ ТИПОВЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ЗВЕНЬЕВ

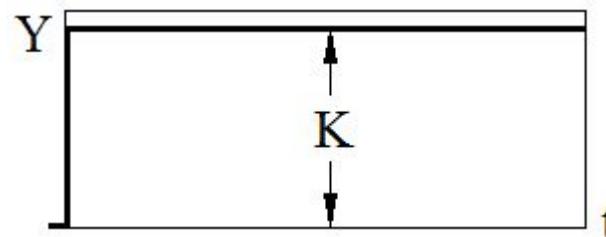
ВХОДНОЙ СИГНАЛ  $X(p) = 1(p)$



**ПЕРЕДАТОЧНЫЕ  
ФУНКЦИИ**  
(ФУНКЦИИ ОБРАЖЕНИЙ ПО  
ЛАПЛАСУ)  
БЕЗЫНЕРЦИОННОЕ (УСИЛИТЕЛЬНОЕ)  
ЗВЕНО

$$W(p) = K(p)$$

**ПЕРЕХОДНЫЕ  
ХАРАКТЕРИСТИКИ**  
(ВРЕМЕННЫЕ  
ОБЛАСТИ)



# ПЕРЕДАТОЧНЫЕ ФУНКЦИИ ТИПОВЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ЗВЕНЬЕВ

## ПЕРЕДАТОЧНЫЕ ФУНКЦИИ

ИНТЕГРИРУЮЩЕЕ  
ЗВЕНО

$$W(p) = \frac{K}{T_{\text{И}} \cdot p}$$

АПЕРИОДИЧЕСКОЕ (ИНЕРЦИОННОЕ) ЗВЕНО 1-го  
ПОРЯДКА

$$W(p) = \frac{K}{T \cdot p + 1}$$

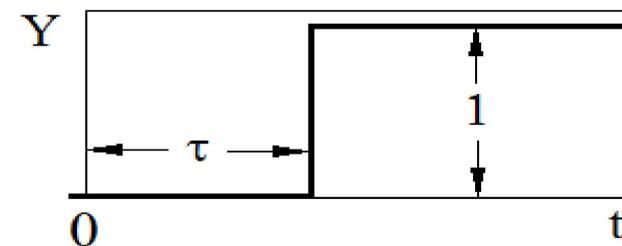
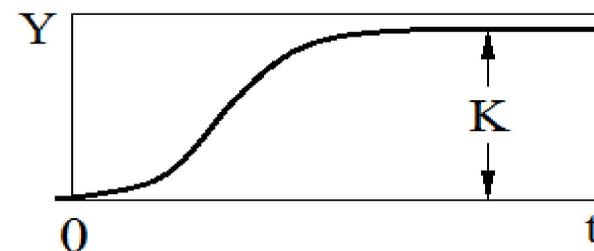
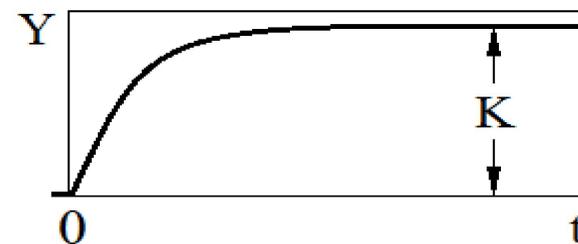
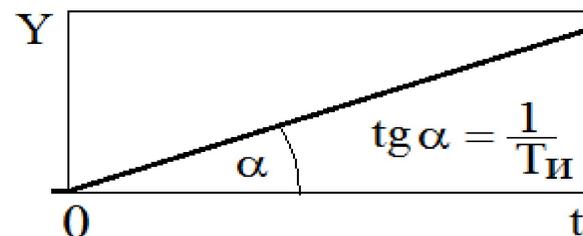
АПЕРИОДИЧЕСКОЕ ЗВЕНО (ИНЕРЦИОННОЕ) 2-го  
ПОРЯДКА

$$W(p) = \frac{K}{T_2 \cdot p^2 + T_1 \cdot p + 1}$$

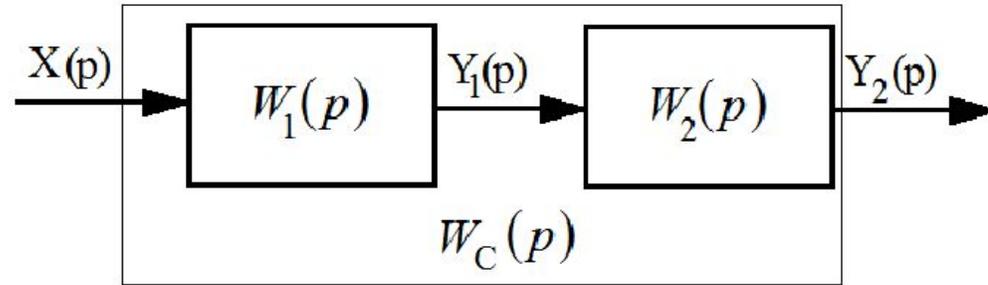
ЗВЕНО ЧИСТОГО  
ЗАПАЗЫВАНИЯ

$$W(p) = K \cdot \exp\{-\tau \cdot p\}$$

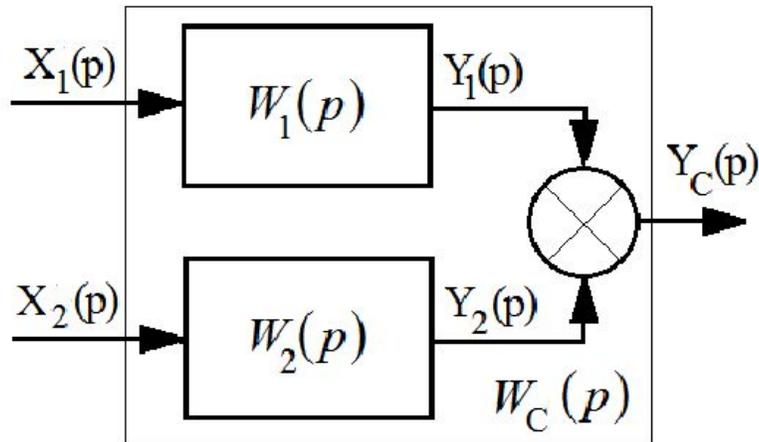
## ПЕРЕХОДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ



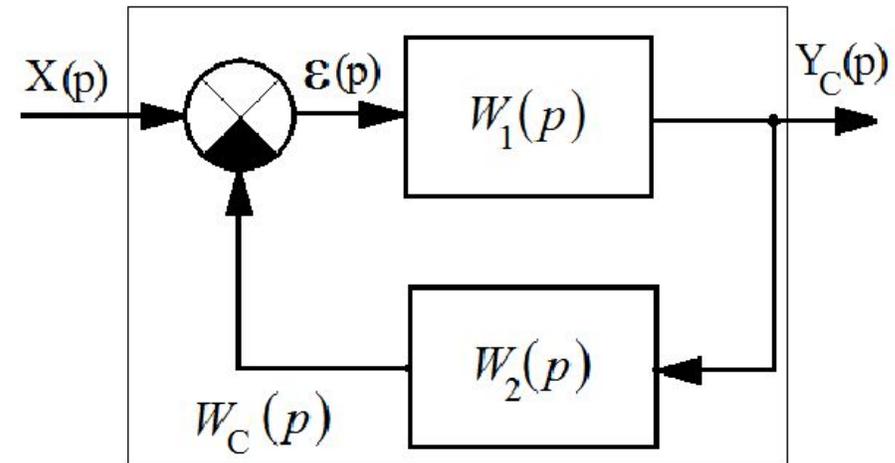
# АЛГЕБРА ПЕРЕДАТОЧНЫХ ФУНКЦИЙ



$$W_C(p) = W_1(p) \cdot W_2(p)$$

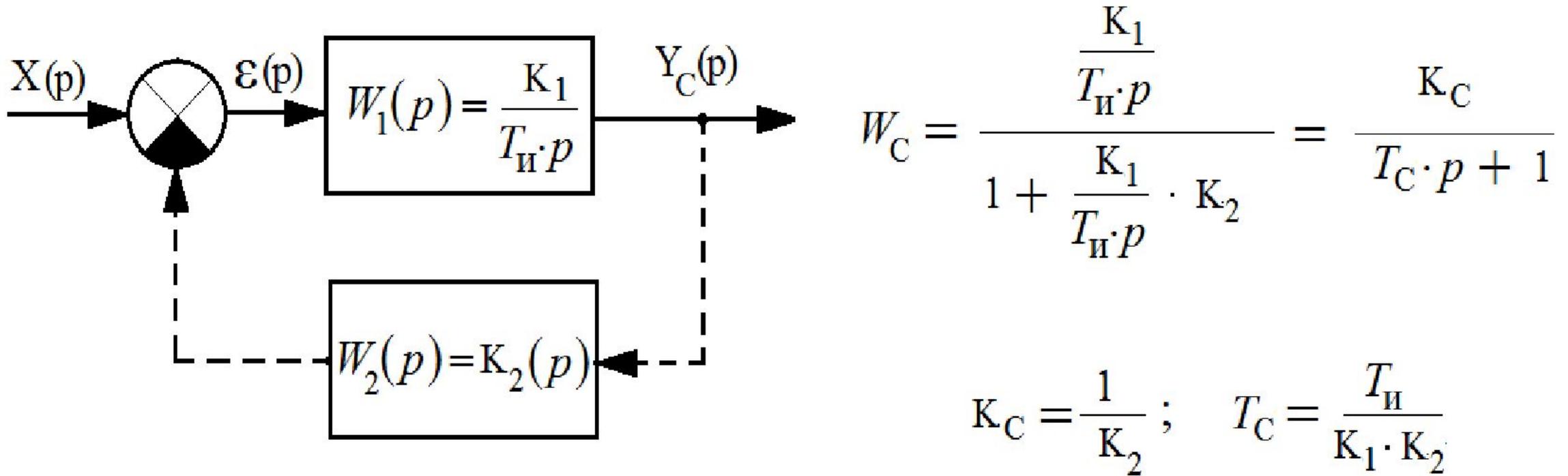


$$W_C(p) = W_1(p) + W_2(p)$$



$$W_C(p) = \frac{W_1(p)}{1 + W_1(p) \cdot W_2(p)}$$

# ПРИМЕР



**ОТРИЦАТЕЛЬНАЯ ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ  
ОБЕСПЕЧИВАЕТ УСТОЙЧИВОСТЬ  
ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

# ***ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ТЕОРИИ ИЗМЕРЕНИЙ***

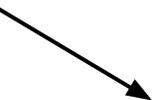
**ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА** – СВОЙСТВО ПРЕДМЕТОВ ИЛИ ЯВЛЕНИЙ, ОДИНАКОВОЕ ДЛЯ НИХ В КАЧЕСТВЕННОМ ОТНОШЕНИИ, НО РАЗЛИЧНОЕ В КОЛИЧЕСТВЕННОМ ОТНОШЕНИИ

**ИЗМЕРЕНИЕ** – Нахождение одного или нескольких соотношений физической величины с её единицей опытным путём с помощью технических средств

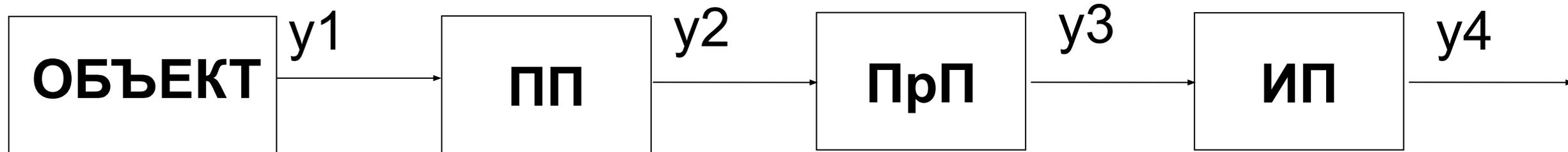
**ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ** – техническое средство с нормативными метрологическими характеристиками, служащее для преобразования измеряемой величины в другую величину или измерительный сигнал, удобный для обработки, хранения, дальнейших преобразований, индикации или передачи

**ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРИБОР** – ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ, СНАБЖЁННЫЙ УСТРОЙСТВОМ ИНДИКАЦИИ РЕЗУЛЬТАТА ИЗМЕРЕНИЯ

**ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ  
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ**  
ПЕРВИЧНЫЕ (ДАТЧИКИ)  
ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ



# СТРУКТУРА ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ЦЕПИ



ПП – первичный преобразователь;

ПрП – промежуточный преобразователь;

ИП – измерительный прибор.

$у1$  – измеряемый физический параметр;

$у2$  – промежуточный сигнал;

$у3$  – унифицированный сигнал;

$у4$  – результат измерения.

**ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ** – разность между результатом измерения и опорным значением. В качестве опорного принимается значение измеряемой величины, соответствующее ей с пренебрежимо малой для данной задачи погрешностью, например,

**ДОСТОВЕРНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ** – действительное значение СТЕПЕНЬ ДОВЕРИЯ К НИМ, ВЫРАЖЕННАЯ В ТЕРМИНАХ ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТИ И МАТЕМАТИЧЕСКОЙ

СТАТИСТИКИ  
**ВОСПРОИЗВОДИМОСТЬ** ХАРАКТЕРИЗУЕТ СТЕПЕНЬ БЛИЗОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ ОДНОЙ И ТОЙ ЖЕ ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ, ПОЛУЧЕННЫХ В РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ

**СХОДИМОСТЬ** ХАРАКТЕРИЗУЕТ СТЕПЕНЬ БЛИЗОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ ОДНОЙ И ТОЙ ЖЕ ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ПОВТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ В ОДИНАКОВЫХ УСЛОВИЯХ

**ВАРИАЦИЯ** – АЛГЕБРАИЧЕСКАЯ РАЗНОСТЬ ПОКАЗАНИЙ в одной и той же точке измерений ПРИ плавном подходе к ней со стороны больших и меньших значений

**КЛАСС ТОЧНОСТИ** ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРИБОРА – ОБОБЩЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА средства измерения, отражающая уровень точности, и выраженная в терминах точностных характеристик

**ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ** ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРИБОРА - ОТНОШЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СИГНАЛА НА ВЫХОДЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРИБОРА К ВЫЗЫВАЮЩЕМУ ЕГО ИЗМЕНЕНИЮ ИЗМЕРЯЕМОЙ ВЕЛИЧИНЫ.

**ПОРОГ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ** – НАИМЕНЬШЕЕ ЗНАЧЕНИЕ ИЗМЕРЯЕМОЙ ВЕЛИЧИНЫ, начиная с которого ее можно измерять с помощью данного СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

# ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## ВИДЫ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

СТАТИЧЕСКИЕ  
ДИНАМИЧЕСКИЕ

ПРЯМЫЕ  
КОСВЕННЫЕ

## МЕТОДЫ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

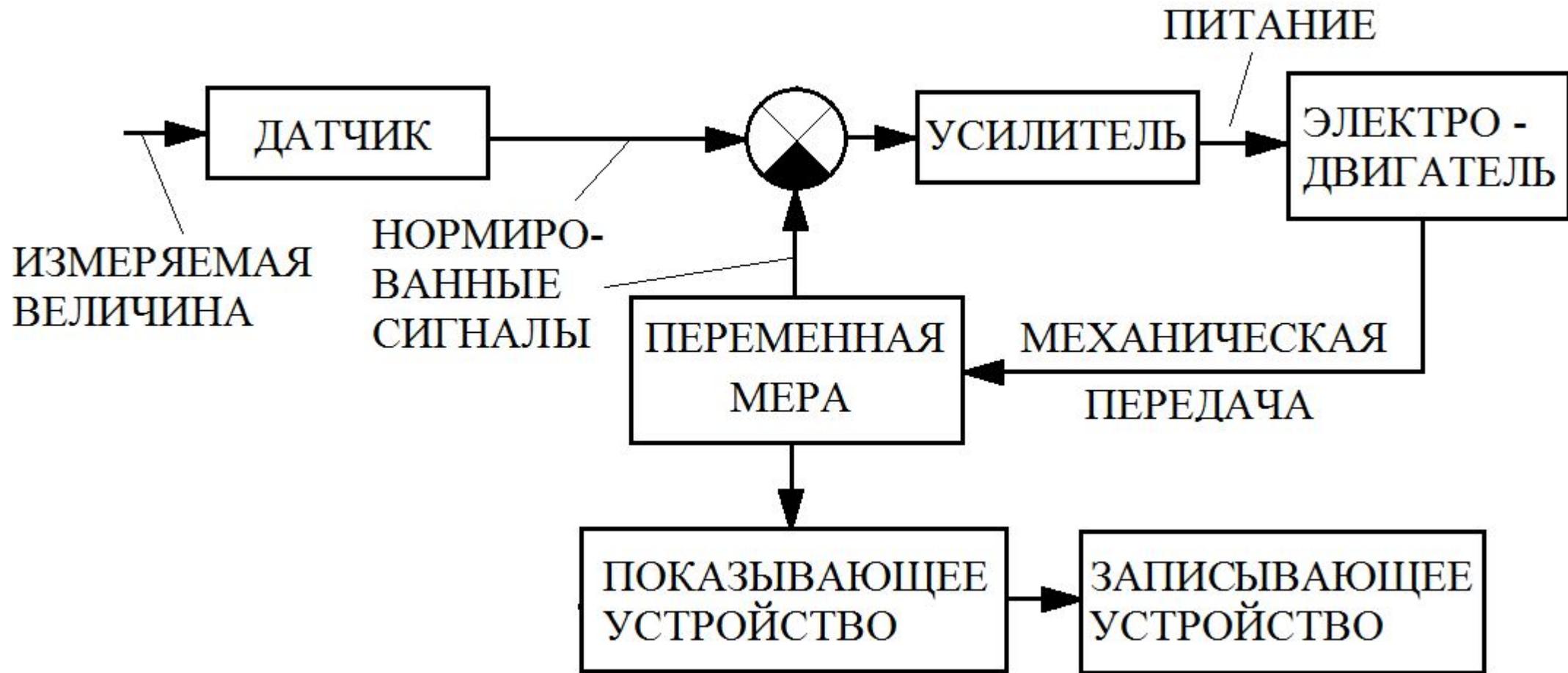
СРАВНЕНИЕ С  
МЕРОЙ

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬ  
НЫЙ  
МЕТОД

НУЛЕВОЙ  
МЕТОД

МЕТОД  
НЕПОСРЕДСТВЕНН  
ОЙ  
ОЦЕНКИ

# ПРИНЦИП АВТОМАТИЧЕСКОГО ИЗМЕРЕНИЯ

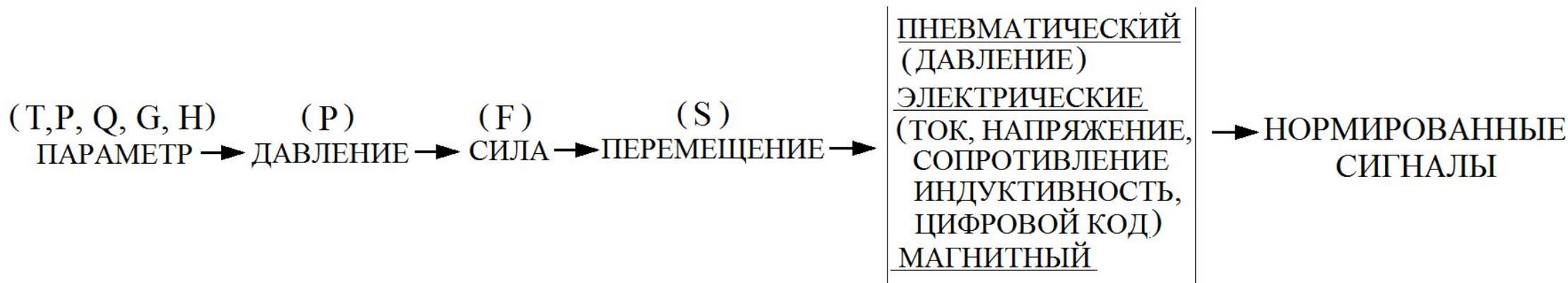


# СИГНАЛЫ ГОСУДАРСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ ПРИБОРОВ (ГСП)

ВЕТВИ ГСП	ВИД СИГНАЛА	ПРЕДЕЛЫ ИЗМЕРЕНИЯ
<u>электрическая</u>		
- АНАЛОГОВЫЕ	- СИГНАЛЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА:	
	- ТОКОВЫЕ	0-5; 0-20; 4-20 мА
	- НАПРЯЖЕНИЕ	0-100мВ; 0-10; -10-0-10В
	- СИГНАЛЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА	
	- НАПРЯЖЕНИЕ	0-2; -1-0-1 В
	- ВЗАИМОИНДУКТИВНОСТЬ	0-10; 10-0-10МГц
	- ЧАСТОТА	4-8 кГц
ДИСКРЕТНЫЕ	КОДИРОВАННЫЕ СИГНАЛЫ (ЦИФРОВЫЕ)	Гост 13052-74
<u>пневматическая</u>	ДАВЛЕНИЕ СЖАТОГО ВОЗДУХА	(0,02-0,1)МПа
<u>гидравлическая</u>	ДАВЛЕНИЕ ЖИДКОСТИ	1-6,4 МПа

# ОСНОВНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПРИ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЯХ

## ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ СИГНАЛЫ

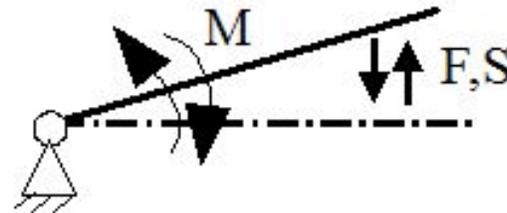


ПАРАМЕТР ПРОЦЕССА	ПРИМЕРЫ ФИЗИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ
ТЕМПЕРАТУРА (Т), ДАВЛЕНИЕ (Р)	$PV = nRT \quad (1)$
РАСХОД (G)	$Q = \alpha S \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad (2)$
УРОВЕНЬ (H)	$P = \rho gH \quad (3)$
КАЧЕСТВО (ВЯЗКОСТЬ) (Q)	$FR = K\omega\eta \quad (4)$

# ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ СИГНАЛОВ

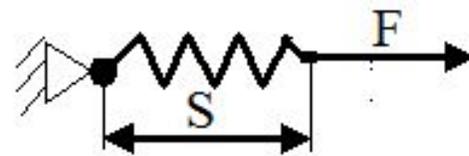
## МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

рычаг



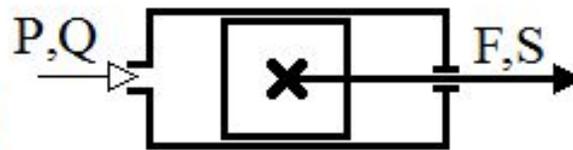
$F$  – сила;  
 $M$  – момент силы;  
 $S$  – перемещение.

пружина



$F$  – сила;  
 $S$  – перемещение.

поршень  
(демпфер)



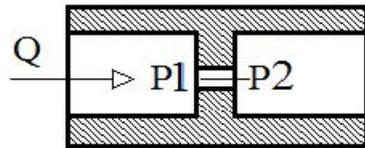
$P$  - давление,  $Q$  - расход  
 $S$  - перемещение

# ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ СИГНАЛОВ

## ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

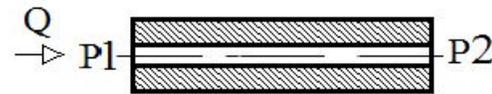
БАЗОВОЕ СООТНОШЕНИЕ  $Q = \frac{\Delta P}{R}$  - АНАЛОГ ЗАКОНА ОМА

### 1) ПОСТОЯННЫЕ ДРОССЕЛИ



турбулентный (жиклёр)

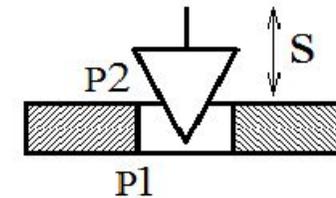
$$R = k\sqrt{\Delta P}$$



ламинарный (капилляр)

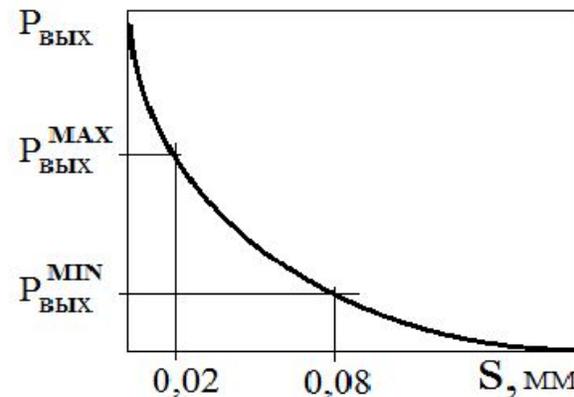
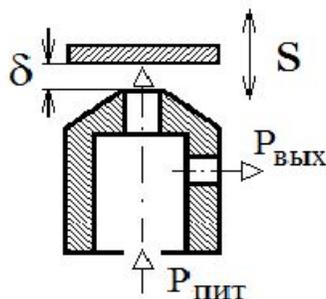
$$R = \text{const}$$

### 2) ПЕРЕМЕННЫЙ ДРОССЕЛЬ



$$R = f(S)$$

### 3) ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ "СОПЛО - ЗАСЛОНКА"



4) МЕМБРАНА

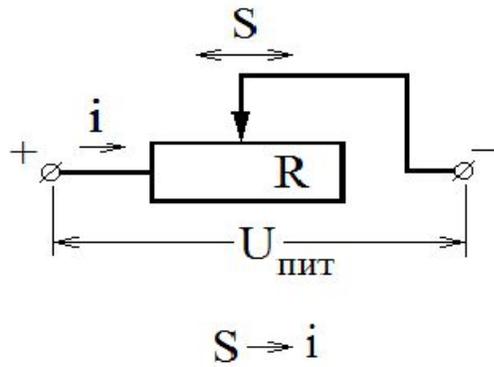
5) СИЛЬФОН

6) ТРУБЧАТАЯ ПРУЖИНА

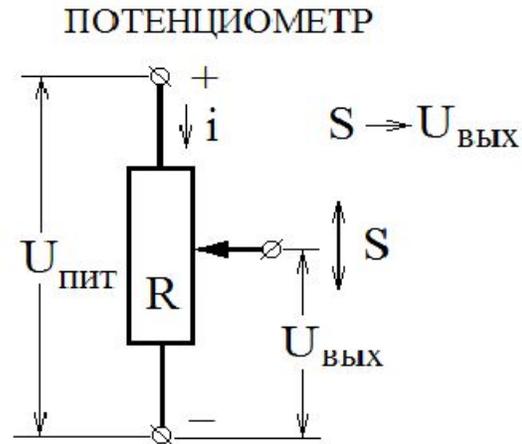
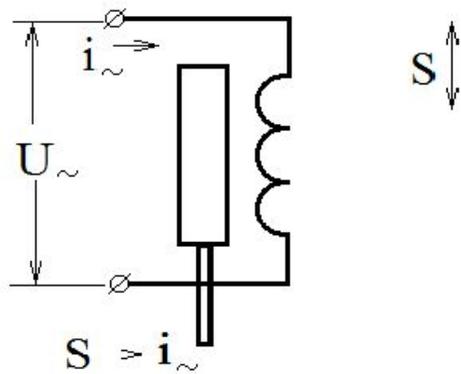
# ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ СИГНАЛОВ

Разделить на два слайда,  
добавив  
Магнитоэлектрический пр-ть

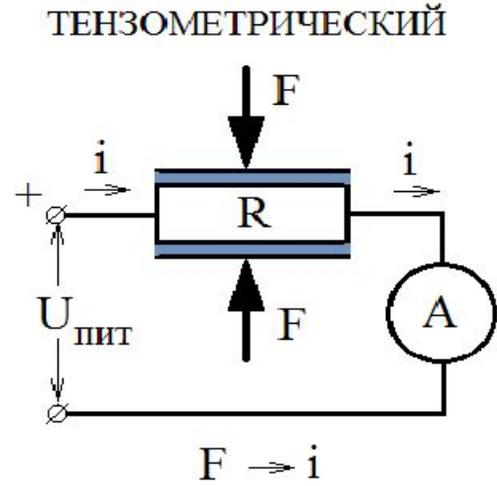
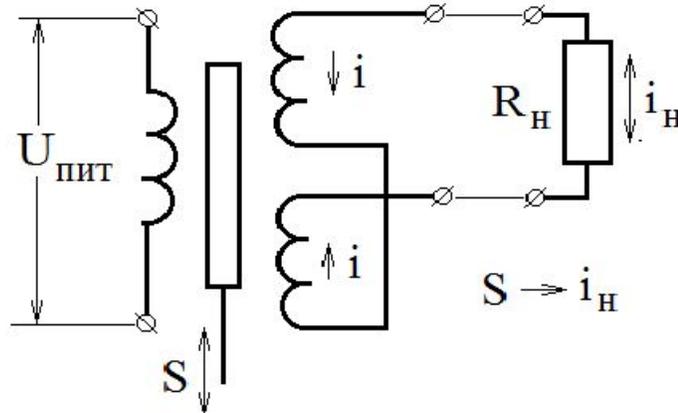
## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ



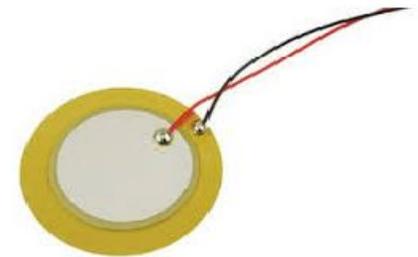
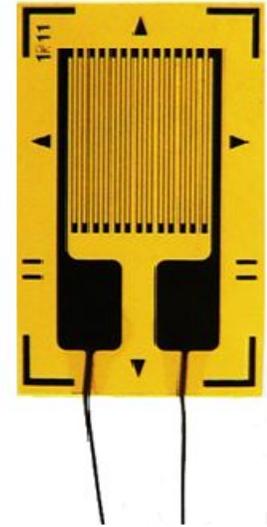
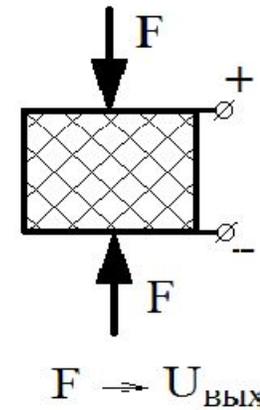
ИНДУКТИВНЫЙ



ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ТРАНСФОРМАТОРНЫЙ



ПЬЕЗОМЕТРИЧЕСКИЙ



# ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

## ТЕМПЕРАТУРА ХАРАКТЕРИЗУЕТ СТЕПЕНЬ НАГРЕТОСТИ ТЕЛА

*Жидкостные термометры расширения*

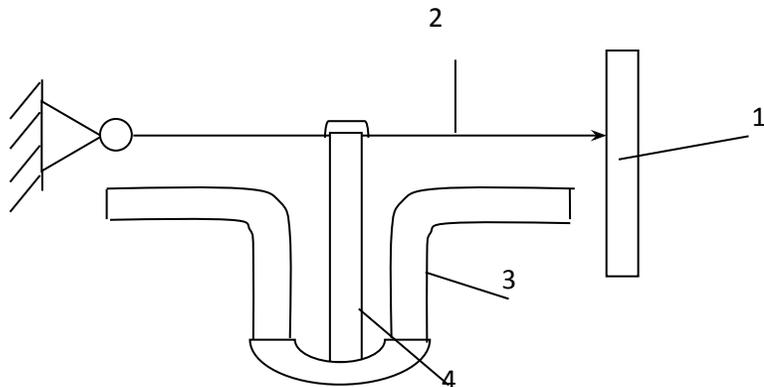
Коэффициент объемного расширения  $\beta_{t_1, t_2} = \frac{V_{t_1} - V_{t_2}}{V_0(t_2 - t_1)}$

Чувствительность 0,4...5 (до 200) мм/°С

### *Термометры расширения твердого тела*

дилатометрические

биметаллические



Коэффициент линейного расширения

$$\beta_{t_1, t_2} = \frac{l_{t_1} - l_{t_2}}{l_0(t_2 - t_1)}$$

## Манометрические термометры

Диапазон измерения температуры -60 д - до 550°С

Класс точности 1, 1,5,

2

1 – термобаллон

2 – капилляр

3 – манометрическая трубка

4 – тяга

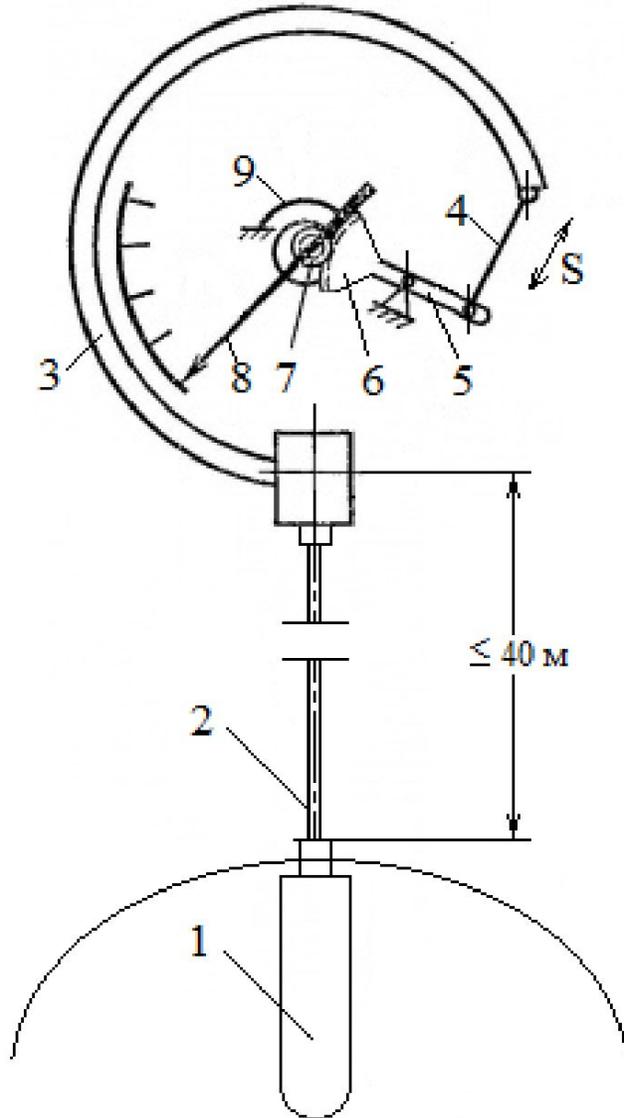
5 – рычаг

6 – зубчатый сектор

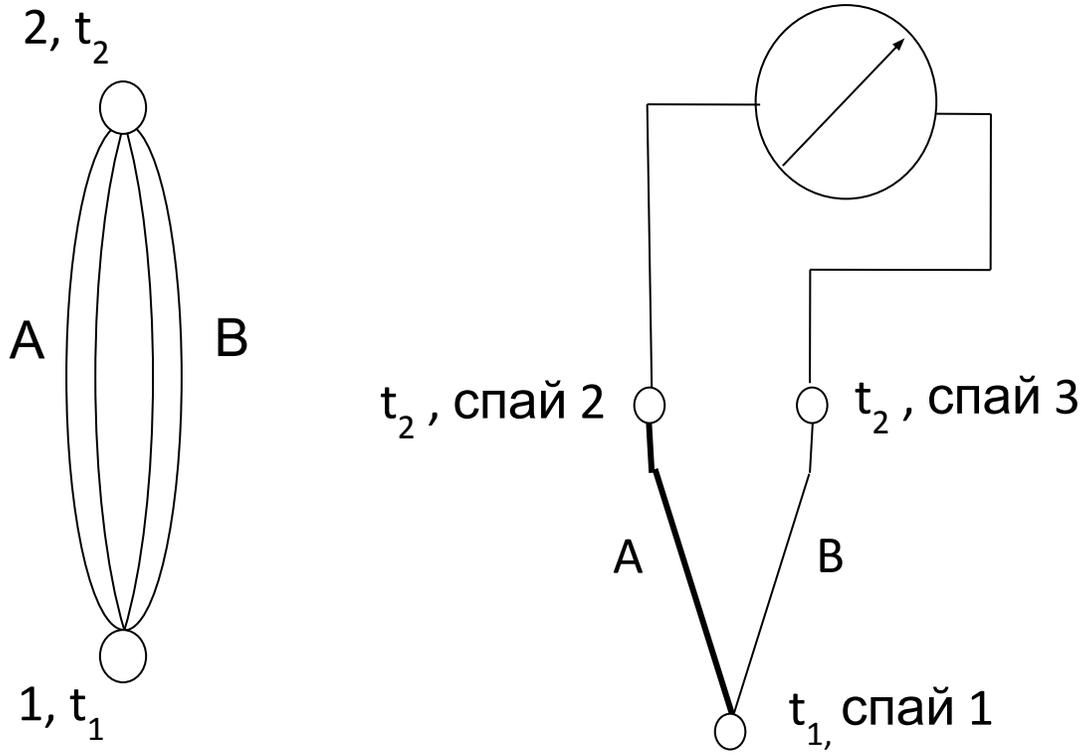
7 – шестерня

8 – указатель

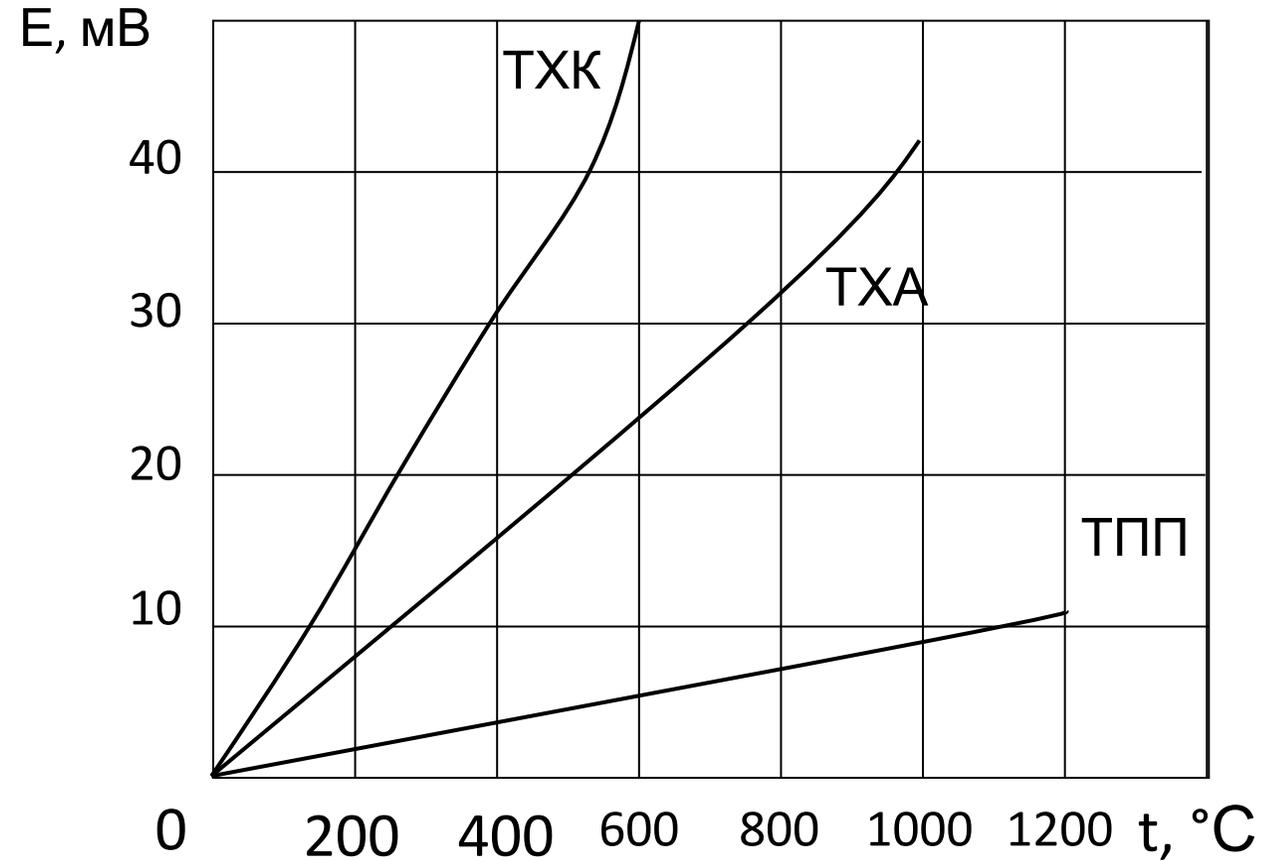
9 – пружина обратной связи



# ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ



$$E = \Delta U(1 - 2) = f(t_1 - t_2)$$



Экспериментальные градуировочные характеристики термопар

# МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТЕРМОМЕТРОВ (ТЕРМОПАР)

Название	Состав
Хромель	10% Cr + 90 % Ni
Платинородий	90 % Pt + 10 % Rh
Медь	Cu
Платина	Pt
Алюмель	95 % Ni + 5 % Al
Копель	56 % Cu + 44 % Ni
Константан	60 % Cu + 40 % Ni

## ТИПЫ ТЕРМОПАР И ПРЕДЕЛЫ ИЗМЕРЕНИЯ

ТХК (хромель-копель) – (-50 ... +60 °С);

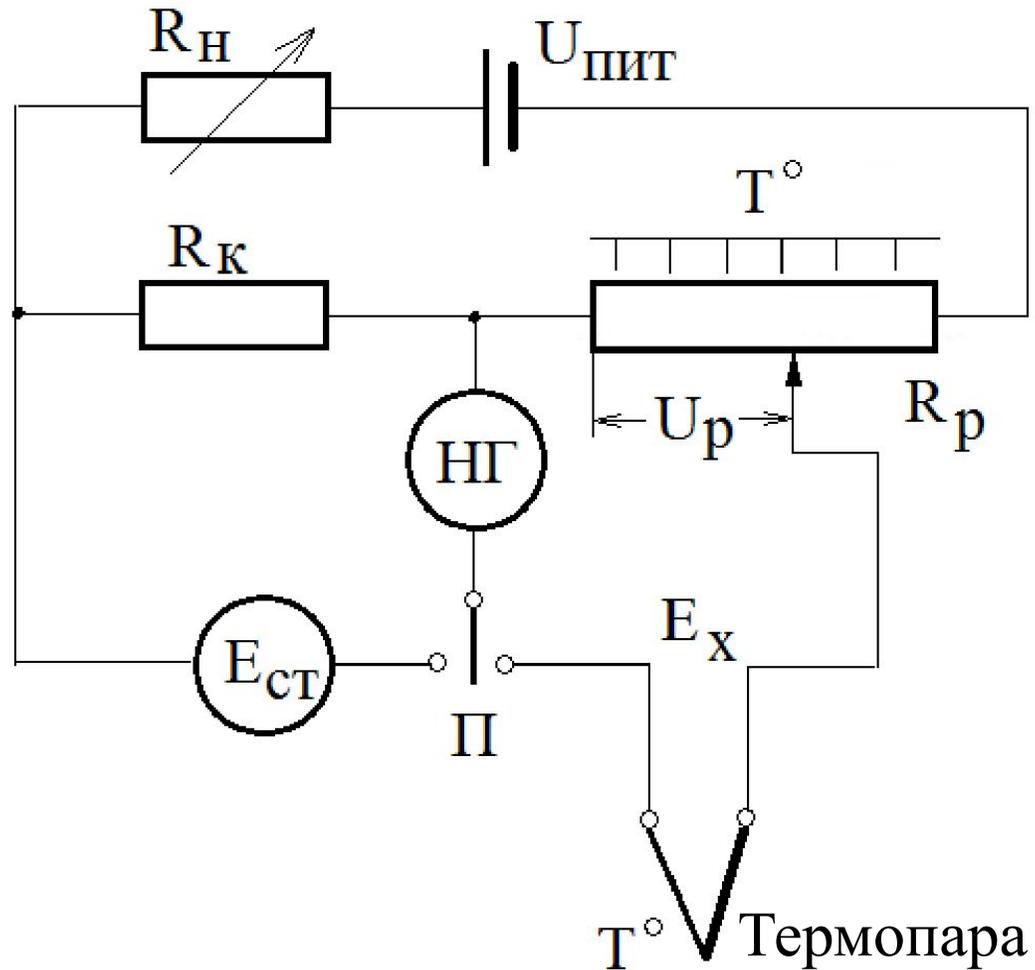
ТХА (хромель-алюмель) – (-50 ... +1000°С);

ТПП (платинородий-платина) – (0 - 1300°С);

ТПР (платинородий-платинородий) –  
(300 - 1600°С);

ТВР (вольфрамрений-вольфрамрений) –  
(0-2200°С).

# РУЧНОЙ ПОТЕНЦИОМЕТР



- $R_{\text{н}}$  – сопротивление для настройки
- $R_{\text{к}}$  – калиброванное сопротивление
- $R_{\text{р}}$  – сопротивление реохорда
- $U_{\text{пит}}$  – напряжение источника питания
- $U_{\text{р}}$  – компенсирующее напряжение
- $E_{\text{х}}$  – э.д.с. термопары
- $E_{\text{ст}}$  – э.д.с. стабилизированного источника питания
- $\Pi$  – переключатель
- $\text{НГ}$  – нуль-гальванометр

# ТЕРМОПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ СОПРОТИВЛЕНИЯ

## МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ

Платина, медь, никель, железо

## ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ

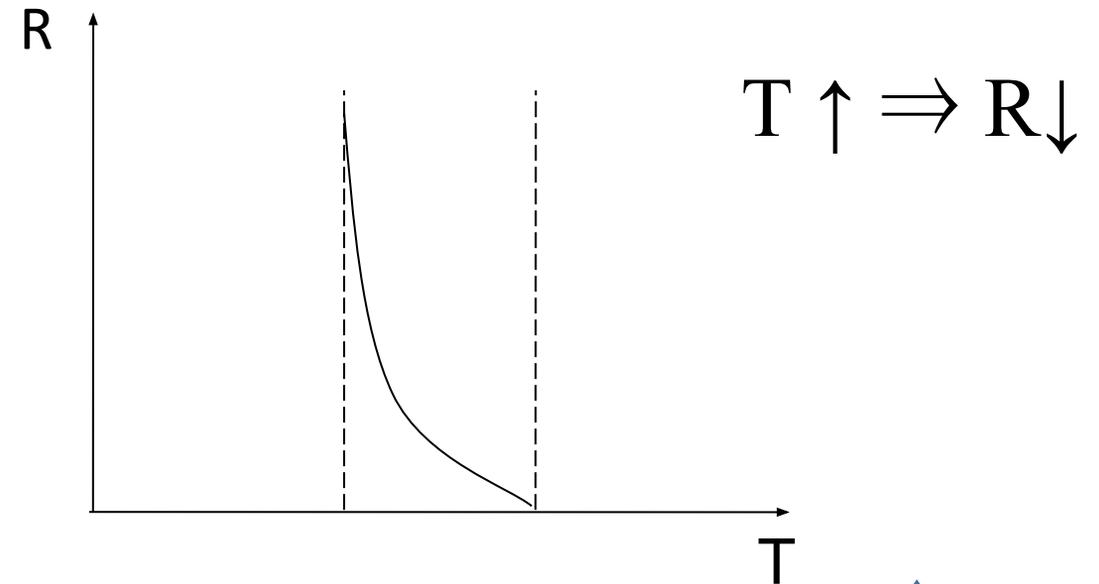
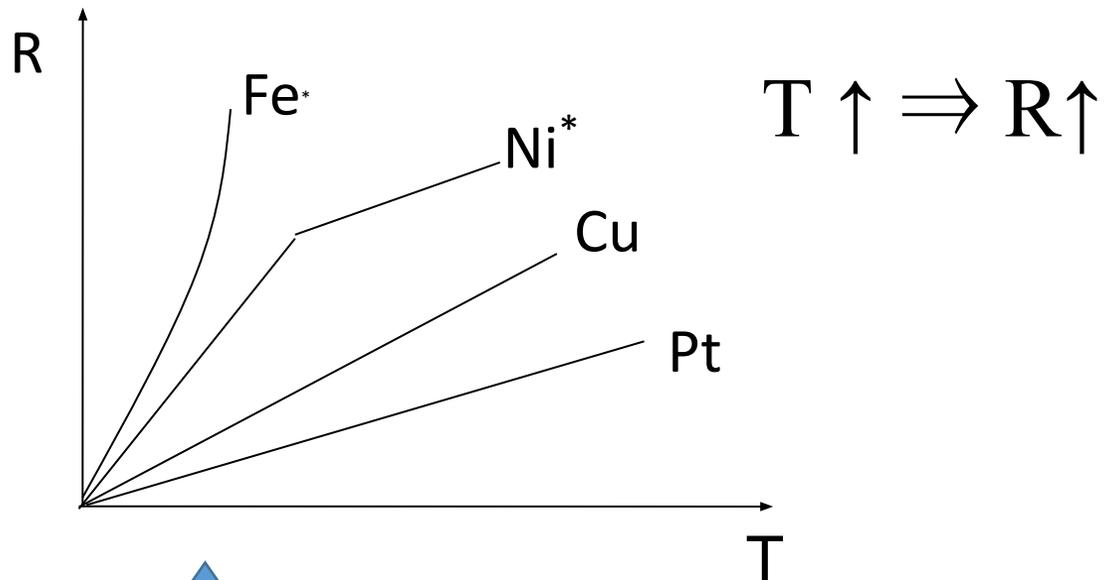
Окислы магния, кобальта, титана, меди

## СТАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

$$R_t = R_0 (1 + \alpha + \beta t^2)$$

$R_0$  – сопротивление при  $t = 0^\circ\text{C}$

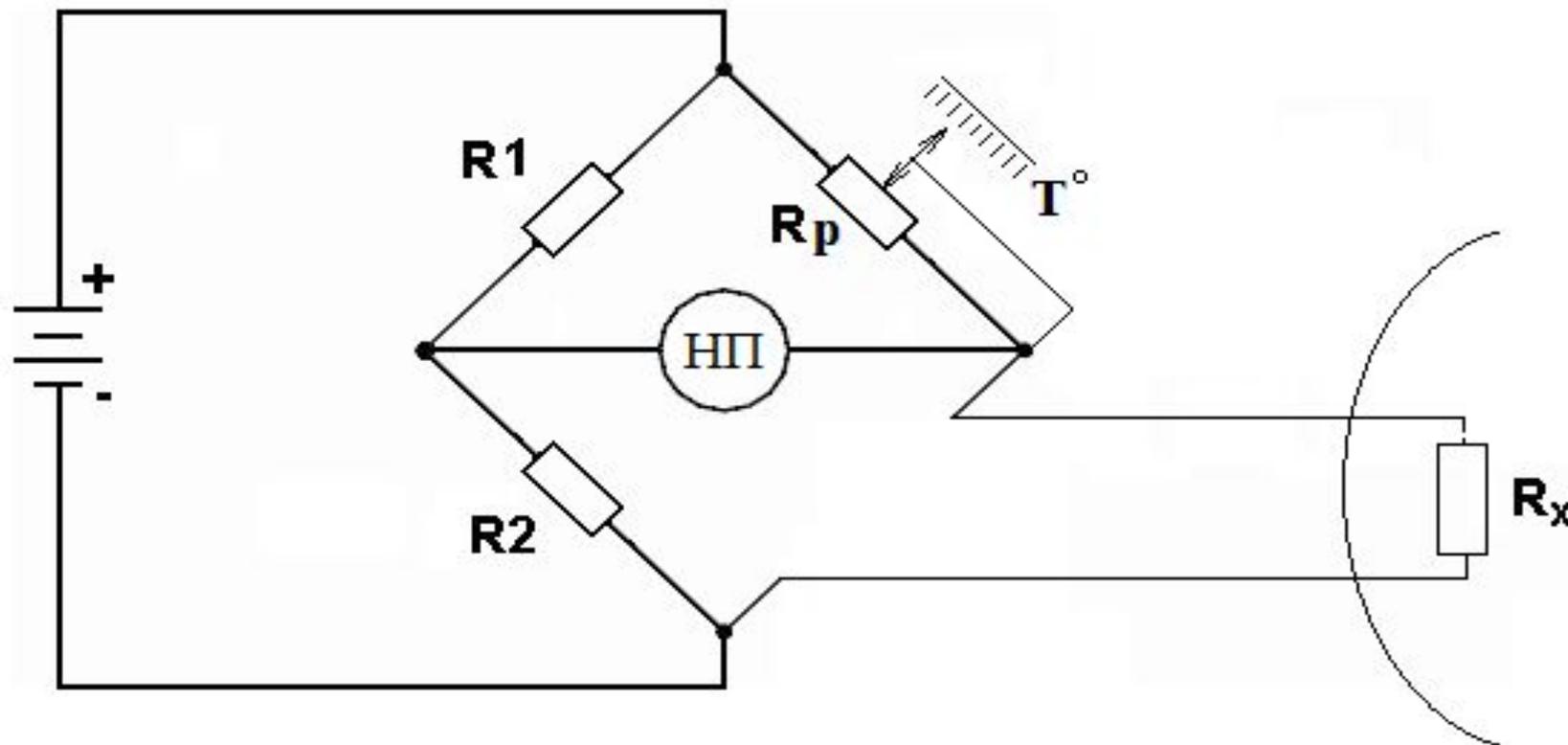
$$R_t = A e^{B/t}$$



# ТЕРМОПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ СОПРОТИВЛЕНИЯ

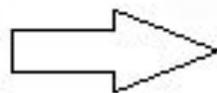
<i><b>МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ</b></i>	<i><b>ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ</b></i>
<i><b>ДИАПАЗОН ИЗМЕРЕНИЯ</b></i>	
(-200 ... + 650) °С	(-60 ... + 280) °С
<i><b>ДОСТОИНСТВА:</b></i>	
<ul style="list-style-type: none"><li>□ - ЛИНЕЙНОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК;</li><li>□ - ПРОСТОТА ИЗГОТОВЛЕНИЯ;</li><li>□ - ОТНОСИТЕЛЬНО ШИРОКИЙ ДИАПАЗОН ИЗМЕРЕНИЯ;</li><li>□ - ВЫСОКАЯ НАДЕЖНОСТЬ.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>□ МАЛЫЕ ГАБАРИТЫ</li><li>□ ВЫСОКАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ;</li><li>□ НИЗКАЯ ИНЕРЦИОННОСТЬ.</li></ul>
<i><b>НЕДОСТАТКИ:</b></i>	
<ul style="list-style-type: none"><li>□ - БОЛЬШИЕ ГАБАРИТЫ;</li><li>□ - СРАВНИТЕЛЬНО НИЗКАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ</li><li>□ - БОЛЬШАЯ ИНЕРЦИОННОСТЬ (ДО 10 МИН).</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>□ - ПЛОХАЯ ВОСПРОИЗВОДИМОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК;</li><li>□ - ОГРАНИЧЕННЫЙ ДИАПАЗОН ИЗМЕРЕНИЯ;</li><li>□ - ОГРАНИЧЕННЫЙ СРОК СЛУЖБЫ.</li></ul>

# УРАВНОВЕЩЕННАЯ МОСТОВАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СХЕМА



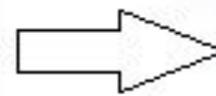
Условие баланса моста:

$$\frac{R_a}{R_x} = \frac{R1}{R2}$$



При изменении T°

$$R1 \cdot R_x = \kappa R_p \cdot R2$$

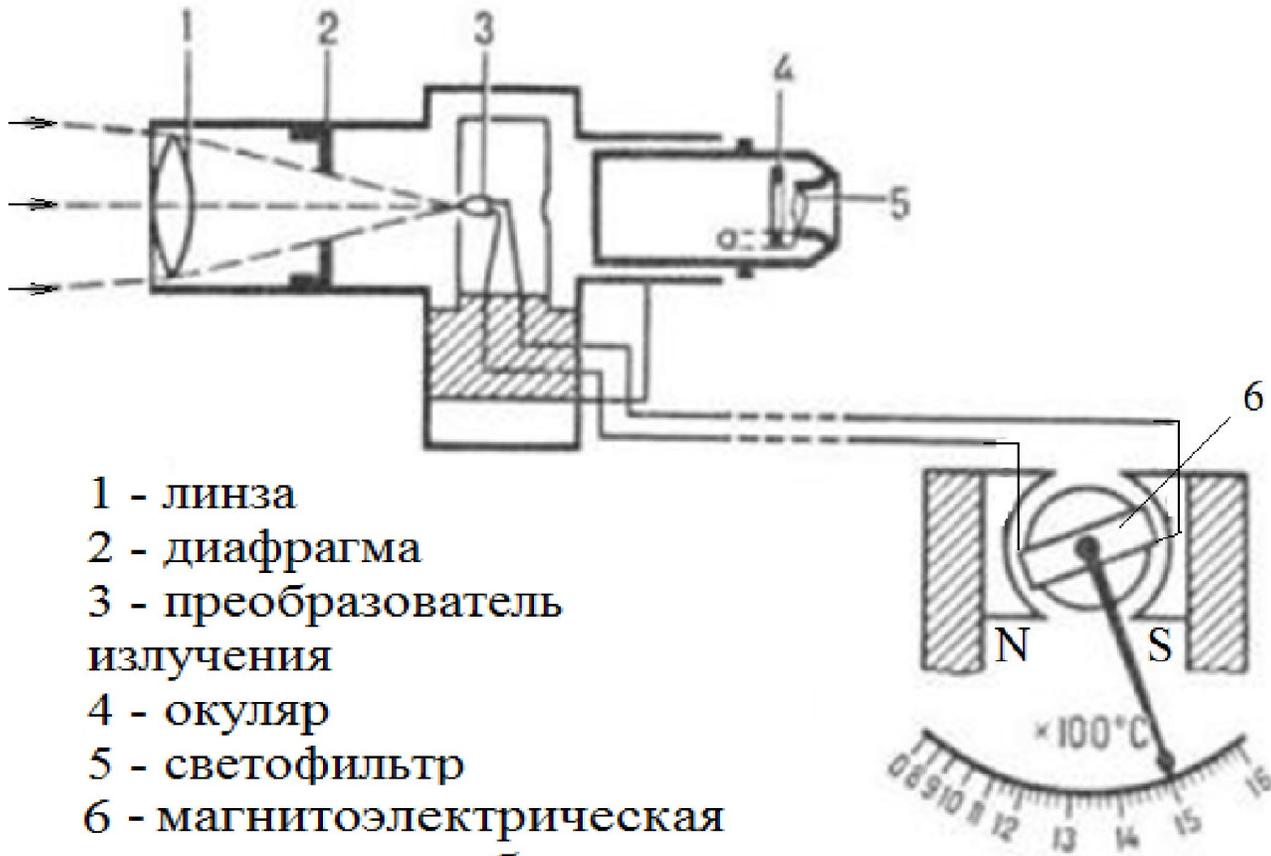


$$i_{НП} = 0$$

# ПИРОМЕТРЫ

ПИРОМЕТР ПОЛНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

ДИАПАЗОН  
ИЗМЕРЕНИЯ  
-50 до 3000°C



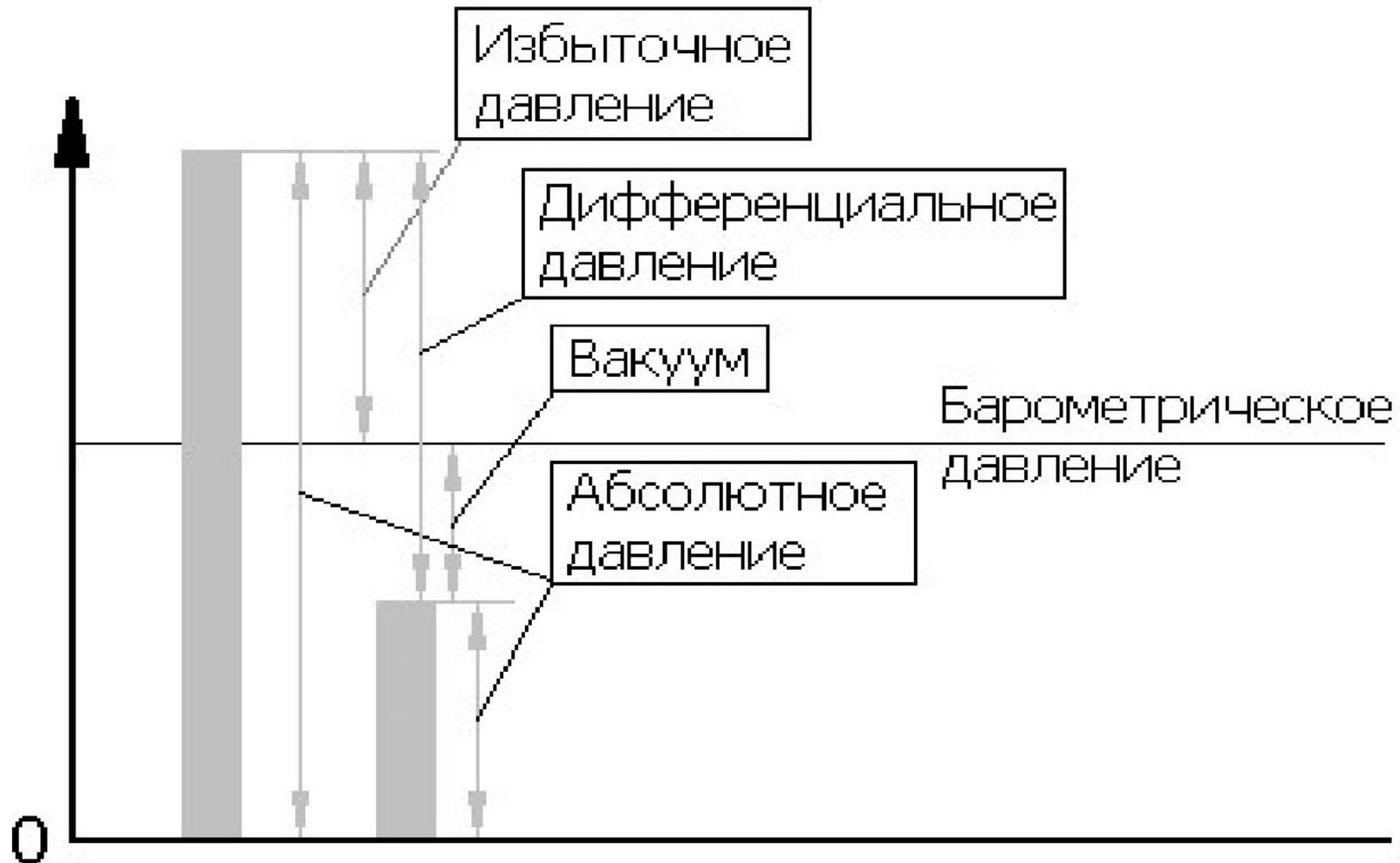
- 1 - линза
- 2 - диафрагма
- 3 - преобразователь излучения
- 4 - окуляр
- 5 - светофильтр
- 6 - магнитоэлектрическая система преобразования тока в угол поворота



МОБИЛЬНЫЙ ПИРОМЕТР С  
ЦИФРОВОЙ ИНДИКАЦИЕЙ  
РЕЗУЛЬТАТА ИЗМЕРЕНИЯ

# ИЗМЕРЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ

## ВИДЫ ДАВЛЕНИЯ



# *ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДАВЛЕНИЯ*

---

## **КЛАССИФИКАЦИЯ ПО ПРИНЦИПУ ДЕЙСТВИЯ**

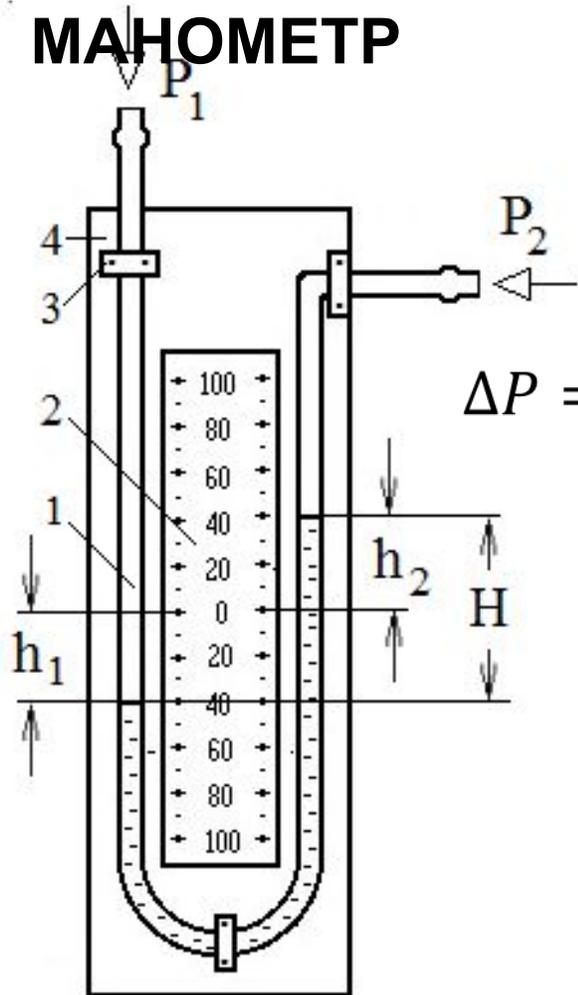
- **ЖИДКОСТНЫЕ** (ОСНОВАННЫЕ НА УРАВНОВЕШИВАНИИ ДАВЛЕНИЯ СТОЛБОМ ЖИДКОСТИ);
- **ДЕФОРМАЦИОННЫЕ** (ДАВЛЕНИЕ ИЗМЕРЯЕТСЯ ПО ВЕЛИЧИНЕ ДЕФОРМАЦИИ УПРУГОГО ЭЛЕМЕНТА);
- **ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ** (ДАВЛЕНИЕ ПРЕОБРАЗУЕТСЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ СИГНАЛ – ИЗМЕНЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЛИ НАПРЯЖЕНИЯ)

# По диапазону измерения

- МАНОМЕТРЫ
- ДИФФМАНОМЕТРЫ
- ВАКУУМЕТРЫ
- МАНОВАКУУМЕТРЫ
- НАПОРОМЕРЫ
- ТЯГОМЕРЫ
- ТЯГОНАПОРОМЕРЫ

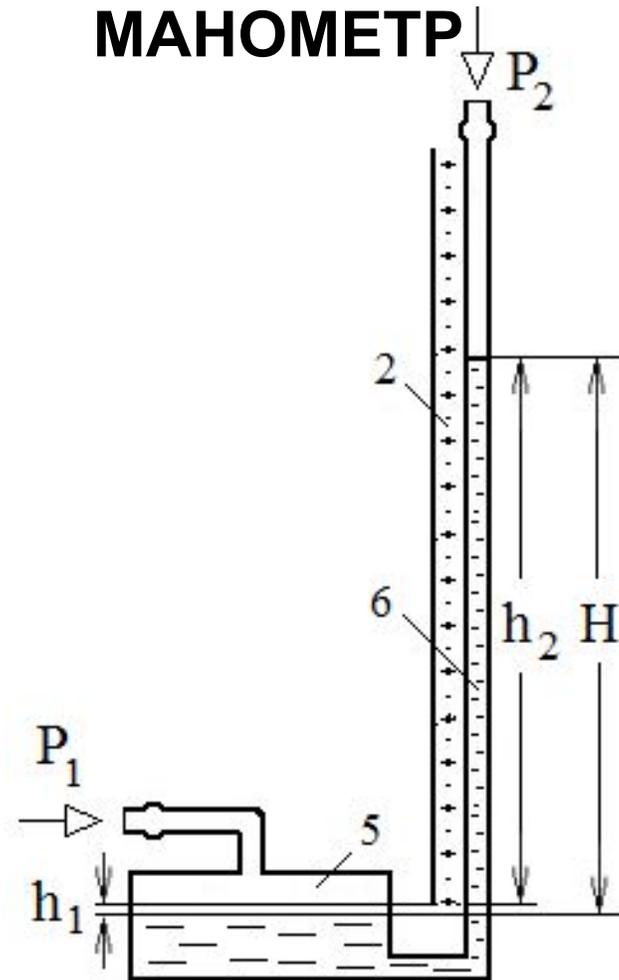
# ЖИДКОСТНЫЕ МАНОМЕТРЫ

## U-ОБРАЗНЫЙ МАНОМЕТР



$$\Delta P = (h_1 + h_2) \cdot \rho_{\text{ж}} \cdot g = H \cdot \rho_{\text{ж}} \cdot g$$

## ЧАШЕЧНЫЙ МАНОМЕТР

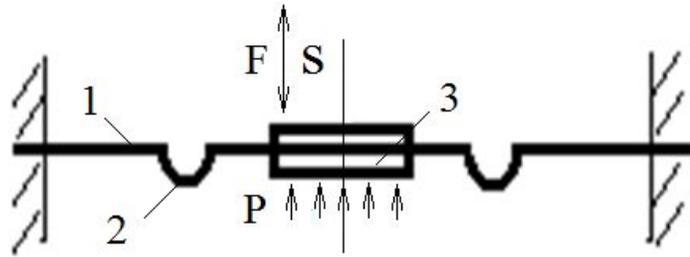


$$\Delta P \approx \rho_{\text{ж}} \cdot h_2$$

$$S/s > 400$$

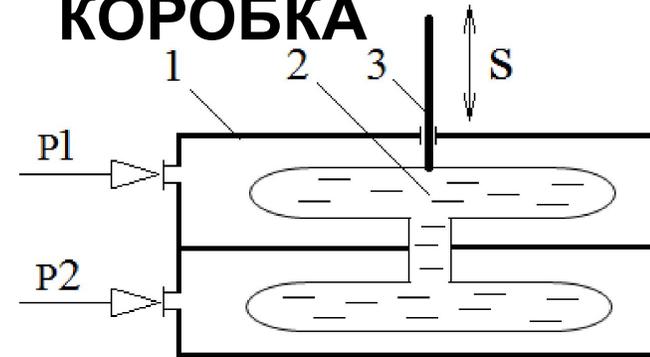
# ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ НА УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТАХ

## ГОФРИРОВАННАЯ МЕМБРАНА



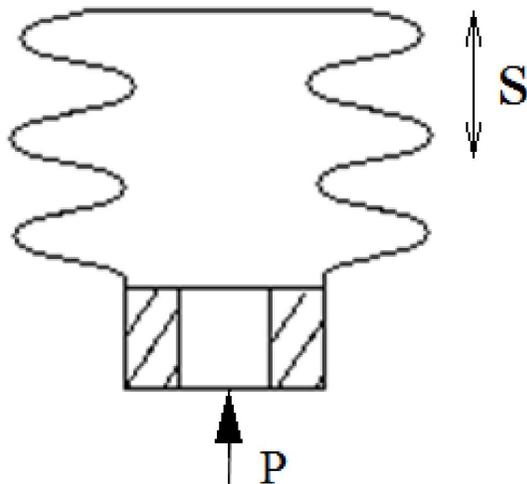
$P \rightarrow F$   
 $P \rightarrow S$

## МЕМБРАННАЯ КОРОБКА



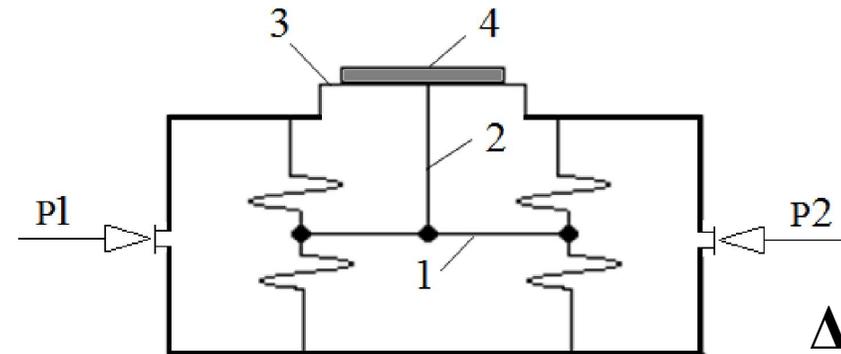
$\Delta P \rightarrow S$

## СИЛЬФОН



$P \rightarrow S$   
 $P \rightarrow F$

## ТЕНЗОРЕЗИСТОРНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ «КРЕМНИЙ НА САПФИРЕ»



$\Delta P \rightarrow R$

# ИНТЕЛЛЕКТНЫЕ ДАТЧИКИ ДАВЛЕНИЯ

## МАНОМЕТР

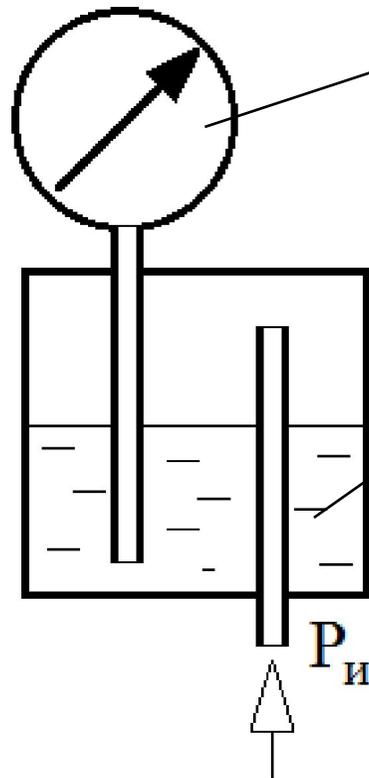
## ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ

## МАНОМЕТР



# ЗАЩИТА ОТ АГРЕССИВНЫХ СРЕД

## РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫЙ СОСУД

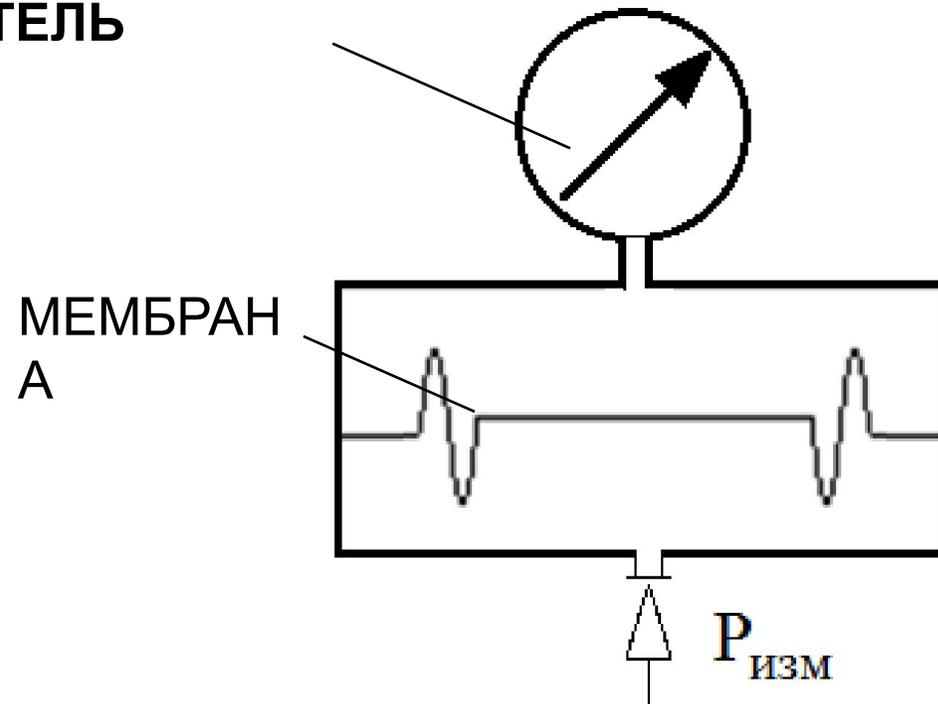


ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДАВЛЕНИЯ

РАЗДЕЛИТЕЛЬНАЯ (НЕЙТРАЛЬНАЯ) ЖИДКОСТЬ

$P_{ИЗМ}$

## МЕМБРАННЫЙ РАЗДЕЛИТЕЛЬ



МЕМБРАН  
А

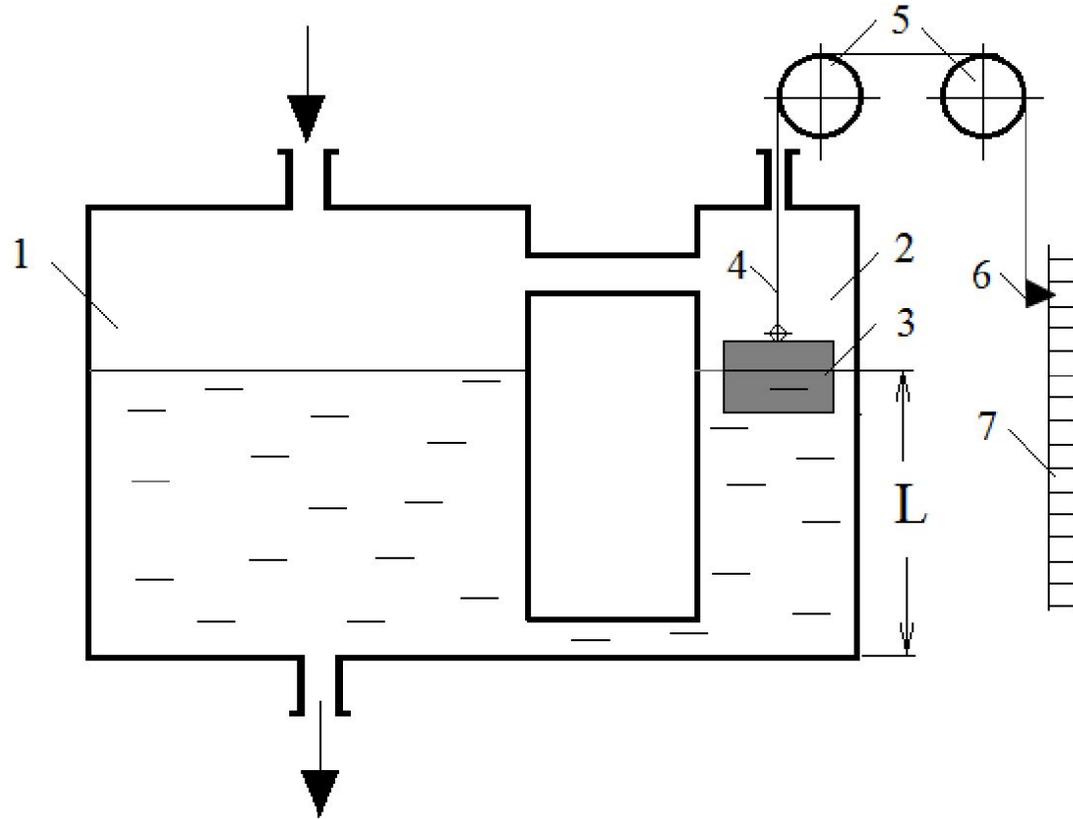
$P_{ИЗМ}$

# ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ УРОВНЯ

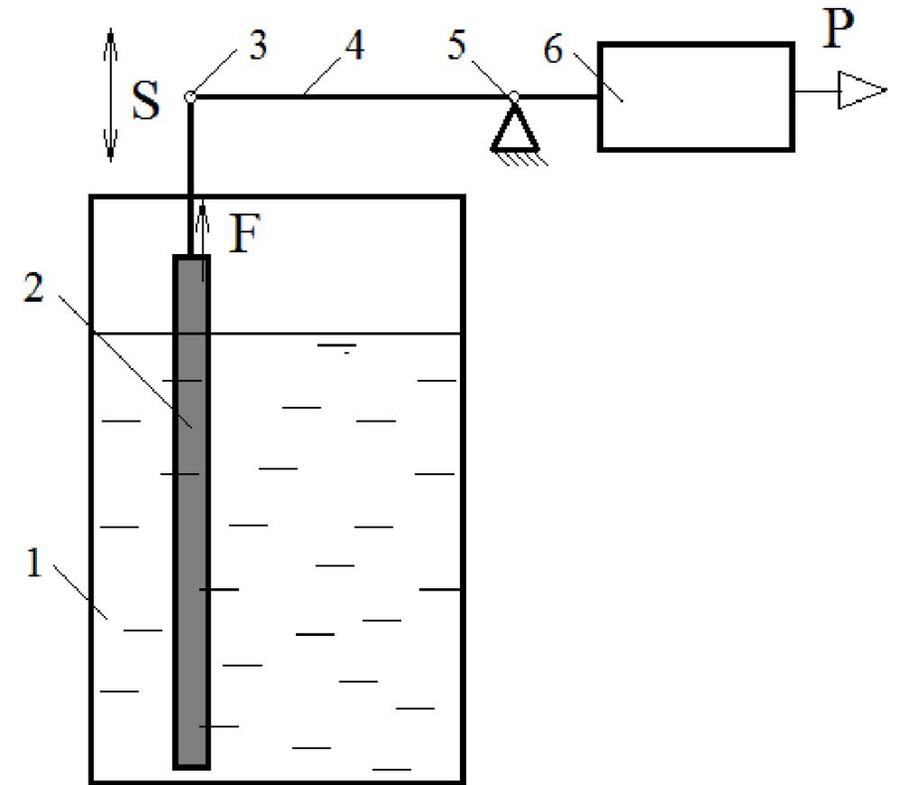
<i>УРОВНЕМЕР</i>	<i>КОНТАКТНЫЙ/БЕСКОНТАКТНЫЙ</i>
1. ПОПЛАВКОВЫЙ	КОНТАКТНЫЙ
2. БУЙКОВЫЙ	
3. ГИДРОСТАТИЧЕСКИЙ	КОНТАКТНЫЙ ИЛИ БЕЗ- В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДАТЧИКА ДАВЛЕНИЯ
4. ЕМКОСТНОЙ	КОНТАКТНЫЙ
5. АКУСТИЧЕСКИЙ И УЛЬТРАЗВУКОВОЙ	БЕСКОНТАКТНЫЙ
6. РАДИОИЗОТОПНЫЙ	
7. ВЕСОВОЙ	БЕСКОНТАКТНЫЙ

# ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ УРОВНЯ

## ПОПЛАВКОВЫЙ

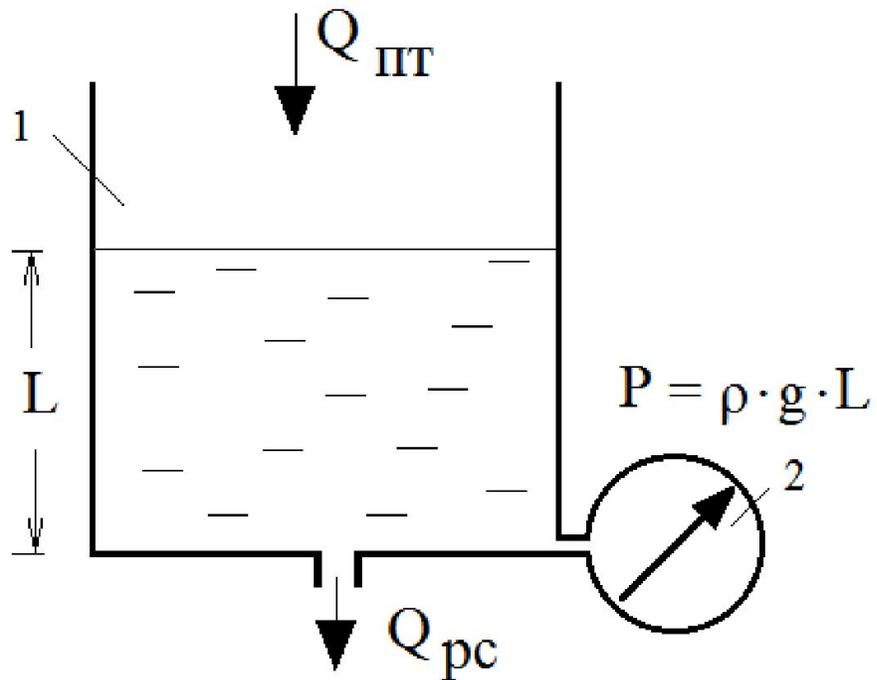


## БУЙКОВЫЙ

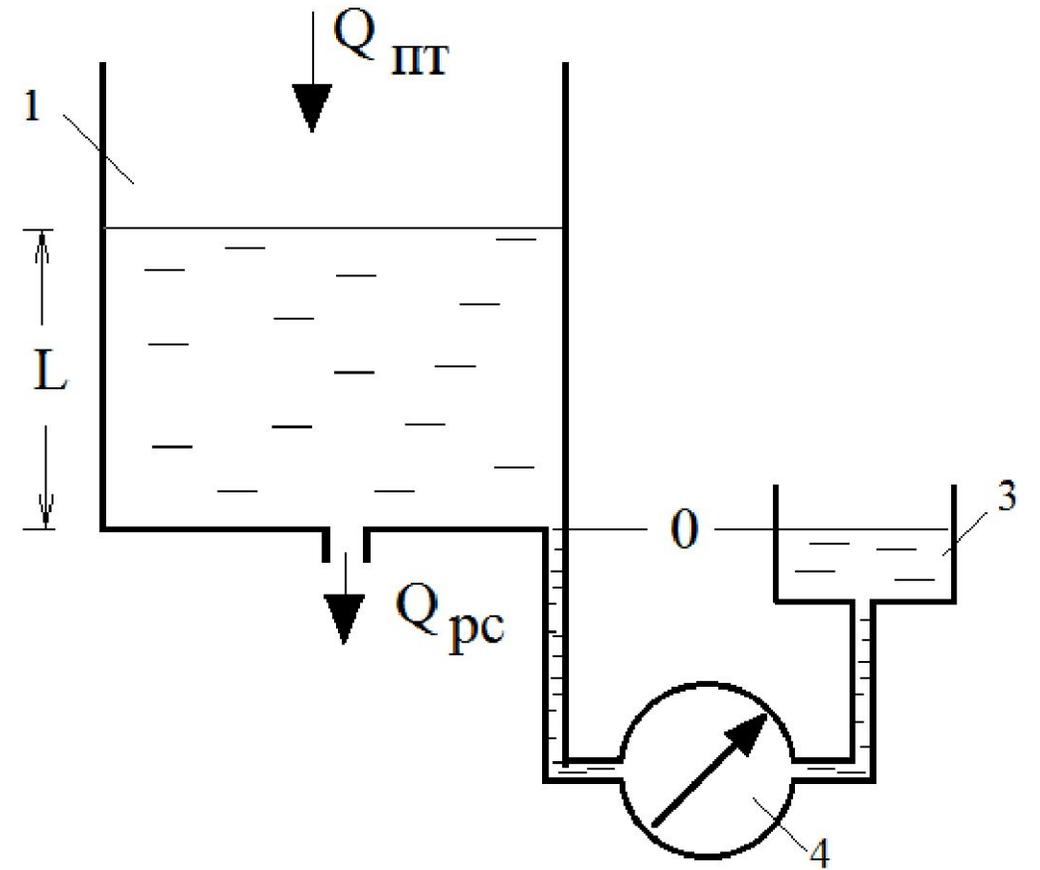


# ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ УРОВНЯ

## ГИДРОСТАТИЧЕСКИЙ

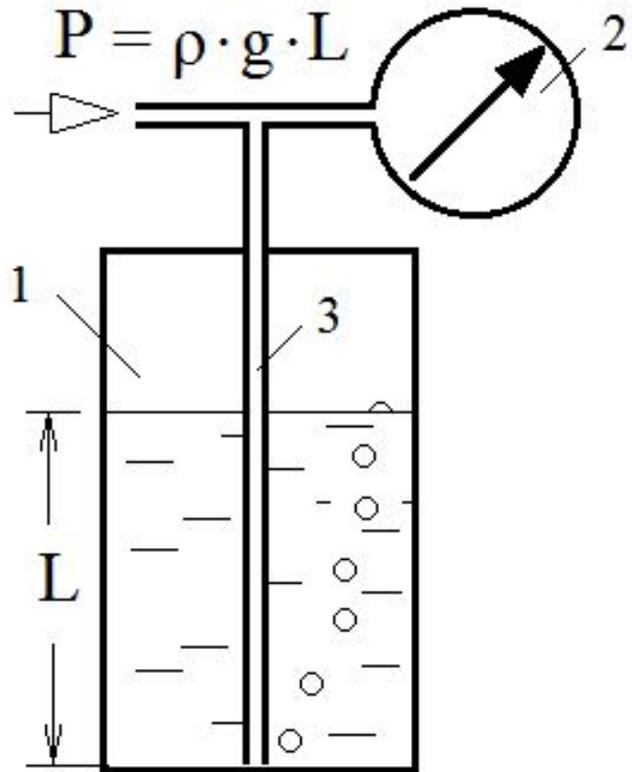


## ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ

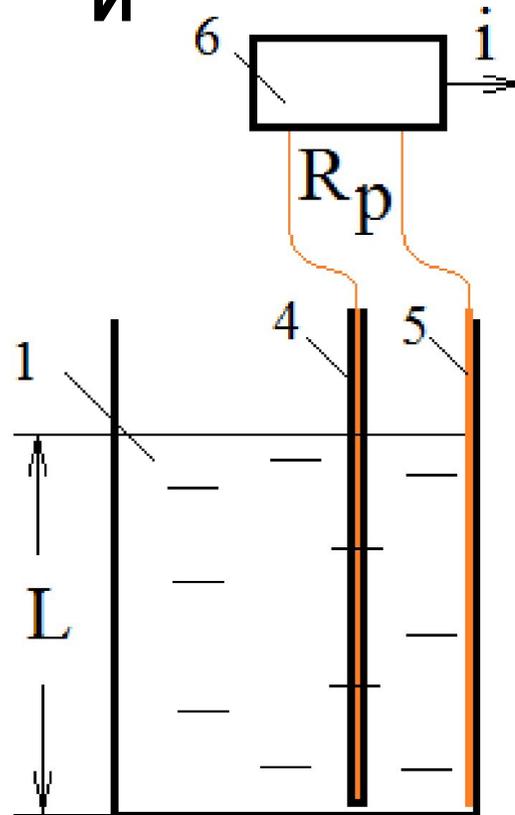


# ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ УРОВНЯ

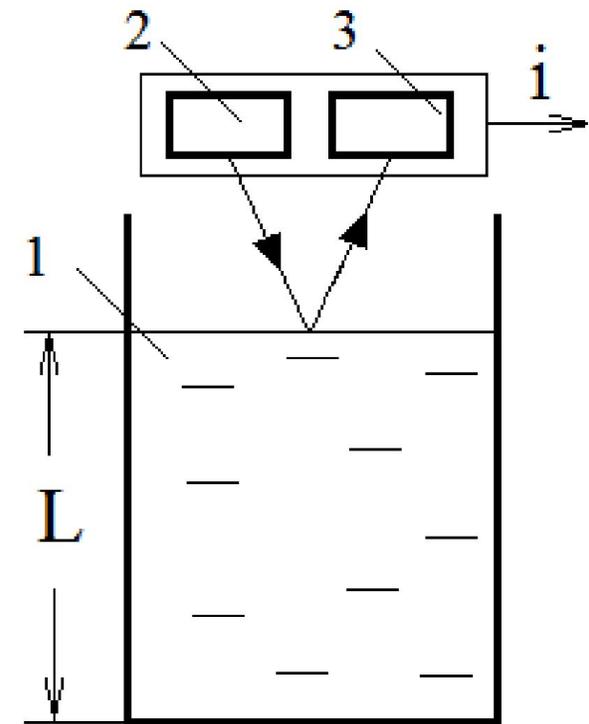
## ПЬЕЗОМЕТРИЧЕСКИЙ



## ЕМКОСТНО



## РАДАРНЫЙ



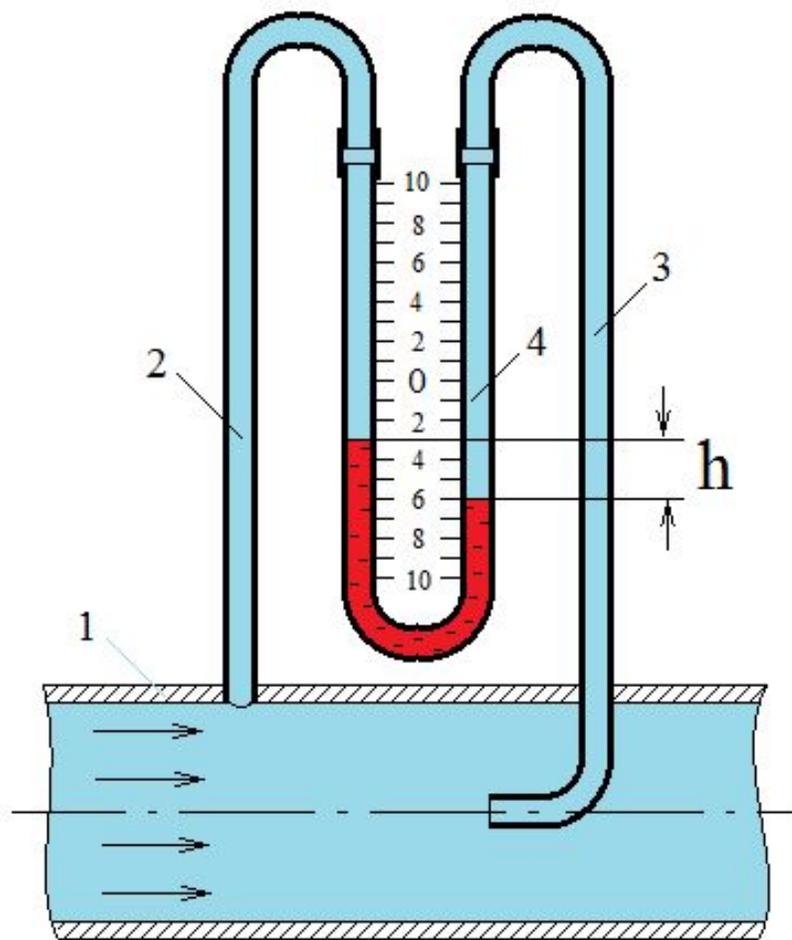
# ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДА И КОЛИЧЕСТВА ВЕЩЕСТВ

**РАСХОД – КОЛИЧЕСТВО ЖИДКОСТИ, ПАРА, СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА ИЛИ ГАЗА, ПРОХОДЯЩЕЕ ЧЕРЕЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ОБЪЕКТ В ЕДИНИЦУ ВРЕМЕНИ.**

## ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ РАСХОДА ЖИДКОСТИ, ПАРА

РАСХОДОМЕРЫ ДИНАМИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ	КОНТАКТНЫЕ
РАСХОДОМЕРЫ ПЕРЕМЕННОГО ПЕРЕПАДА ДАВЛЕНИЯ	
РАСХОДОМЕРЫ ПОСТОЯННОГО ПЕРЕПАДА ДАВЛЕНИЯ (РОТАМЕТРЫ)	
РАСХОДОМЕРЫ ПЕРЕМЕННОГО УРОВНЯ	КОНТАКТНЫЕ ИЛИ БЕСКОНТАКТНЫЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДАТЧИКА УРОВНЯ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ РАСХОДОМЕРЫ	БЕСКОНТАКТНЫЕ
ТЕПЛОВЫЕ РАСХОДОМЕРЫ	
УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ РАСХОДОМЕРЫ	

# РАСХОДОМЕРЫ ДИНАМИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ

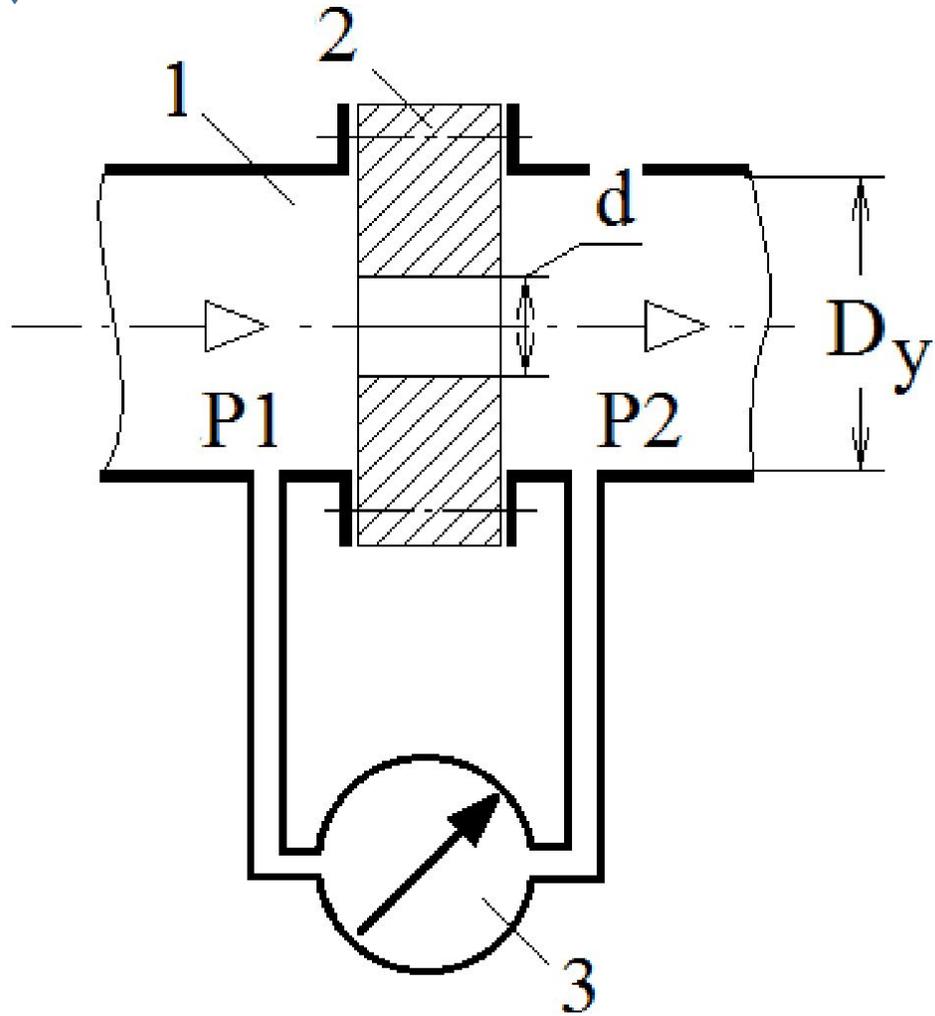


$$v = \sqrt{2(P_{\text{п}} - P_{\text{ст}}) / \rho} \quad (1)$$

$$P_v = P_{\text{п}} - P_{\text{ст}} = (\rho - \rho) g h \quad (2)$$

$$Q = S_{\text{тр}} \sqrt{\frac{2g}{\rho} h (\rho - \rho)} \quad (3)$$

# РАСХОДОМЕР ПЕРЕМЕННОГО ПЕРЕПАДА ДАВЛЕНИЯ С ДИАФРАГМОЙ



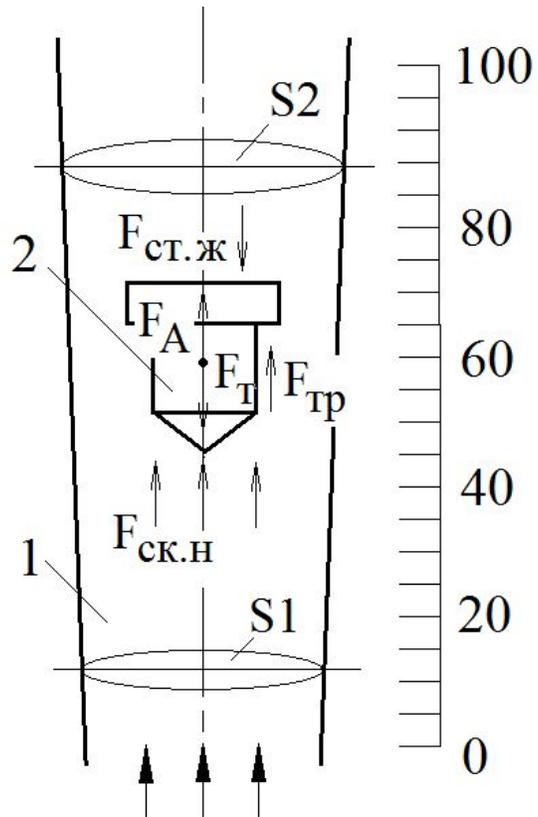
$$P_1 > P_2$$

$$\Delta P = P_1 - P_2$$

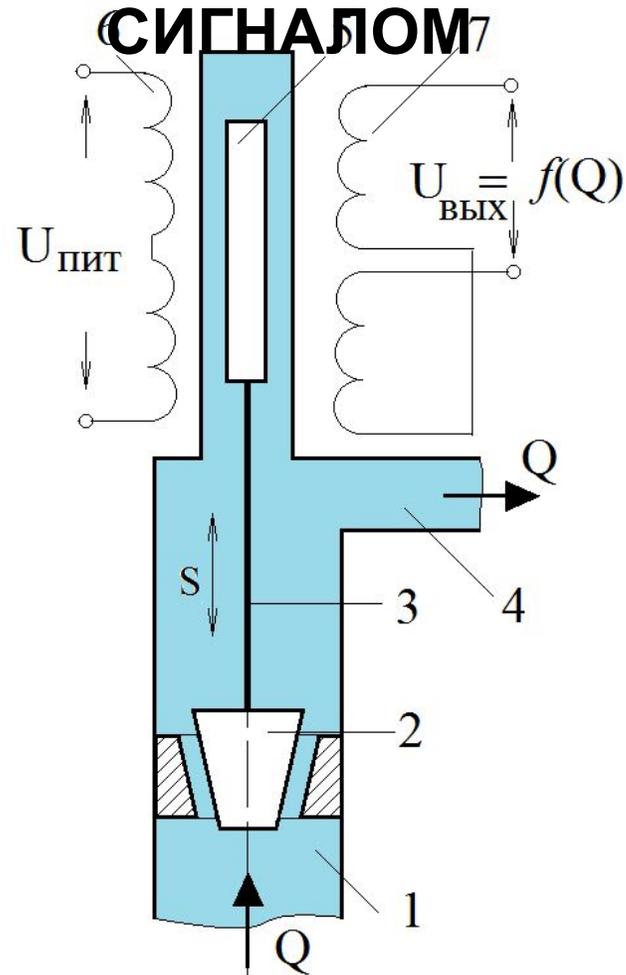
$$Q = \alpha \cdot S_{\text{тр}} \cdot \sqrt{\frac{2 \Delta P}{\gamma}}$$

# РАСХОДОМЕР ПОСТОЯННОГО ПЕРЕПАДА ДАВЛЕНИЯ

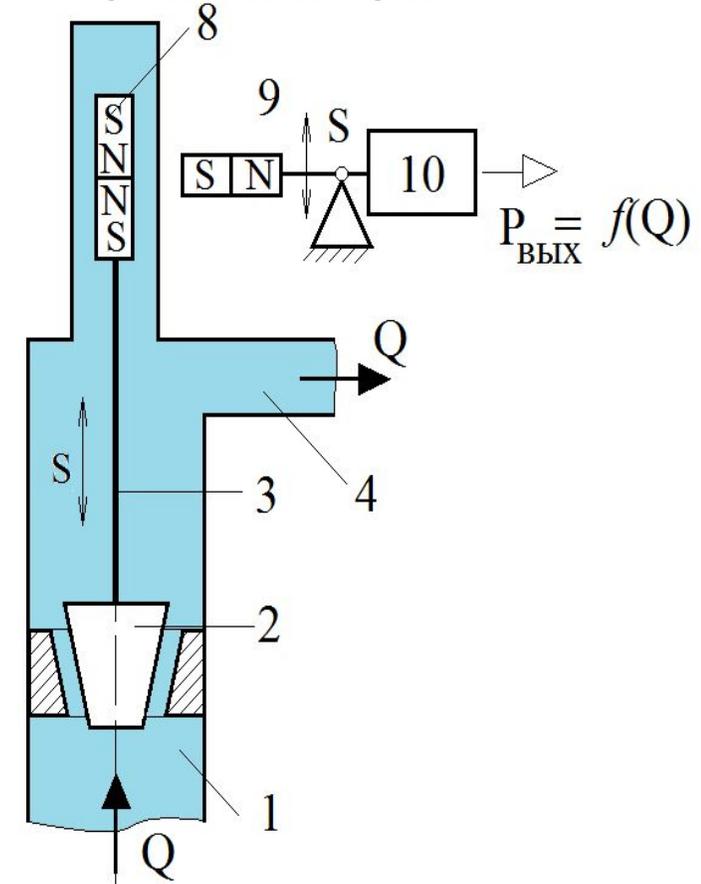
## РОТАМЕТР



## С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ВЫХОДНЫМ СИГНАЛОМ

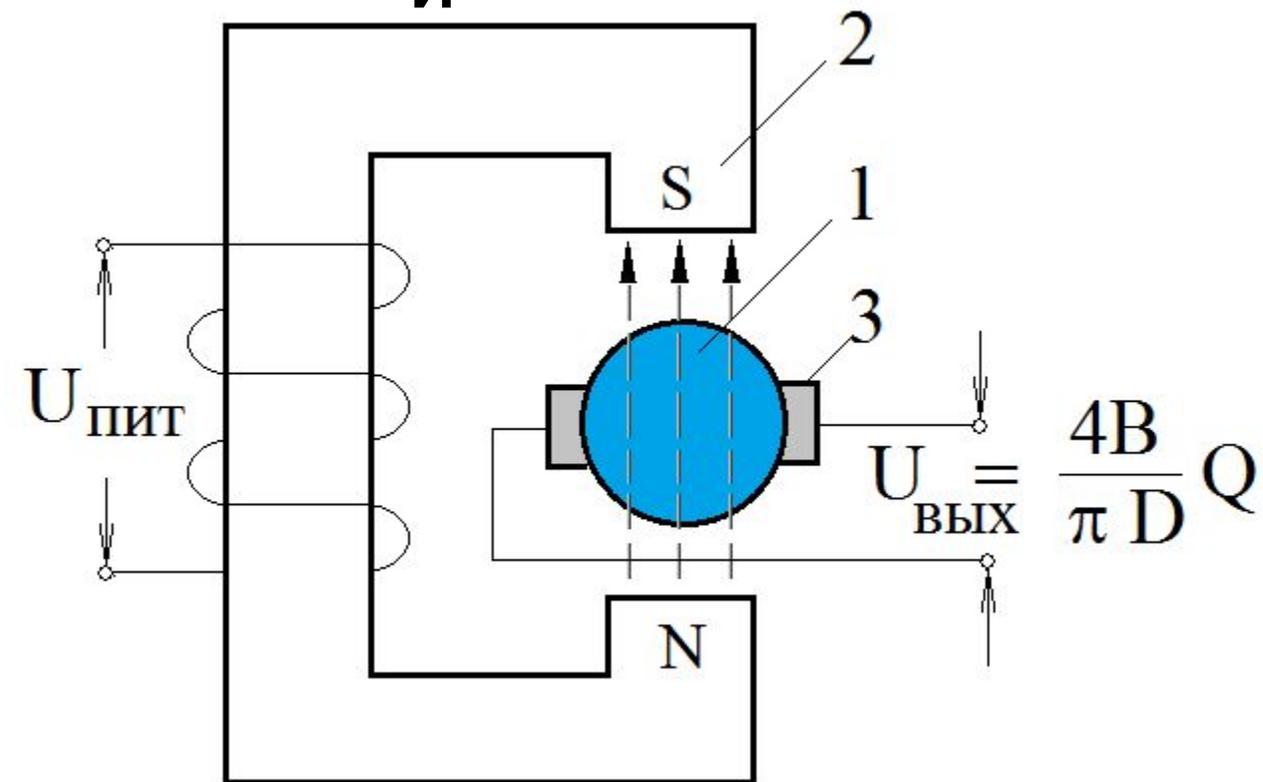


## С ПНЕВМАТИЧЕСКИМ ВЫХОДНЫМ СИГНАЛОМ

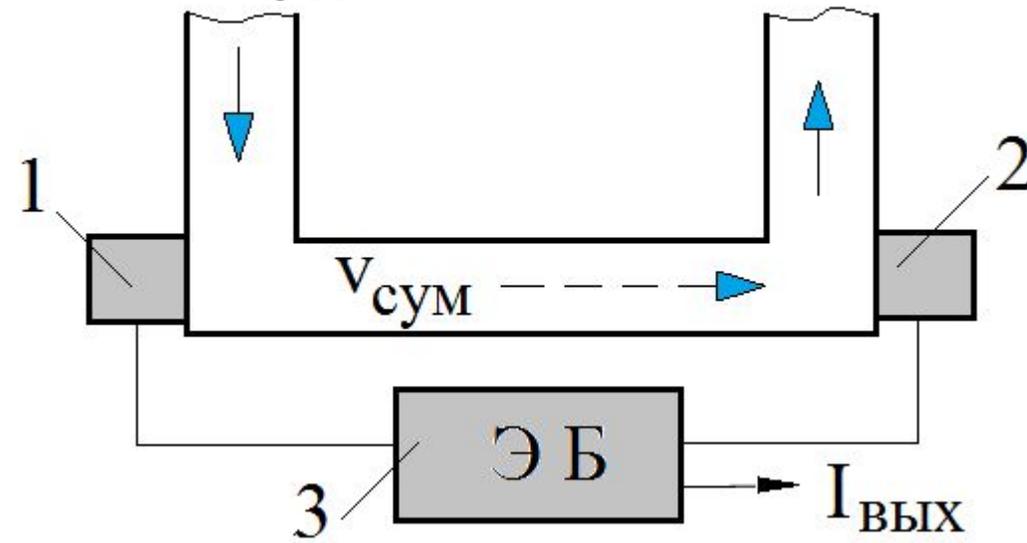


# БЕСКОНТАКТНЫЕ РАСХОДОМЕРЫ

## ИНДУКЦИОННЫ Й



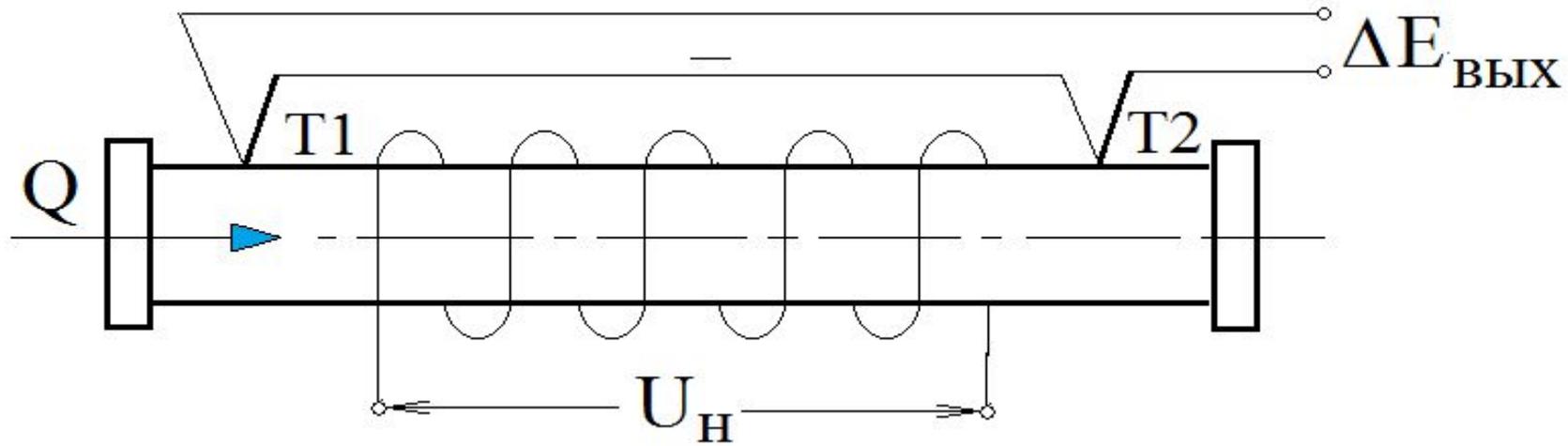
## УЛЬТРАЗВУКОВ ОЙ



$$v_B = v_{\text{уз}} - v_{\text{сум}} \quad (1)$$

$$Q = v_B \cdot S_{\text{тр}} \quad (2)$$

# ТЕПЛОВОЙ РАСХОДОМЕР ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ



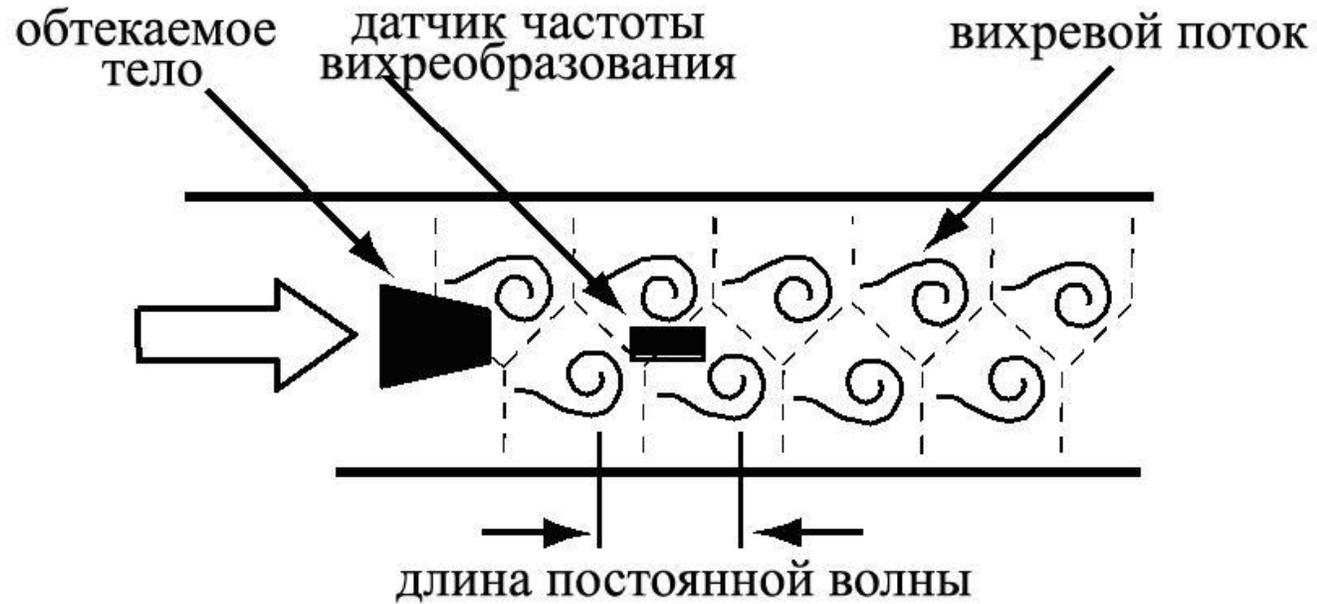
$$T_2 - T_1 = \Delta T \quad (1)$$

$$\Delta E_{\text{ВЫХ}} = f(\Delta T) \quad (2)$$

$$Q \uparrow \rightarrow T_2 \downarrow \rightarrow \Delta T \downarrow \quad (3)$$

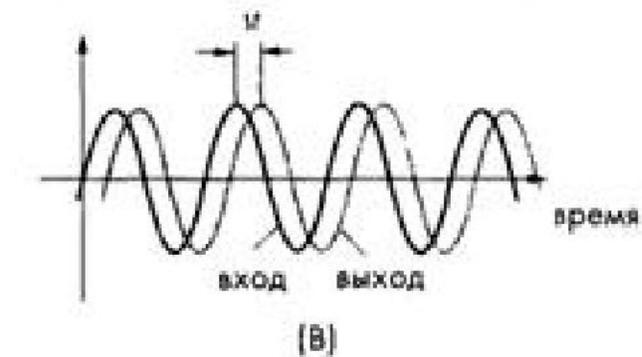
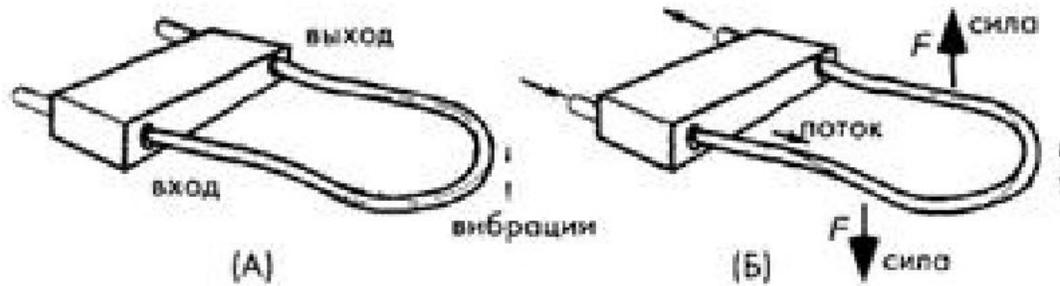
$$Q = \frac{N}{K \cdot C_p \cdot \Delta T} \quad (4)$$

# ВИХРЕВОЙ РАСХОДОМЕР



$$Q = k \cdot f$$

# КОРИОЛИСОВЫЙ РАСХОДОМЕР



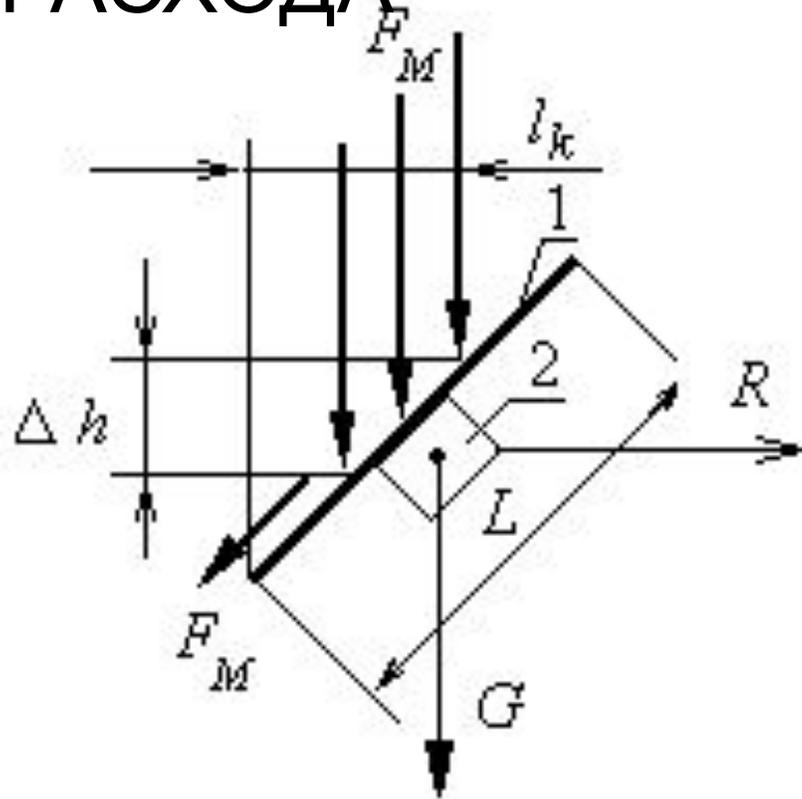
$$F = k \cdot \Delta\Phi$$

# *ВОЗМОЖНОСТИ «ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ» ДАТЧИКОВ*

- ЦИФРОВАЯ ИНДИКАЦИЯ ТЕКУЩЕГО ЗНАЧЕНИЯ ИЗМЕРЯЕМОГО ПАРАМЕТРА
- ЦИФРОВАЯ ИНДИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ НАСТРОЙКИ
- УНИФИЦИРОВАННЫЕ ВЫХОДНЫЕ АНАЛОГОВЫЕ СИГНАЛЫ
- ВСТРОЕННАЯ КНОПОЧНАЯ ПАНЕЛЬ
- КОММУНИКАЦИОННЫЙ ПРОТОКОЛ HART ДЛЯ СВЯЗИ С УСТРОЙСТВАМИ СБОРА, ОБРАБОТКИ И ПЕРЕДАЧИ ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИИ
- САМОДИАГНОСТИКА И СИГНАЛИЗАЦИЯ ПРОБЛЕМ
- ВОЗМОЖНОСТЬ НАСТРОЙКИ С ПАНЕЛИ ИЛИ С ПОМОЩЬЮ HART-МОДЕМА:
  - ДИАПАЗОНА ИЗМЕРЕНИЯ
  - УСТАНОВКИ НУЛЯ
  - ВЫБОРА ЕДИНИЦ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРА
  - ВРЕМЕНИ И ПАРАМЕТРОВ УСРЕДНЕНИЯ ВЫХОДНОГО СИГНАЛА

# ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДА СЫПУЧЧИХ МАТЕРИАЛОВ

## ДИНАМИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ РАСХОДА



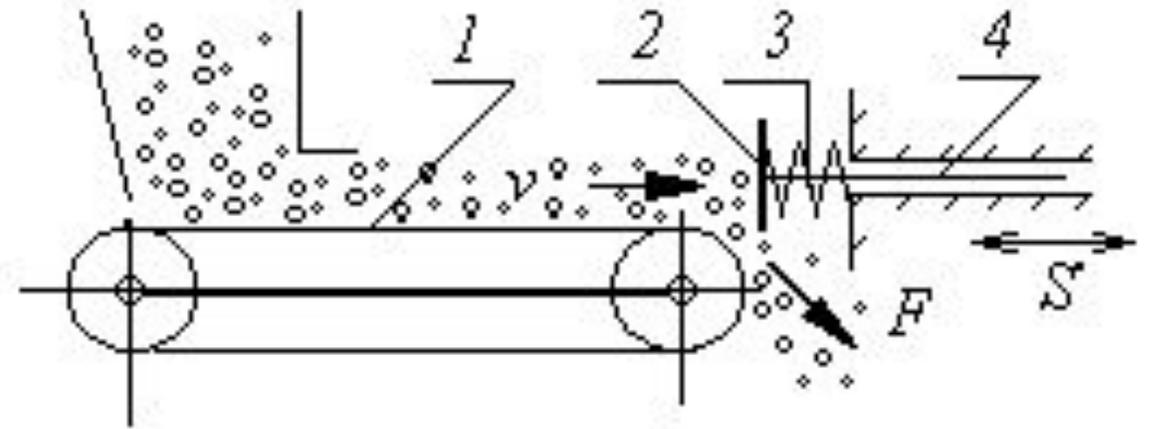
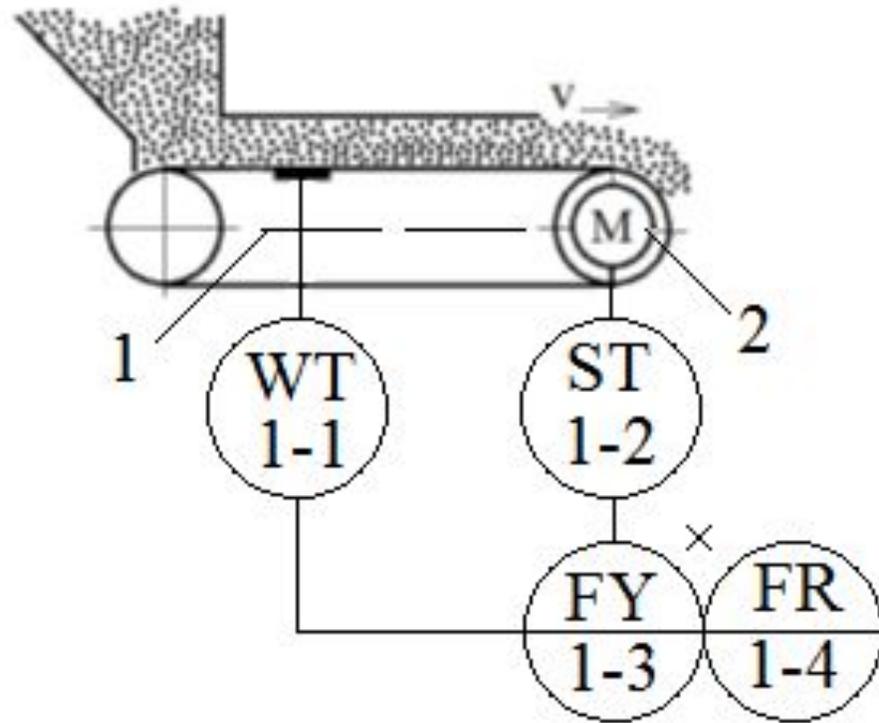
$$G = k \cdot F \cdot v + \int_0^{l_k} F \cdot dl$$

ПРИ КОМПЕНСАЦИИ  
ПОГРЕШНОСТИ

$$F = \frac{G}{k \cdot v}$$



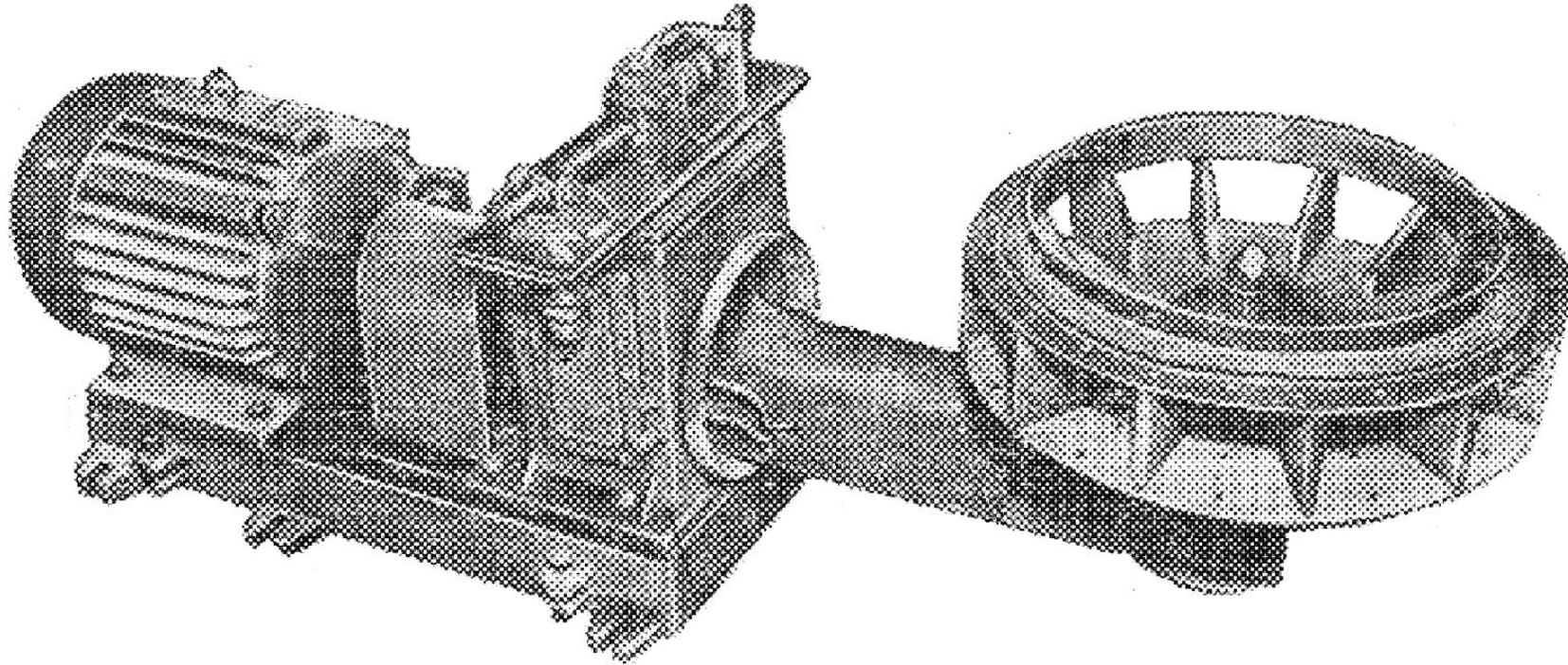
# ЛЕНТОЧНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ РАСХОДА СМ



$$F = k \cdot S$$

$$F = v \cdot \Omega \cdot \rho_M = W \cdot S, \text{ кг} \cdot \frac{1}{\text{с}}$$

# ИМПЕЛЛЕРНЫЙ РАСХОДОМЕР СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

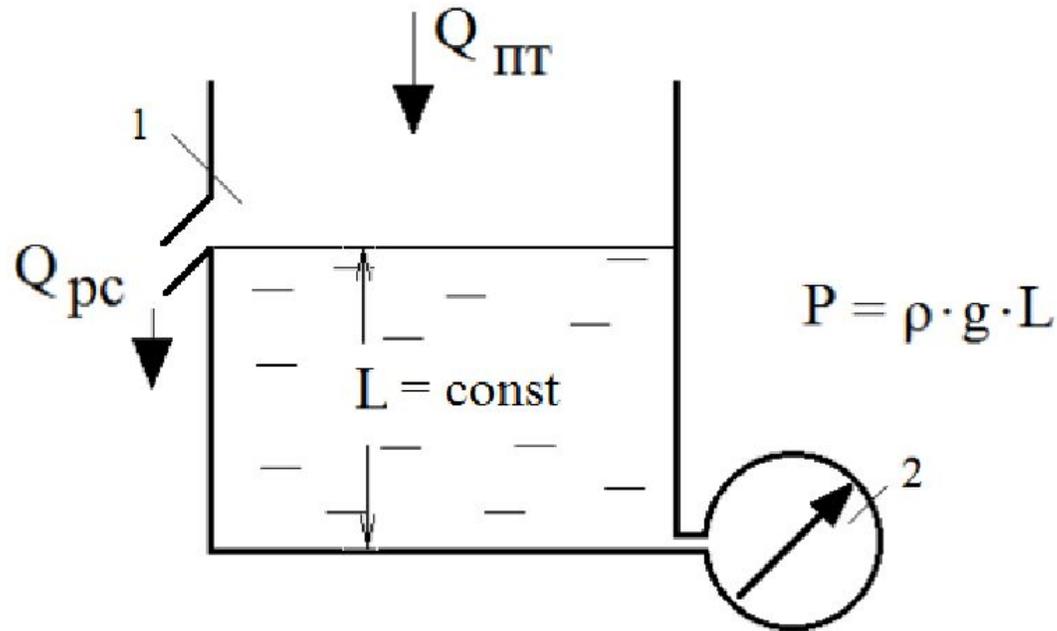


$$M_{BP} = F \cdot R \cdot \omega^2 \quad \omega = const$$

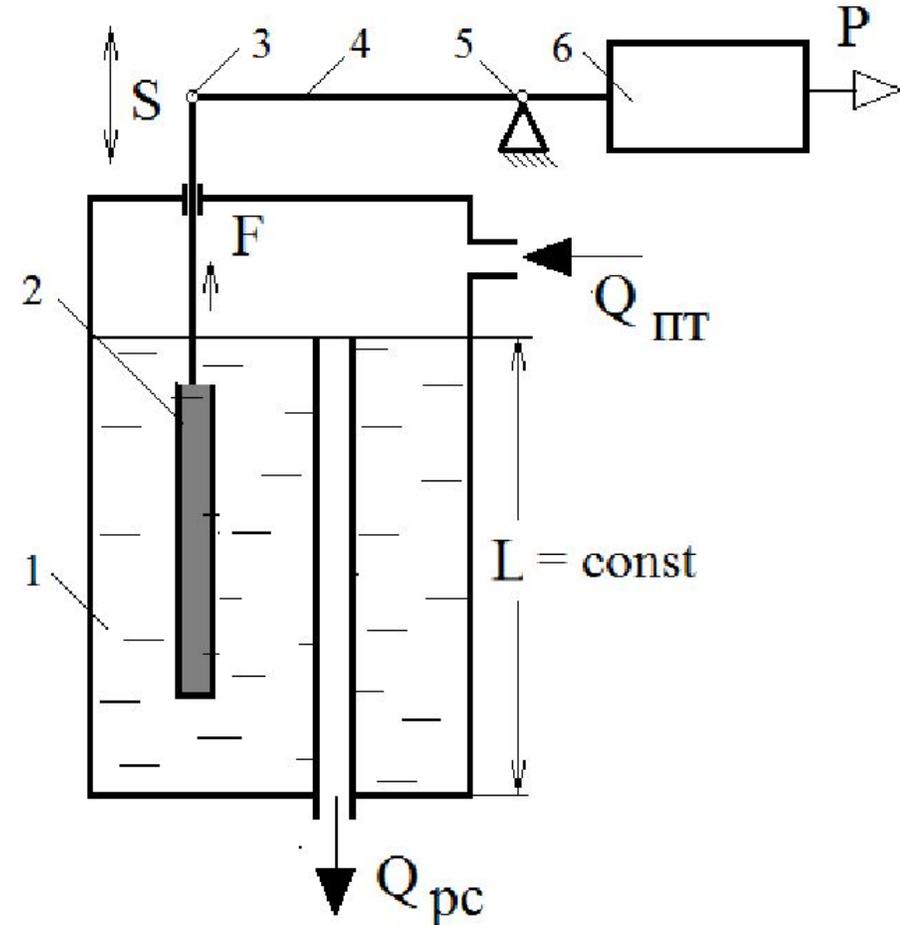
(Impeller – крыльчатка)

## ИЗМЕРЕНИЕ ПЛОТНОСТИ

ГИДРОСТАТИЧЕСКИЙ  
ПЛОТНОМЕР

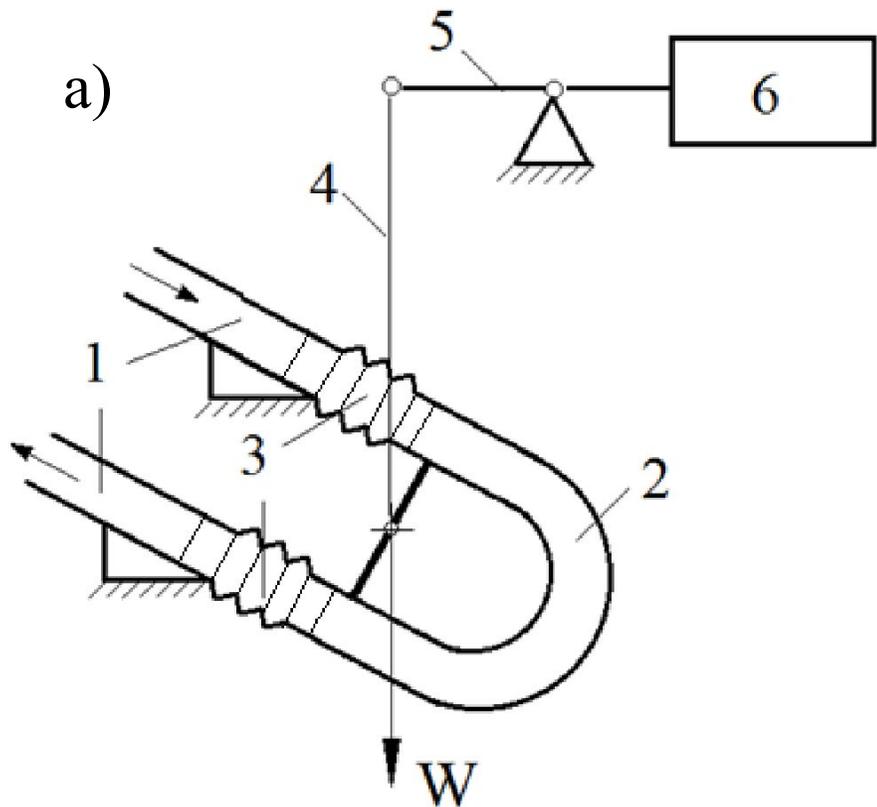


БУЙКОВЫЙ  
ПЛОТНОМЕР



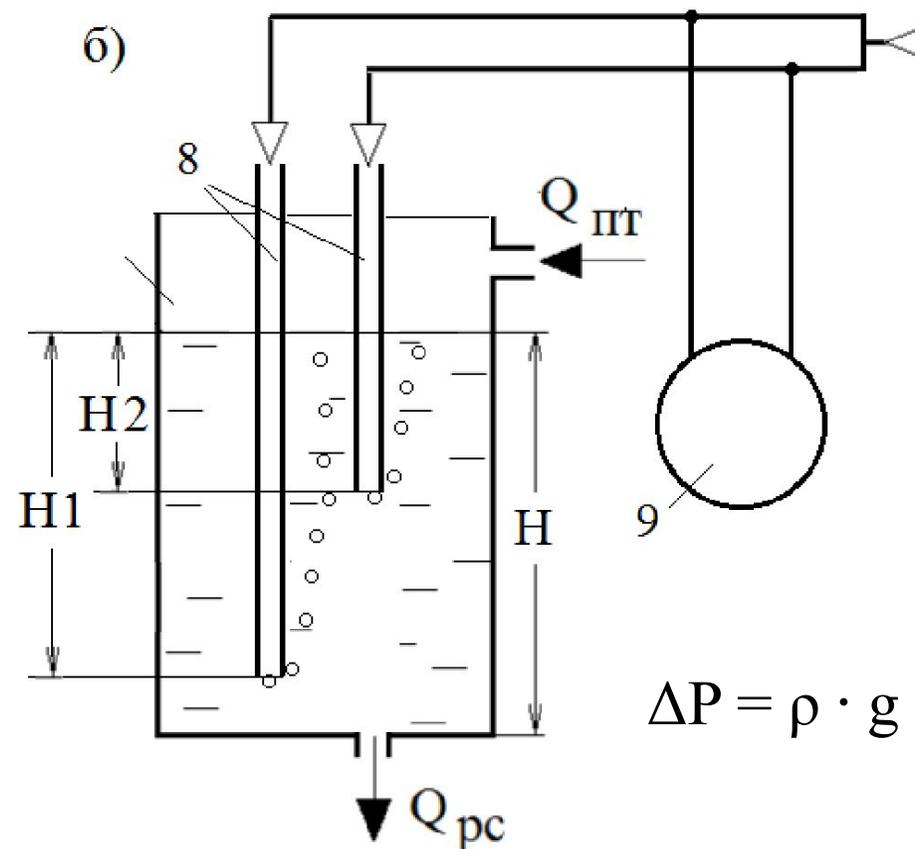
# ИЗМЕРЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ЖИДКОСТЕЙ

## ВЕСОВОЙ ПЛОТНОМЕР ЖИДКОСТИ



$$F = Q \cdot \rho$$

## ПЬЕЗОМЕТРИЧЕСКИЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ ПЛОТНОМЕР

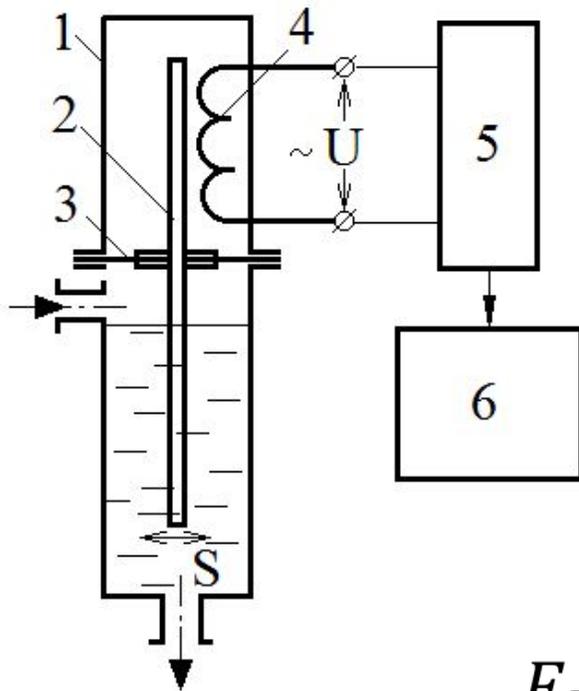


$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot (H_1 - H_2)$$

# ИЗМЕРЕНИЕ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТЕЙ

## ВИБРАЦИОННЫЙ ВИСКОЗИМЕТР

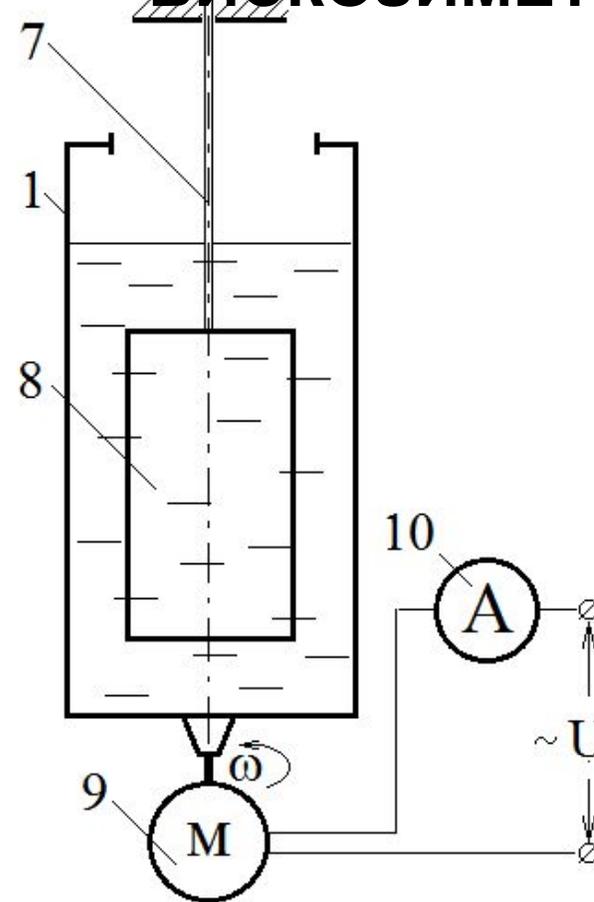
а)



$$F_c = k \cdot \sqrt{\rho \cdot \mu}$$

## РОТАЦИОННЫЙ ВИСКОЗИМЕТР

б)



$$M_c = k \cdot \mu \cdot \omega$$

# ИЗМЕРЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ

## ВЛАЖНОСТЬ – КОЛИЧЕСТВО ВОДЫ В ВЕЩЕСТВЕ

**ВЛАЖНОСТЬ ГАЗОВ** СОДЕРЖАНИЕ В НИХ ВОДЯНОГО ПАРА

**ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВЛАЖНОСТЬ ГАЗА**  $\varphi$  ОТНОШЕНИЕ МАССОВОЙ ДОЛИ ВОДЯНОГО ПАРА В ГАЗЕ К МАКСИМАЛЬНО ВОЗМОЖНОЙ ПРИ ДАННОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ.

**ВЛАЖНОСТЬ ТВЕРДЫХ ВЕЩЕСТВ** ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ КОЛИЧЕСТВОМ В НИХ СВЯЗАННОЙ ИЛИ СВОБОДНОЙ ВЛАГИ

**ВЛАЖНОСТЬ ЖИДКОСТЕЙ** – СОДЕРЖАНИЕ В НИХ ВОДЫ В ТЕХ СЛУЧАЯХ, КОГДА ОНА ЯВЛЯЕТСЯ ПРИМЕСЬЮ

### ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ



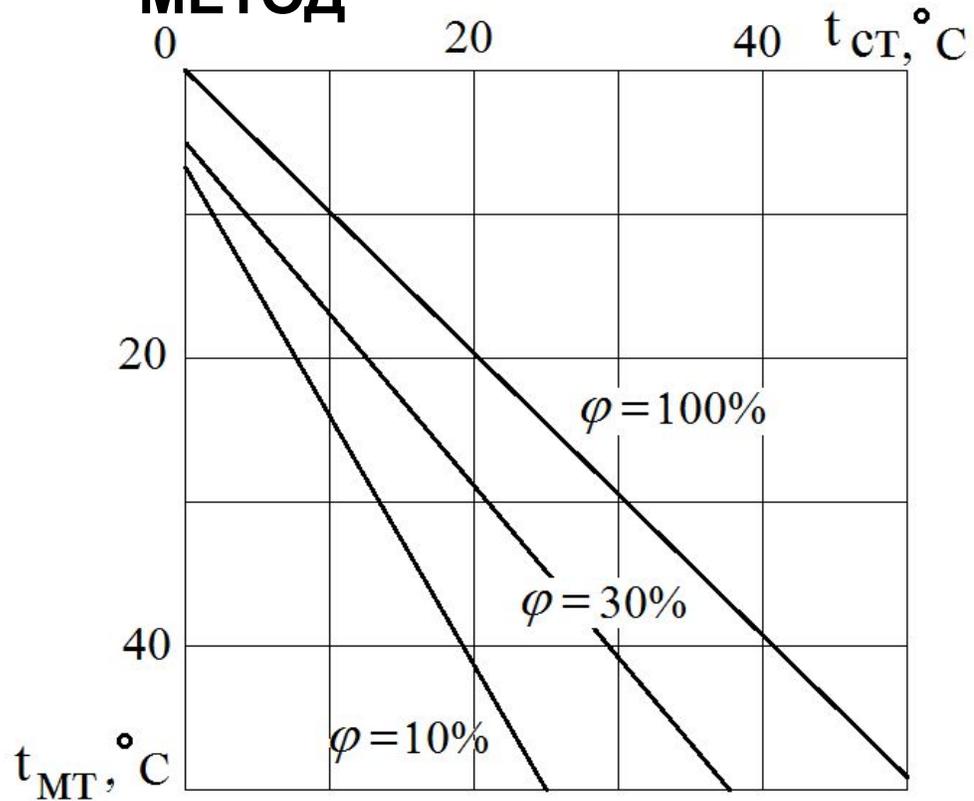
**ПРЯМЫЕ**



**КОСВЕННЫЕ**

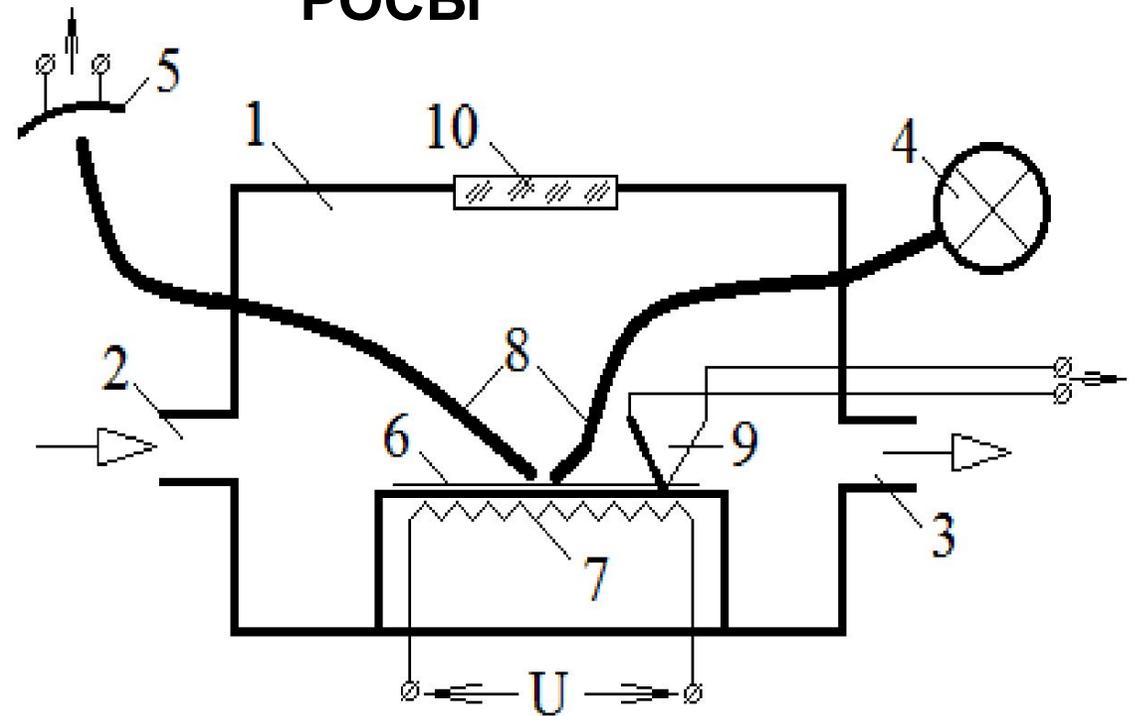
# ИЗМЕРЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ГАЗОВ

## ПСИХРОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД

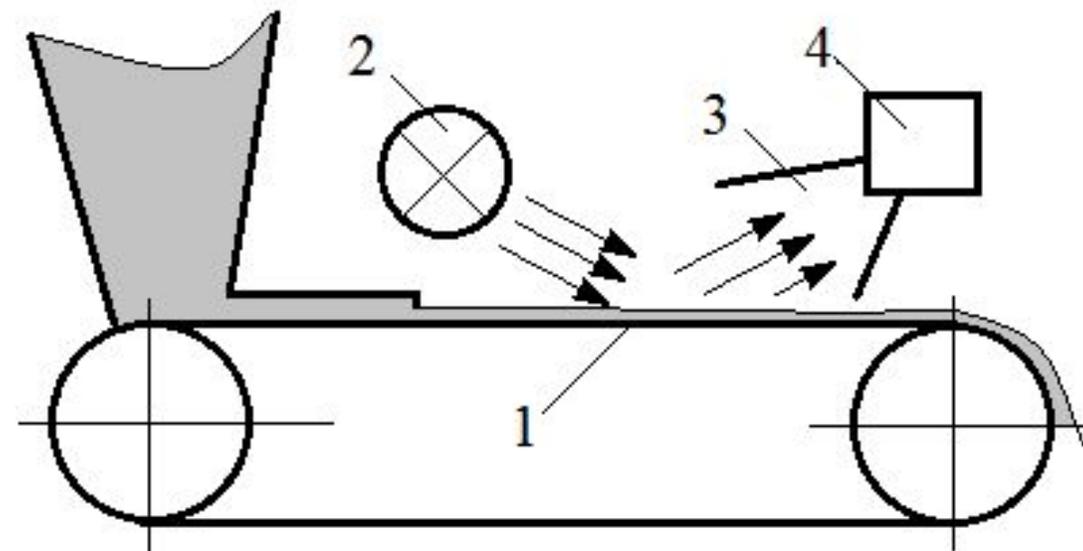
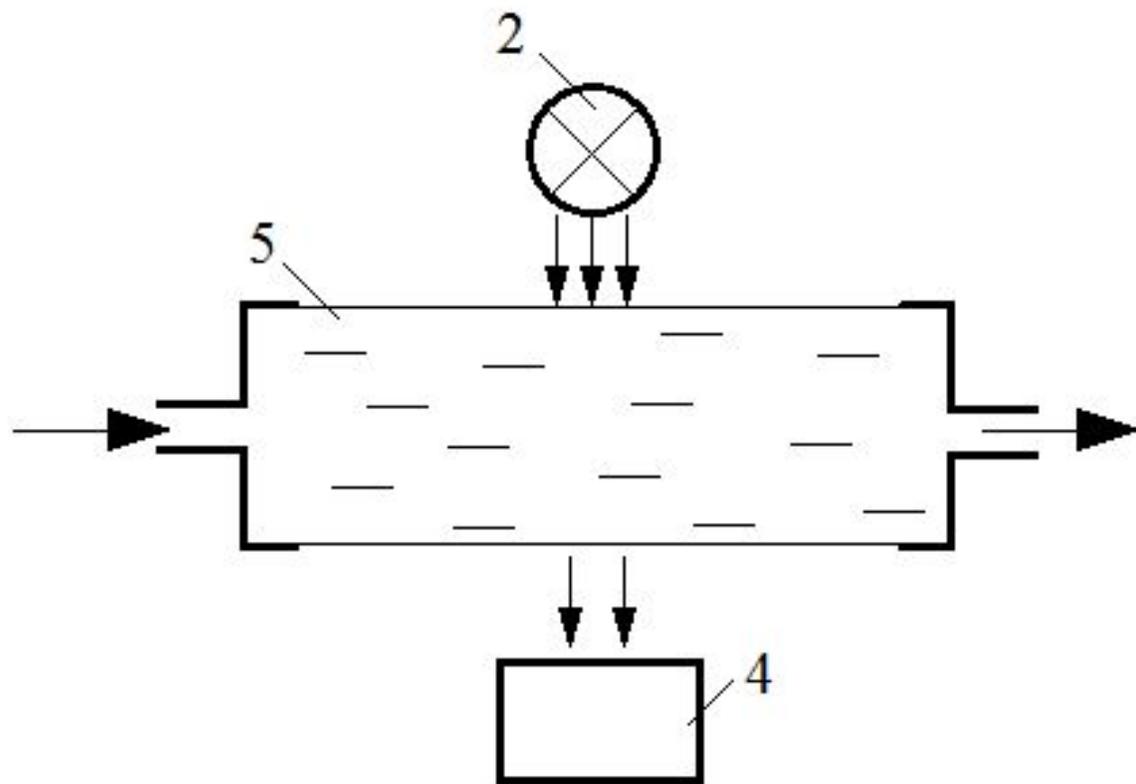


$$\varphi = \frac{100[P_{HM} - A \cdot P_B \cdot (t_c - t_M)]}{P_{HC}}$$

## МЕТОД ТОЧКИ РОСЫ



## ИНФРАКРАСНЫЙ МЕТОД



# Промежуточные преобразователи

- СНАЧАЛА ДОБАВИТЬ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ
- ПОТОМ «ток-давление» и «сила (перемещение) – ток»

# ***УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ***

**ЦЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ: ДОСТИЖЕНИЕ ЗАДАННОГО ЗНАЧЕНИЯ КРИТЕРИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ (ОПТИМАЛЬНОСТИ) ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРИ СОБЛЮДЕНИИ ТРЕБОВАНИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

**АСУ ТП: СОВОКУПНОСТЬ АЛГОРИТМИЧЕСКИХ, ПРОГРАММНЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ, ПОЗВОЛЯЮЩИХ ДОСТИЧЬ ЗАДАННУЮ ЦЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ТП.**

**РАСПРЕДЕЛЁННЫЕ АСУ ТП: СОВОКУПНОСТЬ ПОДСИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ, ВЫПОЛНЯЮЩИХ АВТОНОМНЫЕ ФУНКЦИИ, НО СВЯЗАННЫХ МЕЖДУ СОБОЙ.**

**АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ: СТАБИЛИЗАЦИЯ ИЛИ ИЗМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПАРАМЕТРА БЕЗ ПРЯМОГО УЧАСТИЯ ЧЕЛОВЕКА**

**АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ: КОНТРОЛЬ И ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТП ПРИ УЧАСТИИ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА**

# ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ АСУ ТП

## ВЫБОР:

- РЕГУЛИРУЕМЫХ ПЕРЕМЕННЫХ
- КАНАЛОВ ПОДАЧИ УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ
- КОНТРОЛИРУЕМЫХ ПЕРЕМЕННЫХ
- ПЕРЕМЕННЫХ, ДЛЯ КОТОРЫХ НЕОБХОДИМА СИГНАЛИЗАЦИЯ ПРЕДЕЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ КАНАЛОВ КОНТРОЛЯ И СИГНАЛИЗАЦИИ:

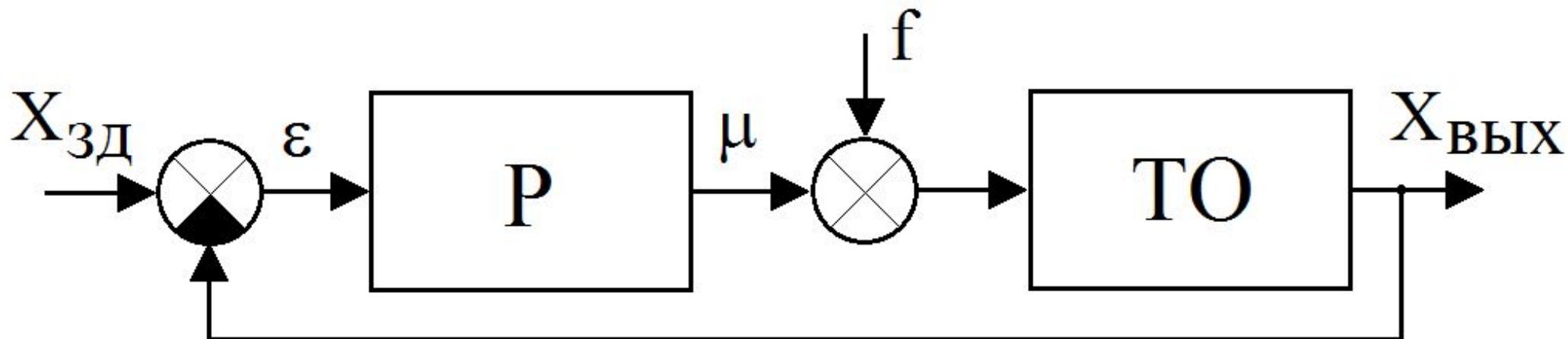
- 👁 ПО ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ
- 👁 ПО ДИАПАЗОНУ ИЗМЕНЕНИЯ ВЫХОДНОЙ ПЕРЕМЕННОЙ

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ КАНАЛОВ УПРАВЛЕНИЯ, БЛОКИРОВКИ, ЗАЩИТЫ:

- 👉 СТЕПЕНЬ ВЛИЯНИЯ ВХОДА НА ВЫХОД ПО КОЭФФИЦИЕНТУ ПЕРЕДАЧИ СТАТИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ;
- 👉 БЫСТРОДЕЙСТВИЕ И ЗАПАЗДЫВАНИЕ ПО УРАВНЕНИЯМ ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЛИ ПО ПЕРЕДАТОЧНЫМ ФУНКЦИЯМ.

# ТИПОВАЯ СТРУКТУРА ЛОКАЛЬНОЙ АСР

АСР – ОСНОВА ИЕРАРХИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛЁННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТП



$X_{\text{вых}}$  – регулируемый параметр

$X_{\text{зд}}$  – заданное значение регулируемого параметра

$\mu$  – управляющий сигнал

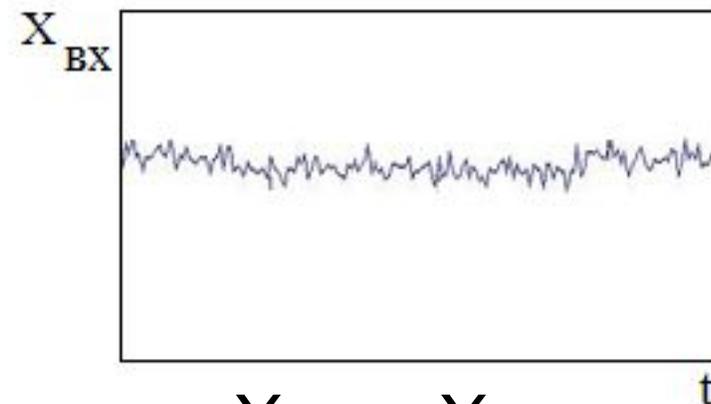
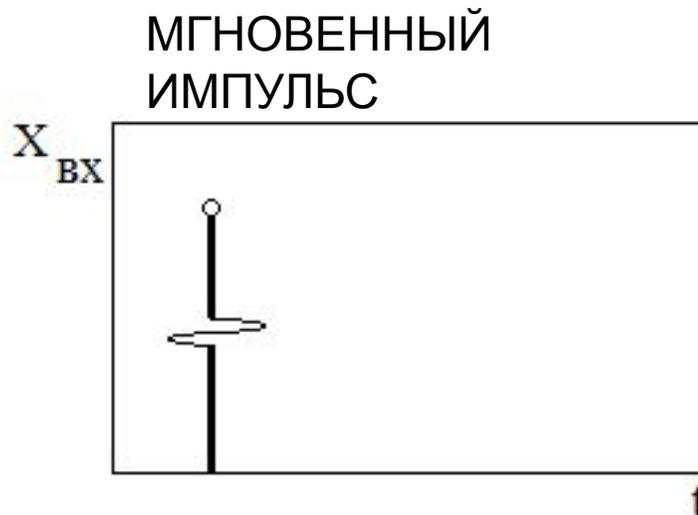
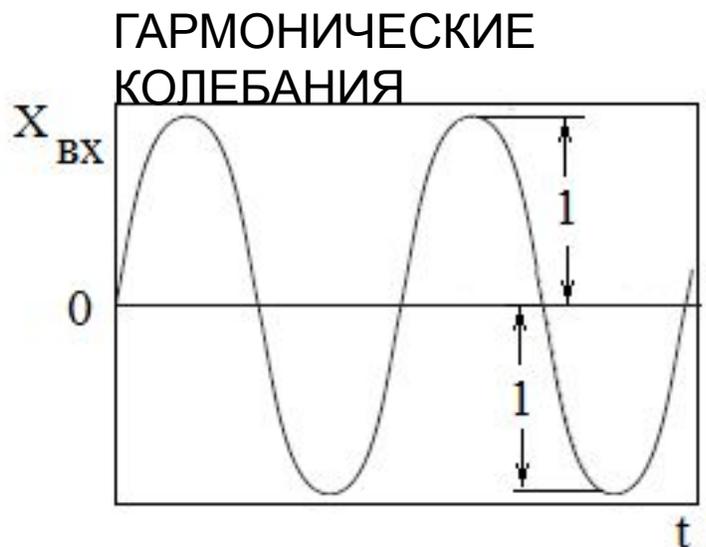
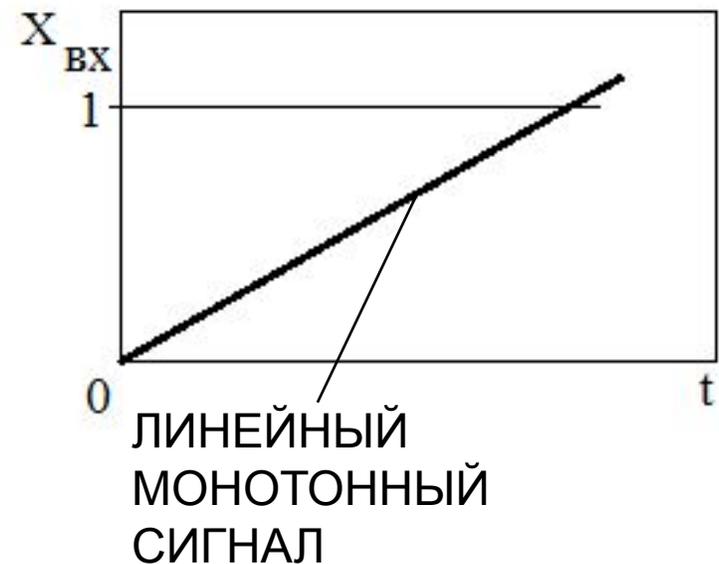
$\varepsilon$  – сигнал рассогласования,  $\varepsilon = X_{\text{зд}} - X_{\text{вых}}$

$f$  – возмущающее воздействие

# ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ АСР

- **ПЕРЕХОДНЫЙ ПРОЦЕСС** – ИЗМЕНЕНИЕ ВЫХОДНОЙ ПЕРЕМЕННОЙ ЗАМКНУТОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПОСЛЕ ПОДАЧИ НА ОДИН ИЗ ЕЁ ВХОДОВ ТИПОВОГО «ВОЗМУЩАЮЩЕГО» ВОЗДЕЙСТВИЯ
- **ВХОДНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ:** ЗАДАЮЩЕЕ  $X_{зд}$  И ВОЗМУЩАЮЩЕЕ  $f$
- **УСТОЙЧИВОСТЬ** (ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ) – ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ АСР
- **КАЧЕСТВО** ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ – ЧИСЛЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ОПРЕДЕЛЯЕМЫХ ПО ПАРАМЕТРАМ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА КРИТЕРИЕВ, НАИБОЛЕЕ ВАЖНЫХ ДЛЯ РЕШАЕМОЙ ЗАДАЧИ
- **КРИТЕРИИ КАЧЕСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ** = КРИТЕРИИ КАЧЕСТВА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ – ПРЯМЫЕ И КОСВЕННЫЕ

# ТИПОВЫЕ ВХОДНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ



ФИЗИЧЕСКАЯ ПЕРЕМЕННАЯ В ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ЕДИНИЦАХ:  $X_{отн} = X$

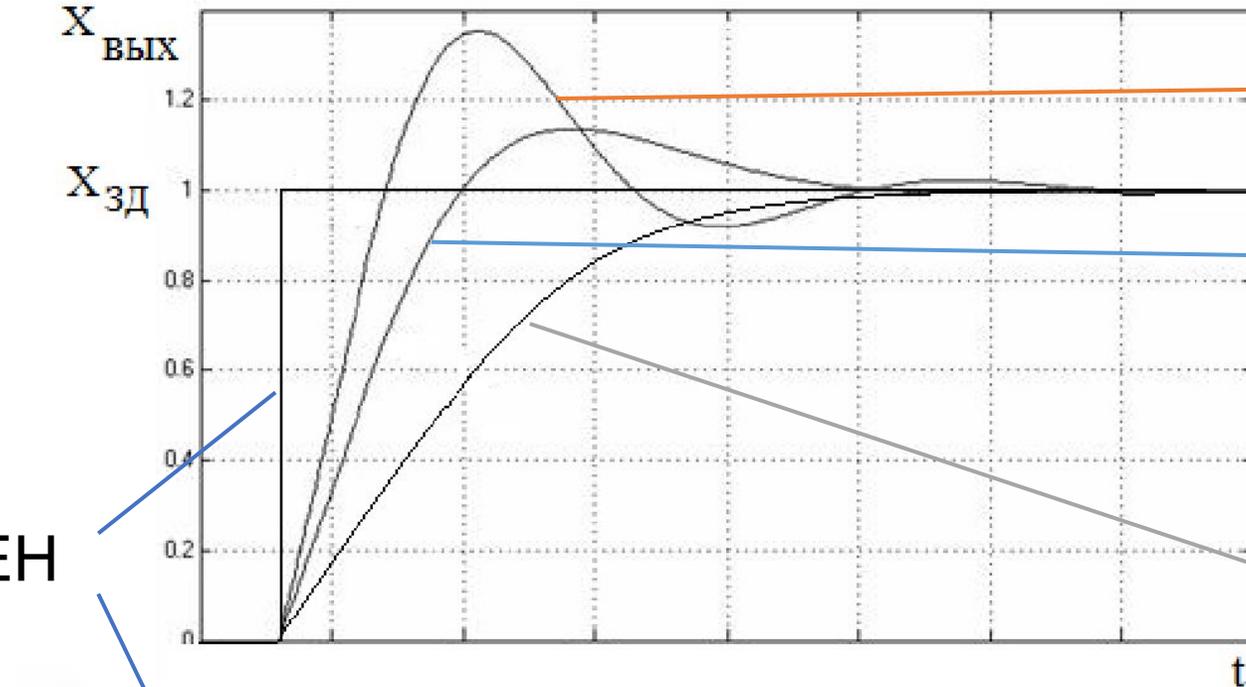
$(t)/X_{max}$

# ВИДЫ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

**ВХОДНОЕ  
ВОЗДЕЙСТВ  
ИЕ  
ПО КАНАЛУ  
ЗАДАНИЯ**

**ВОЗМУЩЕН  
ИЕ**

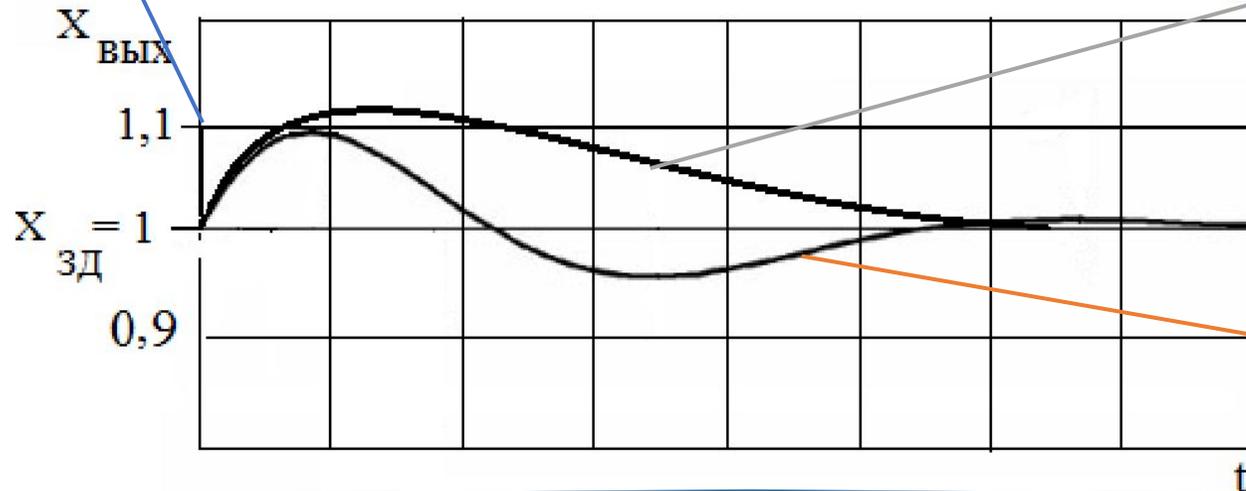
**ВХОДНОЕ  
ВОЗДЕЙСТВ  
ИЕ  
ПО КАНАЛУ  
ВОЗМУЩЕН  
ИЯ**



**КОЛЕБАТЕЛЬН  
ЫЙ**

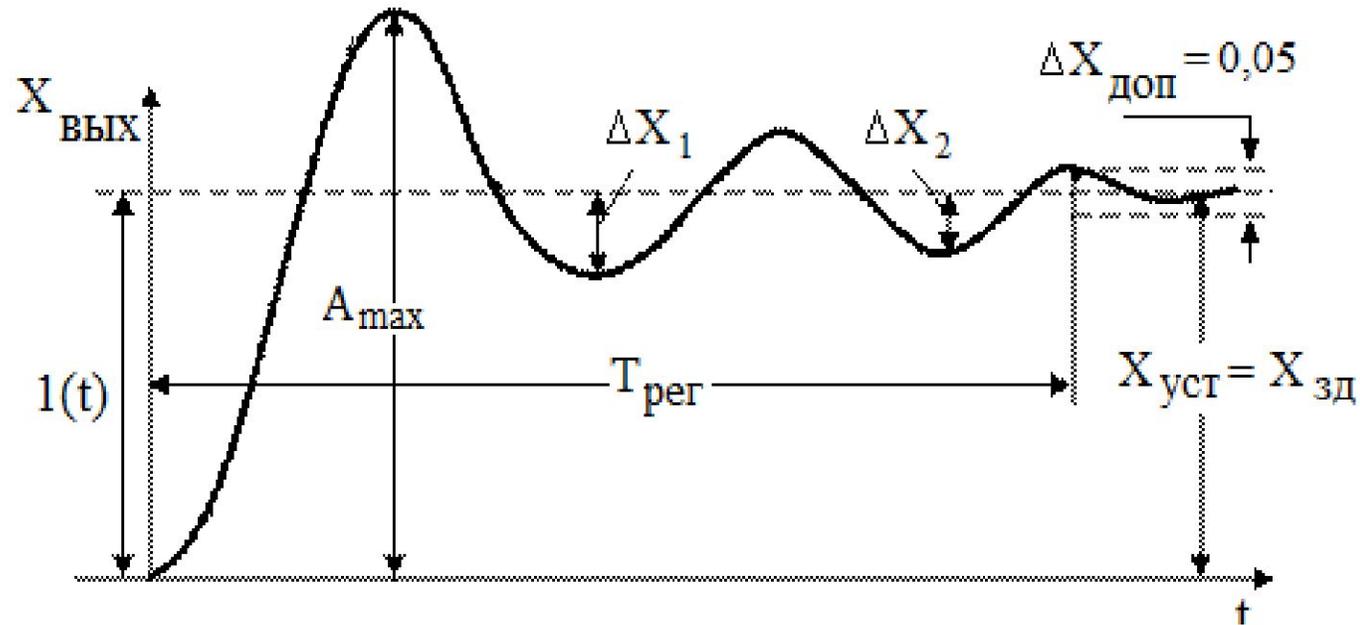
**АПЕРИОДИЧЕСК  
ИЙ**

**АПЕРИОДИЧЕС  
КИЙ  
МОНОТОННЫЙ**



**КОЛЕБАТЕЛЬН  
ЫЙ**

# ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ



$X_{\text{ВЫХ}}$  – регулируемая величина

$A_{\text{max}}$  – максимальная амплитуда динамического отклонения

$\Delta X_i, \Delta X_{i+1}$  – последовательные значения максимальных отклонений параметра от задания

$X_{\text{уст}}$  – действительное значение регулируемого параметра

$\Delta X_{\text{доп}}$  – допустимое отклонение параметра от задания  $X_{\text{зад}}$

# ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ

## ПРЯМЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ

ВРЕМЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ	$T_{\text{рег}}$
МАКСИМАЛЬНОЕ ДИНАМИЧЕСКОЕ ОТКЛОНЕНИЕ	$A_{\text{max}}$
ПЕРЕРЕГУЛИРОВАНИЕ	$\delta_{\text{max}} = (A_{\text{max}} - X_{\text{уст}}) / X_{\text{уст}}$
КОЭФФИЦИЕНТ ЗАТУХАНИЯ	$\chi = \Delta X_1 / \Delta X_2$
СТАТИЧЕСКАЯ ОШИБКА	$\Delta X = X_{\text{зд}} - X_{\text{уст}}$
ДОПУСТИМОЕ СТАТИЧЕСКОЕ ОТКЛОНЕНИЕ	$\Delta X_{\text{доп}} = (0,01 - 0,05) X_{\text{зд}}$

## КОСВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ

ИНТЕГРАЛЬНЫЙ КРИТЕРИЙ (ТОЛЬКО ДЛЯ АПЕРИОДИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ)

$$I = \int_0^{T_{\text{РЕГ}}} X(t) \cdot dt$$

ИНТЕГРАЛЬНЫЙ КВАДРАТИЧНЫЙ КРИТЕРИЙ

$$I_2 = \int_0^{T_{\text{РЕГ}}} [X(t)]^2 \cdot dt$$

# АВТОМАТИЧЕСКИЕ РЕГУЛЯТОРЫ

**РЕГУЛЯТОР** – АВТОМАТИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО, ПРЕДНАЗНАЧЕННОЕ ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ЗАДАННОМ ЗНАЧЕНИИ

**РЕГУЛЯТОР** – ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ, ВЫХОДНОЙ СИГНАЛ КОТОРОГО ФОРМИРУЕТСЯ ПО ВЕЛИЧИНЕ РАЗНОСТИ (*РАССОГЛАСОВАНИЯ*) ЗАДАННОГО И ТЕКУЩЕГО ЗНАЧЕНИЙ РЕГУЛИРУЕМОЙ ВЕЛИЧИНЫ ТАК, ЧТОБЫ ВОЗДЕЙСТВУЯ НА НЕЁ, СВЕСТИ ЭТУ РАЗНОСТЬ К НУЛЮ

**ЗАКОН РЕГУЛИРОВАНИЯ** - МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ЗАВИСИМОСТЬ, СВЯЗЫВАЮЩАЯ РАССОГЛАСОВАНИЕ И ТАКОЕ ВЫХОДНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ, КОТОРОЕ ЕГО ЛИКВИДИРУЕТ

**КОНТРОЛЛЕР** – МНОГОКАНАЛЬНЫЙ РЕГУЛЯТОР С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ПРОГРАММИРОВАНИЯ ЗАКОНА *РЕГУЛИРОВАНИЯ*, СНАБЖЁННЫЙ РЯДОМ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ

# КЛАССИФИКАЦИЯ РЕГУЛЯТОРОВ

## **I ПО ЗАКОНУ РЕГУЛИРОВАНИЯ**

### **А) ТИПОВЫЕ**

- 1) ПОЗИЦИОННЫЕ,
- 2) ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫЕ,
- 3) ИНТЕГРАЛЬНЫЕ,
- 4) ПРОПОРЦИОНАЛЬНО-ИНТЕГРАЛЬНЫЕ,
- 5) ПРОПОРЦИОНАЛЬНО -ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ
- 6) ПРОПОРЦИОНАЛЬНО-ИНТЕГРАЛЬНО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ,

### **Б) НЕСТАНДАРТНЫЕ**

- 1) ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ,
- 2) АДАПТИВНЫЕ,
- 3) С ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ

## **II ПО ХАРАКТЕРУ ВЫХОДНОГО СИГНАЛА**

- 1) АНАЛОГОВЫЕ,
- 2) ДИСКРЕТНЫЕ (РЕЛЕЙНЫЕ, ИМПУЛЬСНЫЕ)

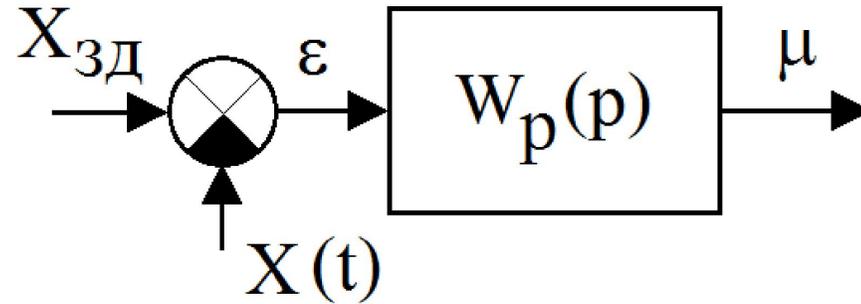
## **III ПО ВИДУ ЭНЕРГИИ**

- 1) ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ,
- 2) ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ (в т.ч. ПНЕВМОНИЧЕСКИЕ),
- 3) ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ,
- 4) КОМБИНИРОВАННЫЕ

## **IV ПО ИСТОЧНИКУ ЭНЕРГИИ**

- 1) ПРЯМОГО ДЕЙСТВИЯ
- 2) НЕПРЯМОГО ДЕЙСТВИЯ

# ТИПОВЫЕ ЗАКОНЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ



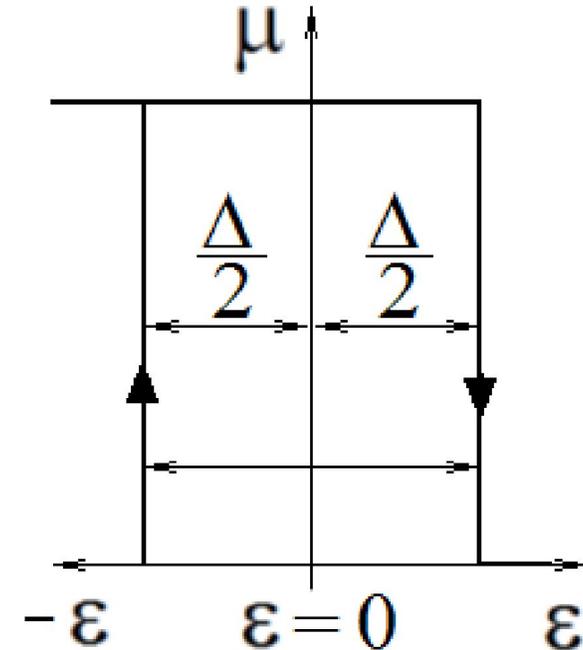
## ЗАКОН РЕГУЛИРОВАНИЯ

ПОЗИЦИОННЫЙ (ПЗ)  
РЕГУЛЯТОР

$$\mu = 0 \text{ при } \varepsilon > 0$$

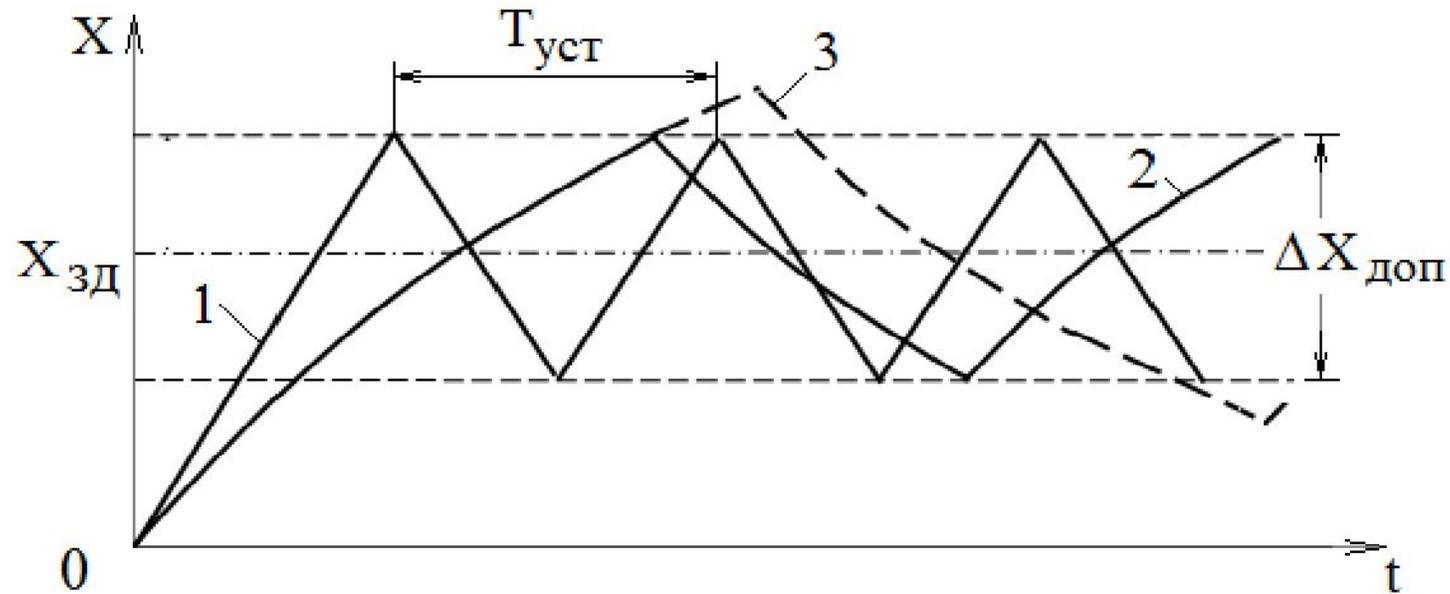
$$\mu = 1 \text{ при } \varepsilon \leq 0$$

## СТАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА



# ТИПОВЫЕ ЗАКОНЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ

## ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В АСР ПРИ ПОЗИЦИОННОМ РЕГУЛИРОВАНИИ



1. Объект без самовыравнивания (интегрирующее звено)
2. Объект с самовыравниванием (апериодическое звено)
3. Объект с самовыравниванием и с запаздыванием

# ТИПОВЫЕ ЗАКОНЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ

## ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫЙ (П) РЕГУЛЯТОР

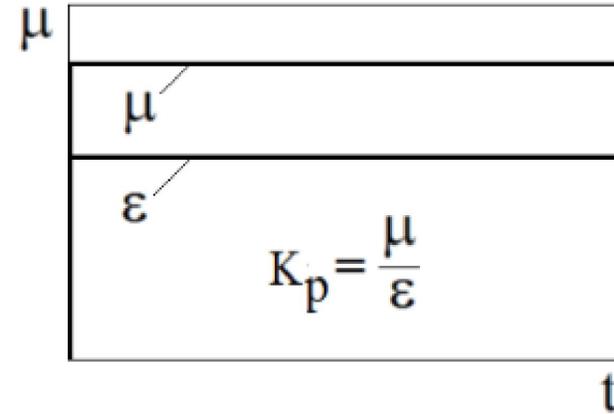
ЗАКОН  
РЕГУЛИРОВАНИЯ

$$\mu = K_p \cdot \varepsilon$$

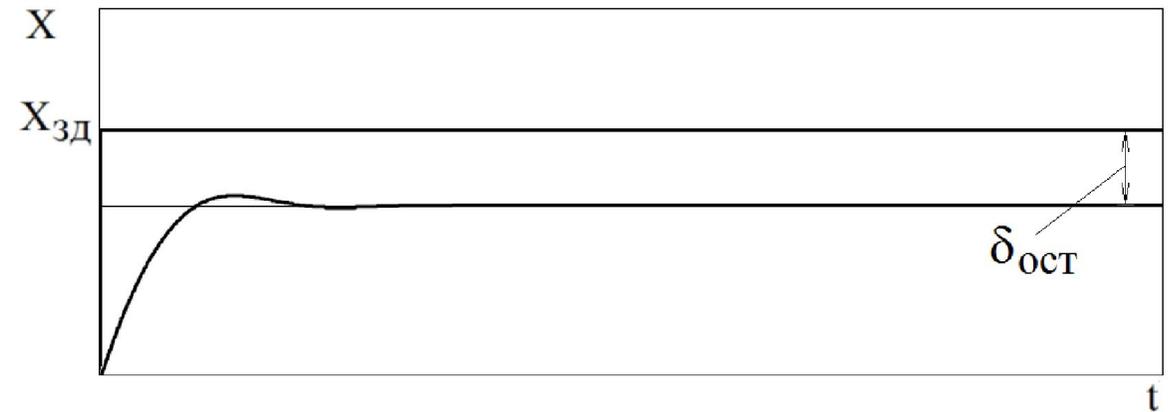
ПЕРЕДАТОЧНАЯ  
ФУНКЦИЯ

$$W_p(p) = K_p(p)$$

ГРАФИК  
ПЕРЕХОДНОЙ



ПЕРЕХОДНЫЙ ПРОЦЕСС В АСР ПРИ  
ПРОПОРЦИОНАЛЬНОМ РЕГУЛИРОВАНИИ



# ТИПОВЫЕ ЗАКОНЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ

## ИНТЕГРАЛЬНЫЙ (И) РЕГУЛЯТОР

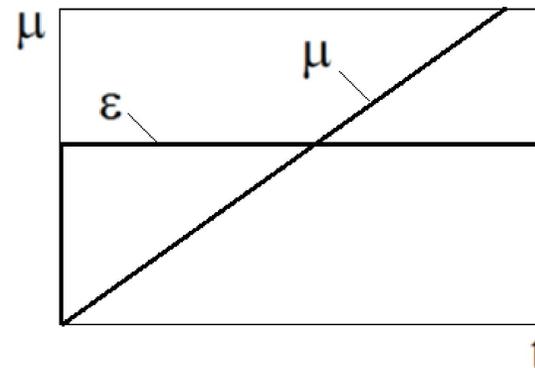
ЗАКОН  
РЕГУЛИРОВАНИЯ

$$\mu = \frac{1}{T_{\text{И}}} \cdot \int_0^t \varepsilon(t) \cdot dt$$

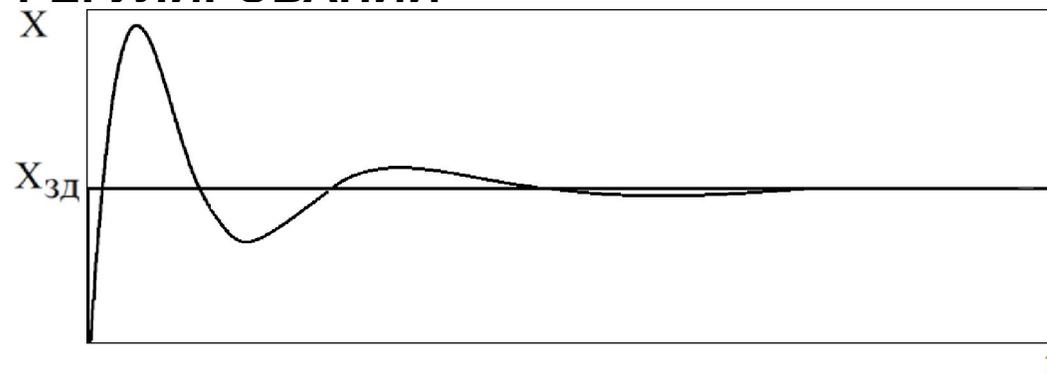
ПЕРЕДАТОЧНАЯ  
ФУНКЦИЯ

$$W_P(p) = \frac{1}{T_{\text{И}} \cdot p}$$

ГРАФИК ПЕРЕХОДНОЙ  
ХАРАКТЕРИСТИКИ И-РЕГУЛЯТОРА



ПЕРЕХОДНЫЙ ПРОЦЕСС В АСР ПРИ  
ИНТЕГРАЛЬНОМ  
РЕГУЛИРОВАНИИ



# ТИПОВЫЕ ЗАКОНЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ

## ПРОПОРЦИОНАЛЬНО - ИНТЕГРАЛЬНЫЙ (ПИ) РЕГУЛЯТОР

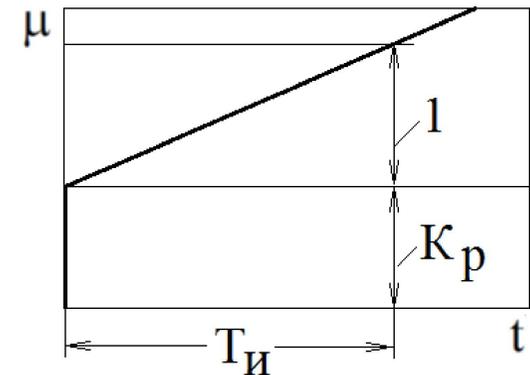
ЗАКОН  
РЕГУЛИРОВАНИЯ

$$\mu = K_p \cdot \varepsilon(t) + \frac{1}{T_I} \cdot \int_0^t \varepsilon(t) \cdot dt$$

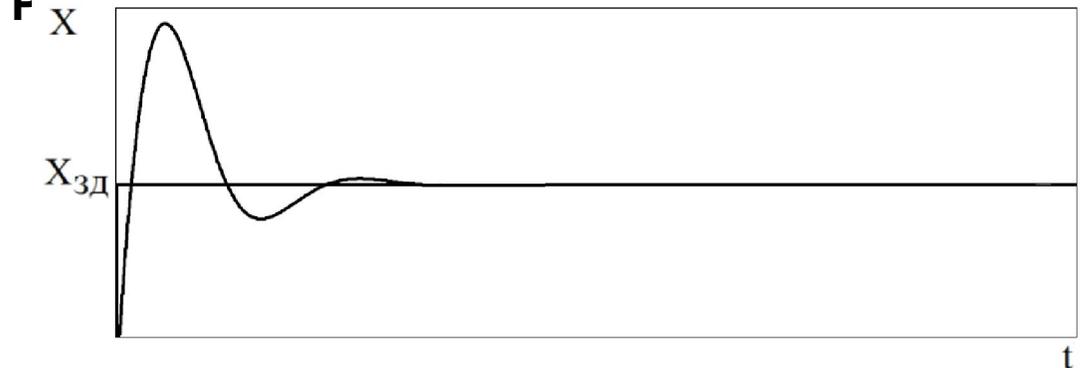
ПЕРЕДАТОЧНАЯ  
ФУНКЦИЯ

$$W_P(p) = K_P(p) + \frac{1}{T_I \cdot p}$$

ГРАФИК ПЕРЕХОДНОЙ  
ХАРАКТЕРИСТИКИ



ПЕРЕХОДНЫЙ ПРОЦЕСС В АСР ПРИ  
ПРОПОРЦИОНАЛЬНО-ИНТЕГРАЛЬНОМ  
РЕГУЛИРОВАНИИ



# ТИПОВЫЕ ЗАКОНЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ

## ПРОПОРЦИОНАЛЬНО-ИНТЕГРАЛЬНО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ (ПИД) РЕГУЛЯТОР

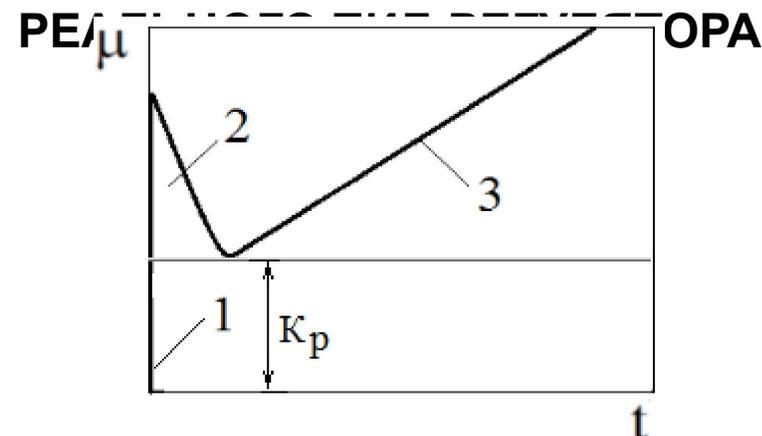
ЗАКОН  
РЕГУЛИРОВАНИЯ

$$\mu = K_P \cdot \varepsilon(t) + \frac{1}{T_I} \cdot \int_0^t \varepsilon(t) \cdot dt + T_D \cdot \frac{d\varepsilon}{dt}$$

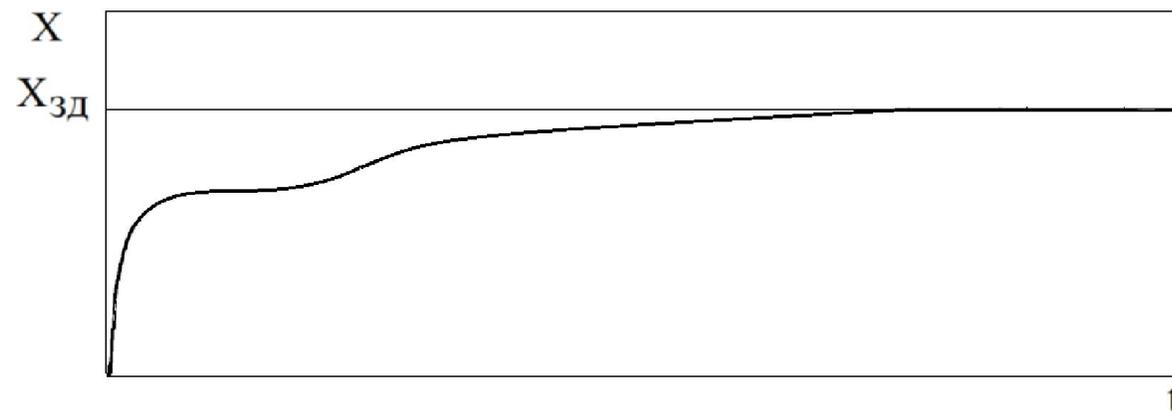
ПЕРЕДАТОЧНАЯ  
ФУНКЦИЯ

$$W_P(p) = K_P(p) + \frac{1}{T_I \cdot p} + T_D \cdot p$$

ГРАФИК ПЕРЕХОДНОЙ  
ХАРАКТЕРИСТИКИ

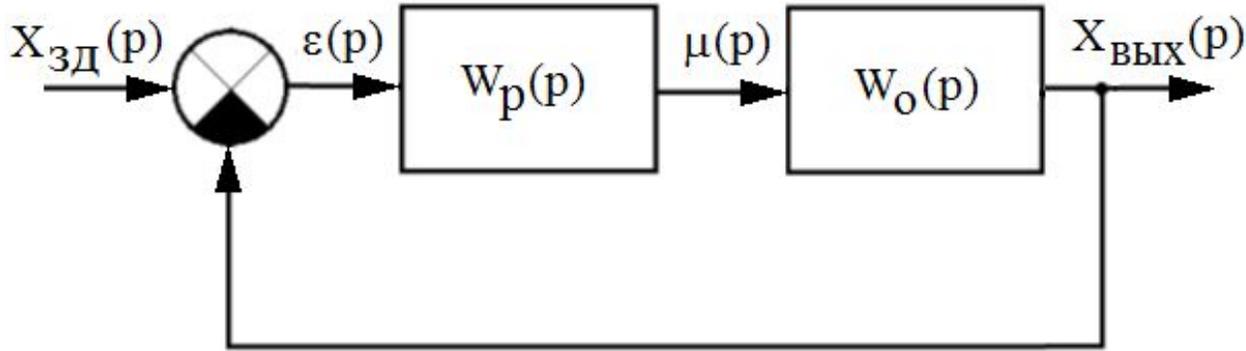


ПЕРЕХОДНЫЙ ПРОЦЕСС В АСР ПРИ ПИД-



# ТИПОВЫЕ СТРУКТУРЫ АСР

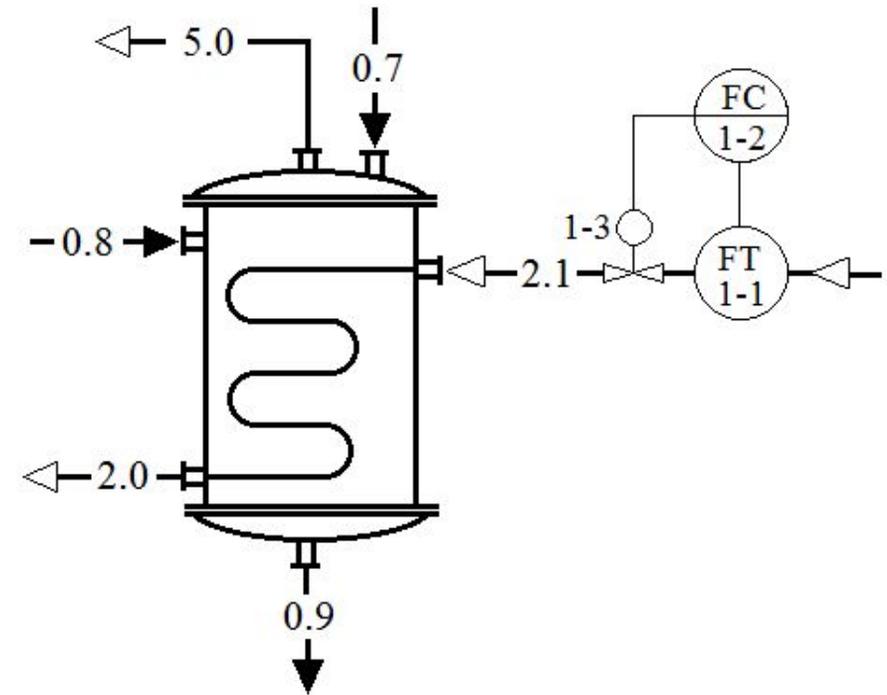
## ОДНОКОНТУРНАЯ АСР



$W_o(p)$  - ПЕРЕДАТОЧНАЯ ФУНКЦИЯ ОБЪЕКТА РЕГУЛИРОВАНИЯ

$W_p(p)$  - ЗАКОН РЕГУЛИРОВАНИЯ В ФОРМЕ ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИИ

## АСР РАСХОДА ГРЕЮЩЕГО



### УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

#### ПОТОКОВ

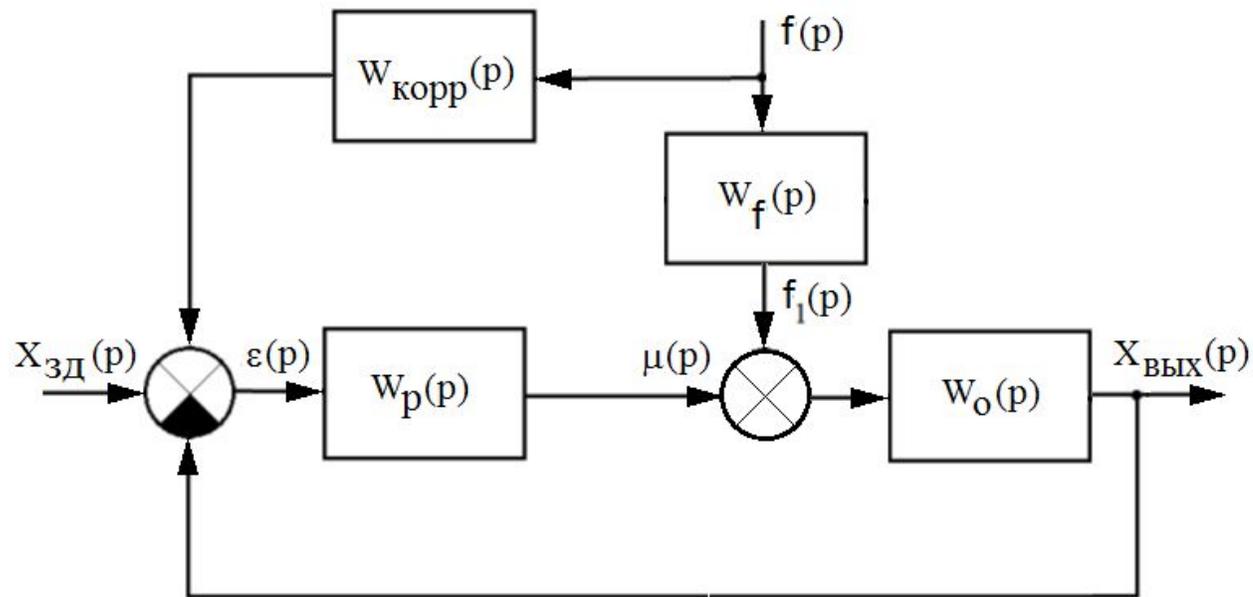
2.0 – ГРЕЮЩИЙ ПАР НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

2.1 – ОТРАБОТАННЫЙ ПАР

5.0 – НЕГОРЮЧИЕ ОТРАБОТАННЫЕ ГАЗЫ

0.7, 0.8, 0.9 – РЕЗЕРВНЫЕ

# КОМБИНИРОВАННАЯ АСР



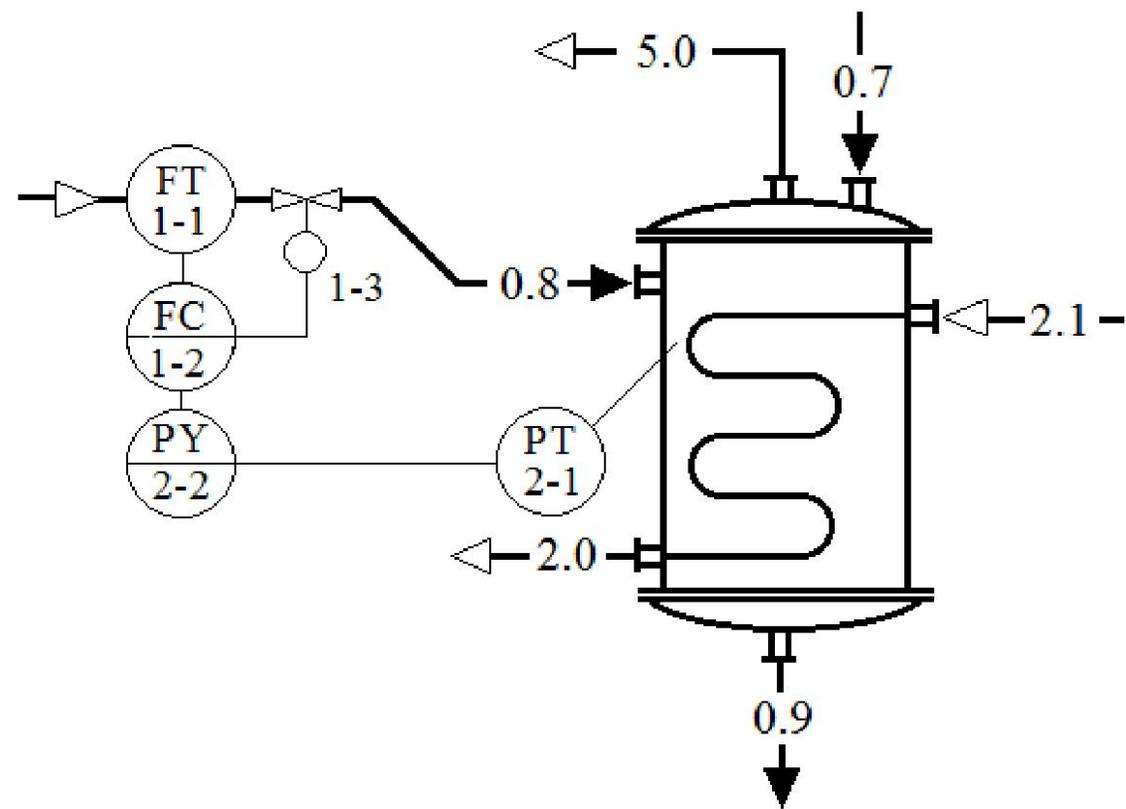
$$[(W_K \cdot W_P) + W_f] \cdot W_O = X_{\text{ВЫХ}}/f \equiv 0$$

$$W_{\text{КОРР}} = -W_f/W_P$$

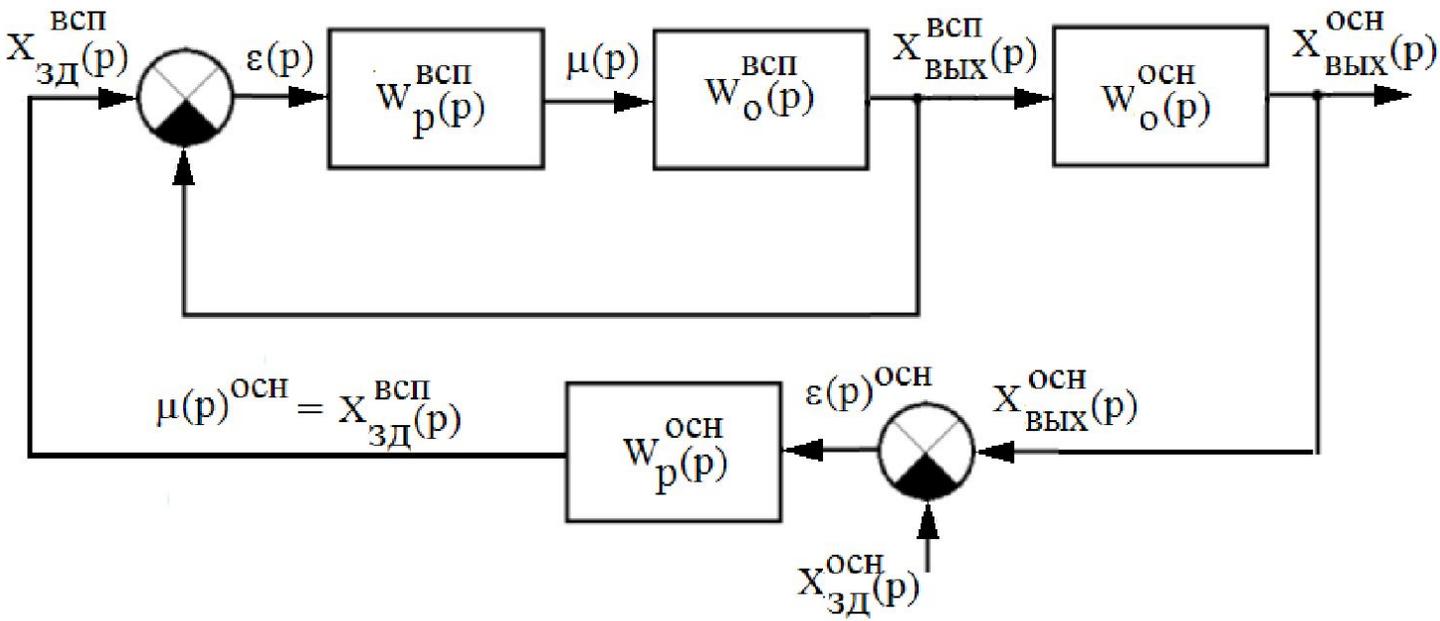
УСЛОВИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ  
РЕАЛИЗУЕМОСТИ КОРРЕКТОРА

$$\tau_p < \tau_f$$

## КОМБИНИРОВАННАЯ АСР РАСХОДА КОМПОНЕНТА 0.8



# КАСКАДНАЯ АСР



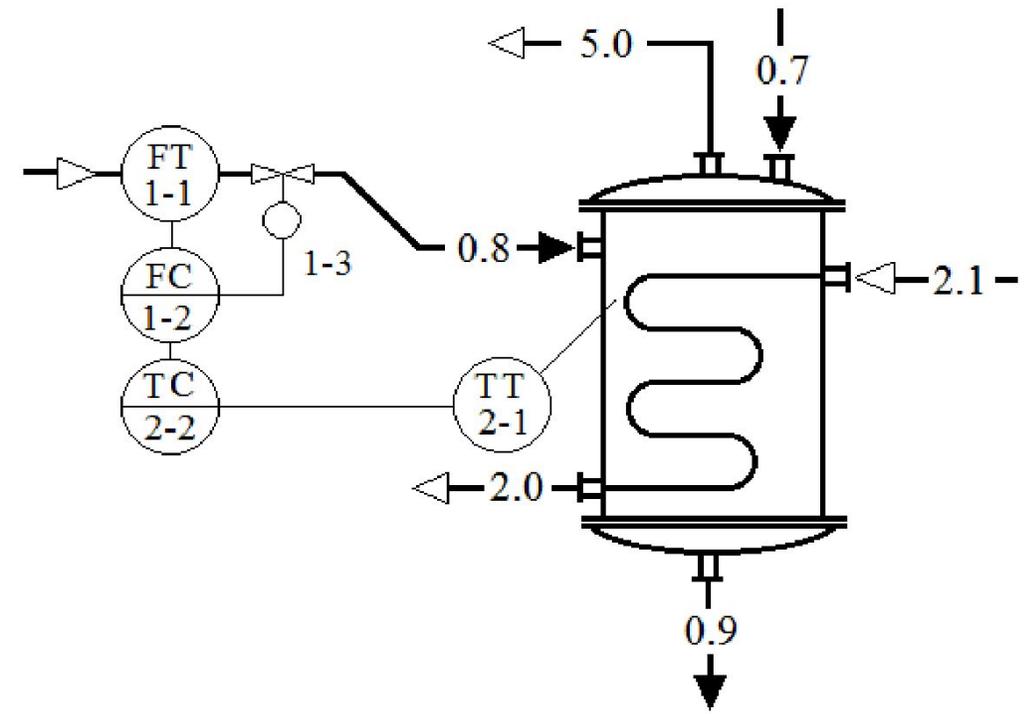
$$\mu^{ОСН} = X_{ЗД}^{ВСП}$$

## УСЛОВИЯ РЕАЛИЗУЕМОСТИ

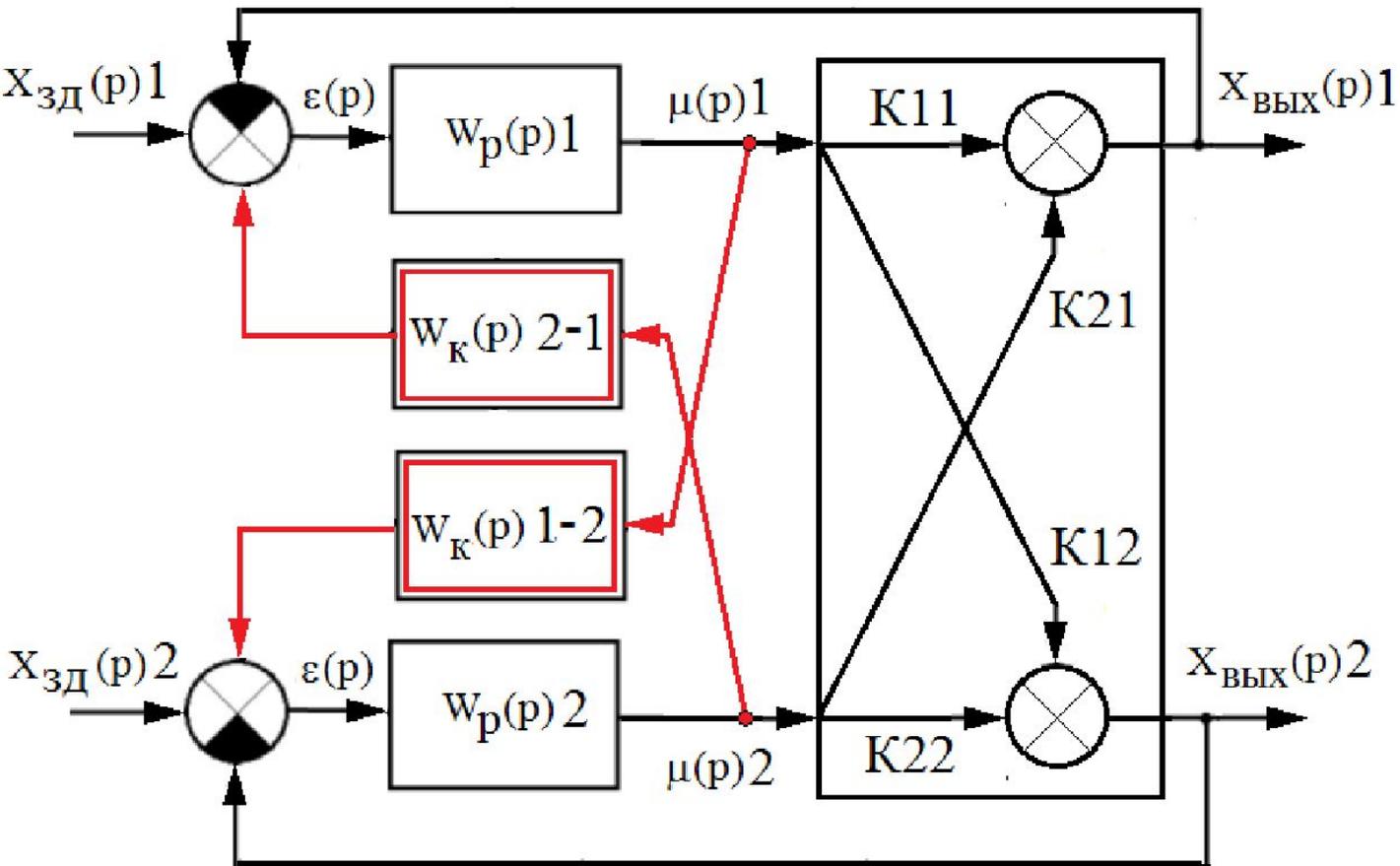
$$T_0^{ОСН} \gg T_0^{ВСП}$$

$$\tau_0^{ОСН} \gg \tau_0^{ВСП}$$

## КАСКАДНАЯ АСР ТЕМПЕРАТУРЫ

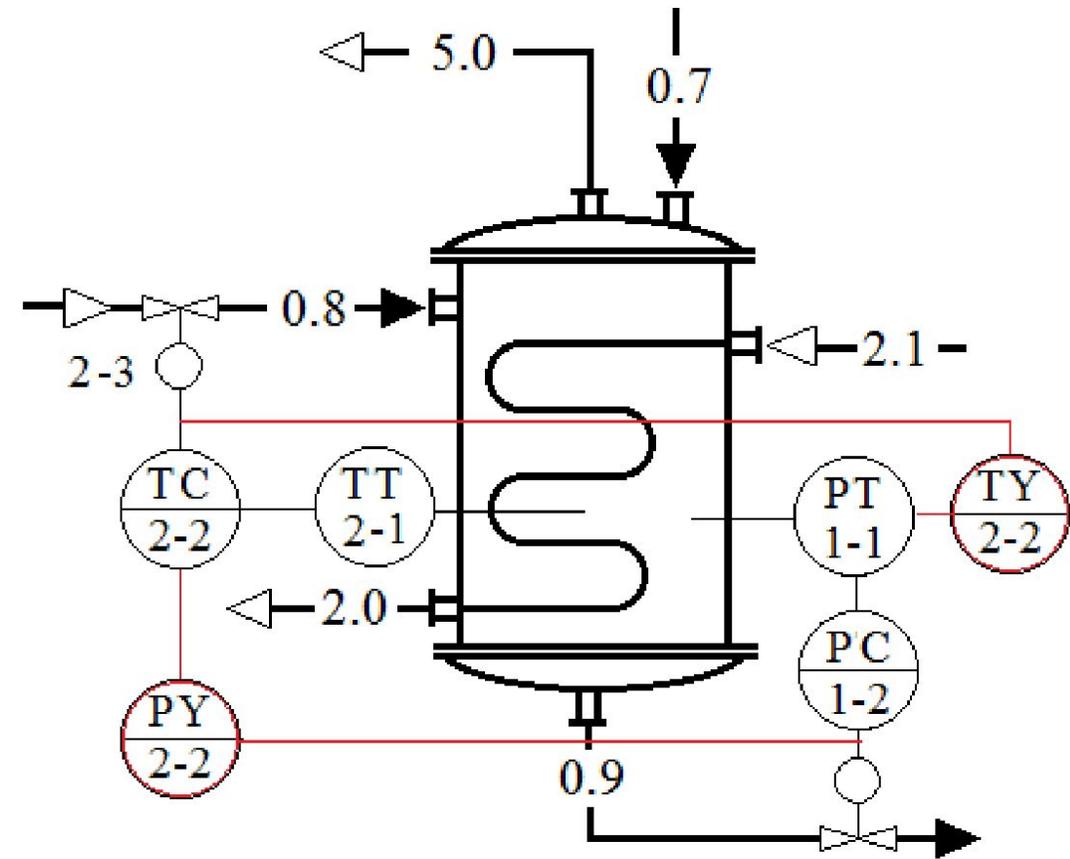


# АСР МНОГОСВЯЗНЫХ ОБЪЕКТОВ



$$K_{СВ} = \frac{K12 \cdot K21}{K11 \cdot K22}$$

$K_{i,j}$  - КОЭФФИЦИЕНТЫ ПЕРЕДАЧИ



$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

# ВЫБОР И РАСЧЁТ (СИНТЕЗ) АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ

1 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ: МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБЪЕКТА РЕГУЛИРОВАНИЯ, ПАРАМЕТРЫ РЕГУЛИРУЕМОЙ ПЕРЕМЕННОЙ, УПРАВЛЯЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ И ВОЗМУЩЕНИЙ

2 ФОРМУЛИРОВКА КРИТЕРИЯ

ОПТИМАЛЬНОСТИ

3 ВЫБОР ТИПА

АСР

4 ВЫБОР ЗАКОНА РЕГУЛИРОВАНИЯ

(СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ)

5 РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ ЗАКОНА РЕГУЛИРОВАНИЯ

(ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ)

6 ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АСР С ЦЕЛЬЮ ПРОВЕРКИ СООТВЕТСТВИЯ КРИТЕРИЮ ОПТИМАЛЬНОСТИ

7 ОКОНЧАНИЕ РАСЧЁТА ИЛИ ПЕРЕХОД К БОЛЕЕ СЛОЖНОМУ РЕШЕНИЮ ПП. 3 и 4

# МЕТОДИКИ СИНТЕЗА ТИПОВЫХ РЕГУЛЯТОРОВ

## ВЫБОР ЗАКОНА РЕГУЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ

ФОРМАЛИЗОВАННЫЙ  
ПРИБЛИЖЁННЫЙ  
МЕТОД

ЭВРИСТИЧЕСКИЙ  
МЕТОД

ЕСЛИ И  $\tau_0/T_0 < 0,2$

ПОЗИЦИОННЫЙ  
РЕГУЛЯТОР

ЕСЛИ И  $0,2 < \tau_0/T_0 < 1,0$

НЕПРЕРЫВНЫЙ  
РЕГУЛЯТОР

ЕСЛИ И  $\tau_0/T_0 > 1,0$

МНОГОКОНТУРНАЯ АСР

## ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ТИПОВЫХ РЕГУЛЯТОРОВ

ПО ФОРМУЛАМ, СООТВЕТСТВУЮЩИМ ГРАНИЦЕ УСТОЙЧИВОСТИ (МЕТОД ЦИГЛЕРА – НИКОЛЬСА)

ПО НОМОГРАММАМ ДЛЯ ОТДЕЛЬНЫХ ПРЯМЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ

РАСЧЁТ ПО ЗАДАННОЙ СТЕПЕНИ КОЛЕБАТЕЛЬНОСТИ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА (МЕТОД РЧХ)

ПОИСКОВЫЙ МЕТОД НА ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЯХ

# ПРИБЛИЖЁННЫЕ МЕТОДЫ СИНТЕЗА РЕГУЛЯТОРОВ

## ВЫБОР ЗАКОНА РЕГУЛИРОВАНИЯ

$T/\tau > 1,0$  – П-регулятор;  
 $10 > T/\tau > 7,5$  – ПИ-регулятор;  
 $7,5 > T/\tau > 3$  – ПИД-регулятор;  
 $T/\tau < 3$  – многоконтурная система

## ВЫБОР НАСТРОЕК РЕГУЛЯТОРОВ

П-регулятор  $k = T/\tau$ ;  
ПИ-регулятор  $k = T/\tau$ ;  
 $T_n = 3\tau$ ;  
ПИД-регулятор  $k = 1,2 T/\tau$ ;  
 $T_n = 2\tau$ ;  
 $T_d = 0,42\tau$ ;

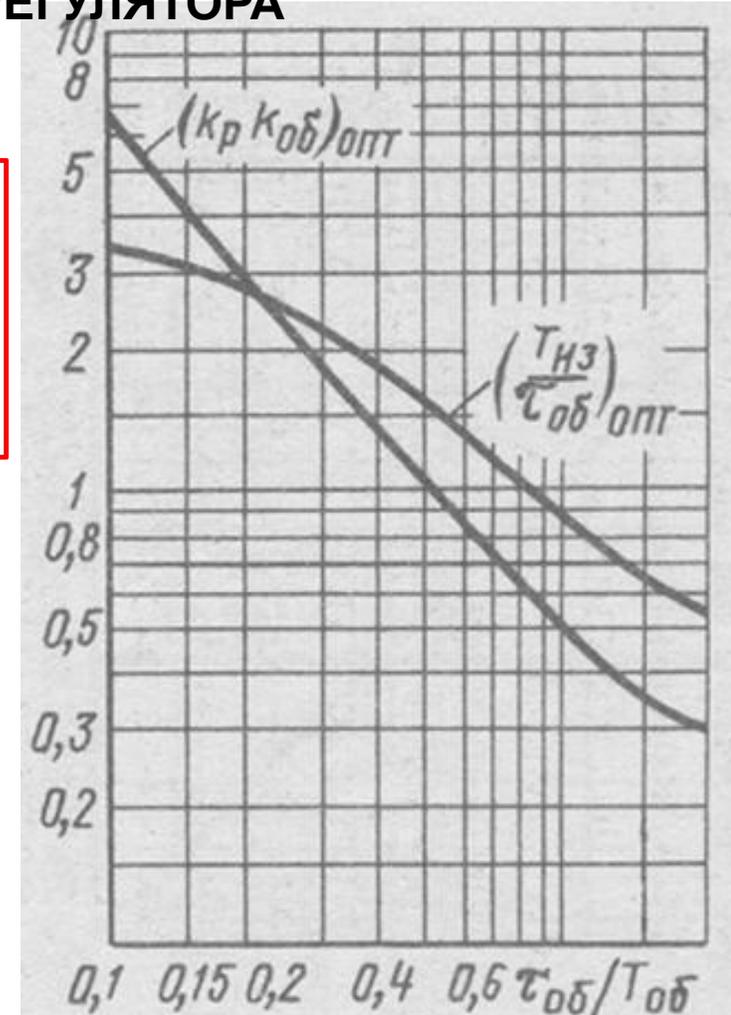
ПЕРЕДАТОЧНАЯ  
ФУНКЦИЯ ОБЪЕКТА  
РЕГУЛИРОВАНИЯ

$$W_o(p) = \frac{k_o}{(T_o \cdot p + 1)}$$

ЗАДАННЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ  
КАЧЕСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ

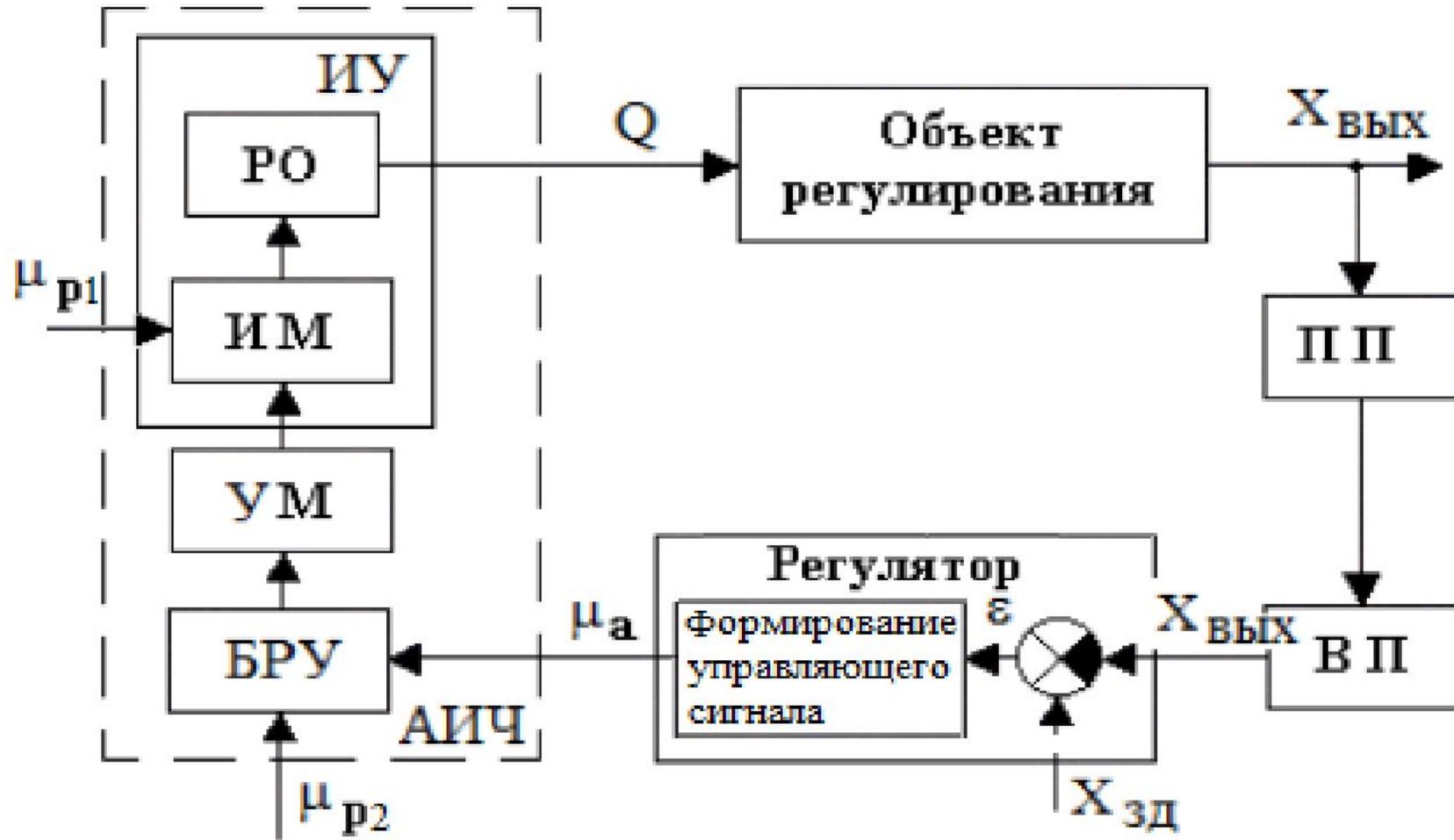
20%-е  
ПЕРЕРЕГУЛИРОВАНИЕ

НОМОГРАММА ДЛЯ ПИ-  
РЕГУЛЯТОРА



# ФИЗИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

**БЕЗ ИСПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЧАСТИ УПРАВЛЕНИЕ НЕВОЗМОЖНО**



## *БАЗОВЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ*

**ЗАДАЧА ИСПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЧАСТИ АСР –**  
**ПРЕОБРАЗОВАНИЕ УПРАВЛЯЮЩЕГО СИГНАЛА В**  
**УПРАВЛЯЮЩЕЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ**  
**УПРАВЛЯЮЩИЙ СИГНАЛ – МАЛОМОЩНЫЙ**  
**ВЫХОДНОЙ СИГНАЛ КОНТРОЛЛЕРА (0 – 5 Ма или**  
**др.)**

**УПРАВЛЯЮЩЕЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ – ИЗМЕНЕНИЕ**  
**КОЛИЧЕСТВА ВЕЩЕСТВА ИЛИ ЭНЕРГИИ,**  
**ПОСТУПАЮЩИХ В ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ**

# МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕНЕНИЯ РАСХОДА ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ В АСР

## ДРОССЕЛЬНЫЙ МЕТОД

↓  
КЛАПАНЫ  
КРАНЫ  
ЗАДВИЖКИ  
И  
ЗАСЛОНКИ

ТЕХНИЧЕСКИЕ  
СРЕДСТВА  
РЕГУЛИРУЮЩИЕ  
ОРГАНЫ

ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ  
МЕХАНИЗМЫ

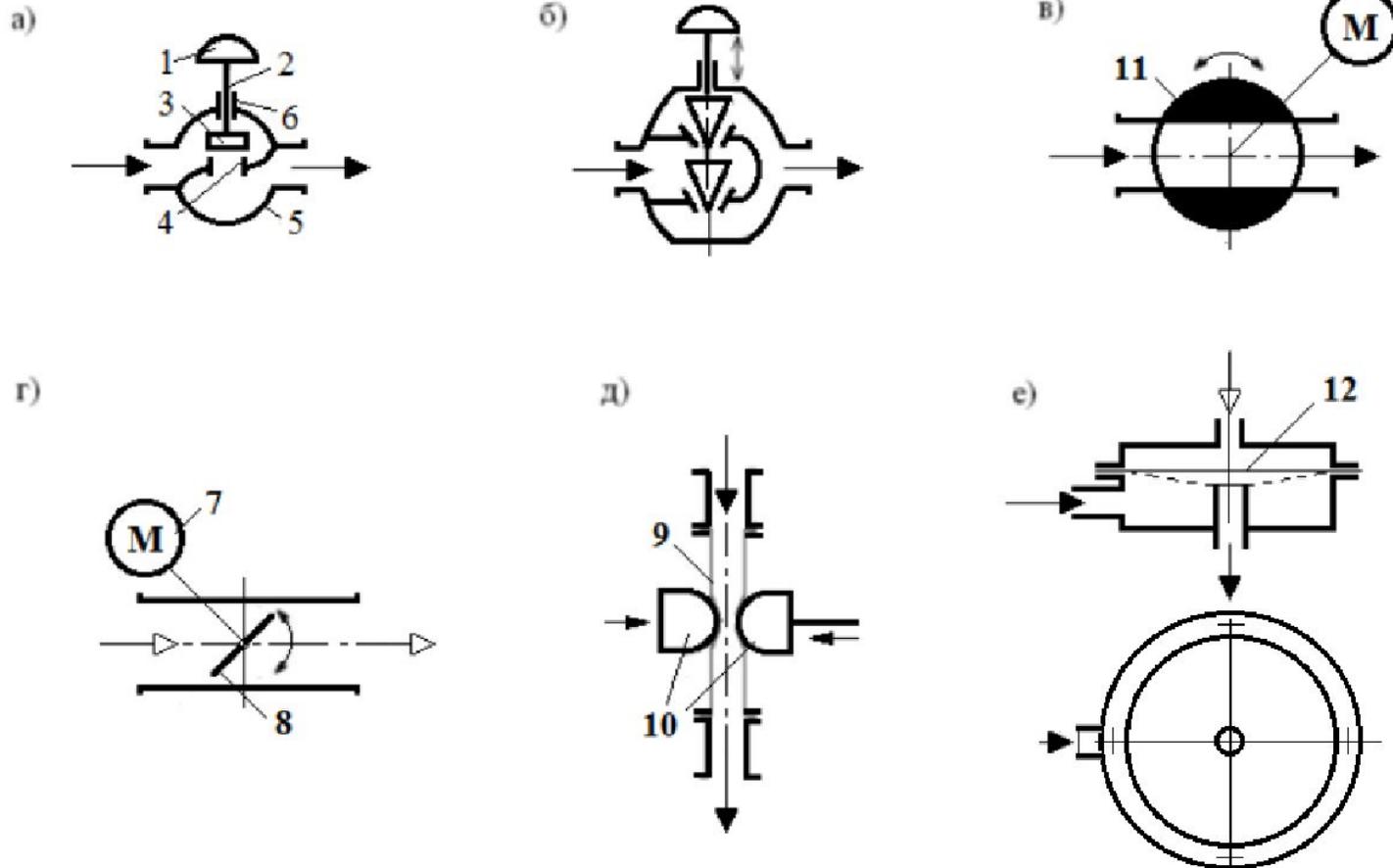
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ  
ЭЛЕКТРОМАГНИТЫ  
ПНЕВМОПРИВОД

## ОБЪЁМНЫЙ МЕТОД

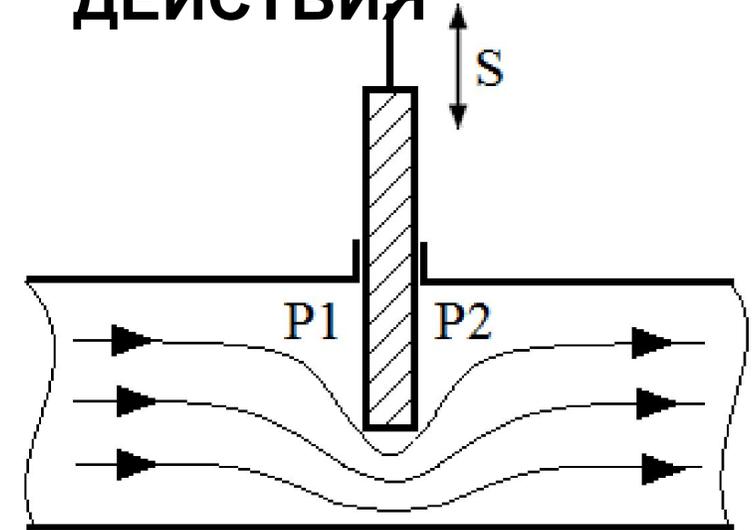
↓  
НАСОСЫ  
ВОЗДУХОДУВНЫЕ  
АГРЕГАТЫ  
ДОЗАТОРЫ

# ДРОССЕЛЬНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ РАСХОДА ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

## РЕГУЛИРУЮЩИЕ ОРГАНЫ ДРОССЕЛЬНЫХ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ



## ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ

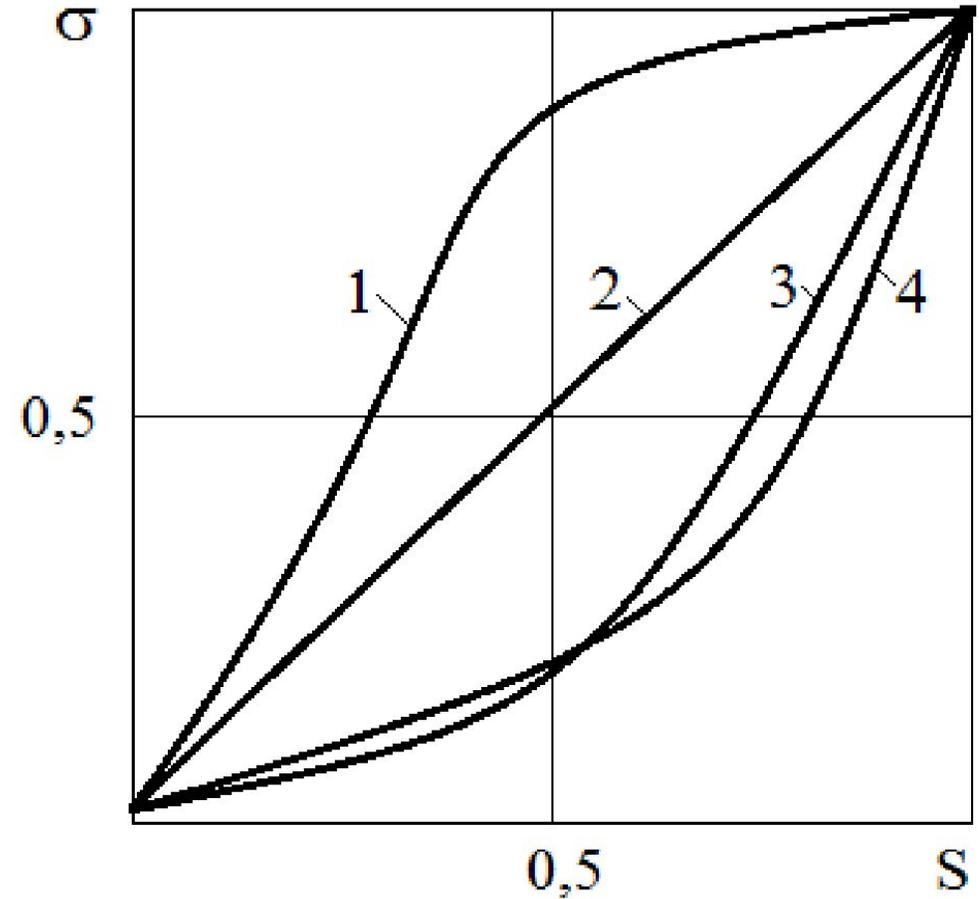
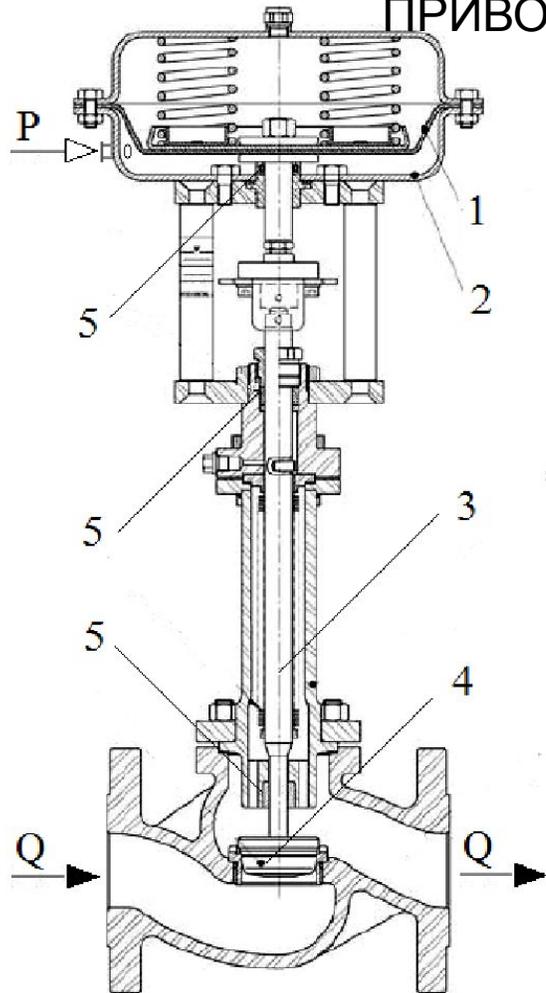


$$Q(S) = \alpha \cdot \Omega(S) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P(S)}{\rho}}$$

$$F(S) = \alpha \cdot \Omega(S) \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta P(S)}$$

# ДРОССЕЛЬНЫЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

РЕГУЛИРУЮЩИЙ КЛАПАН С  
МЕМБРАННЫМ ПНЕВМАТИЧЕСКИМ  
ПРИВОДОМ

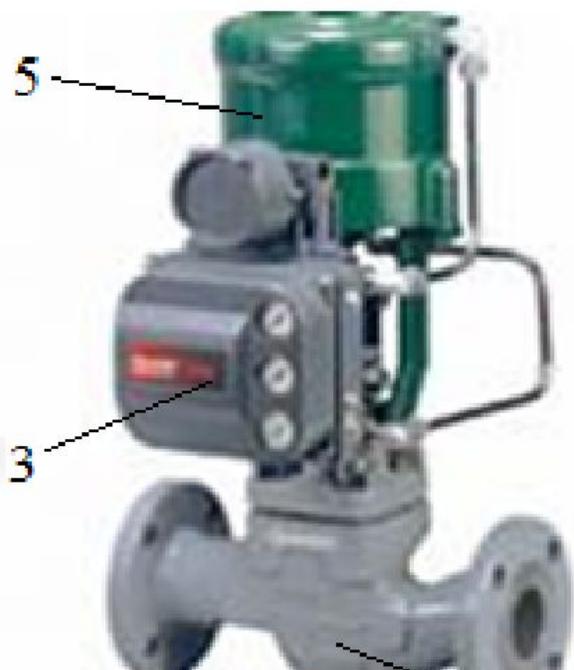


$$\sigma = K_V / K_{VU}$$

# ДРОССЕЛЬНЫЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

РЕГУЛИРУЮЩИЙ  
КЛАПАН  
С ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

а)



РЕГУЛИРУЮЩИЙ КЛАПАН  
С МЕМБРАННЫМ  
ПНЕВМОПРИВОДОМ

б)



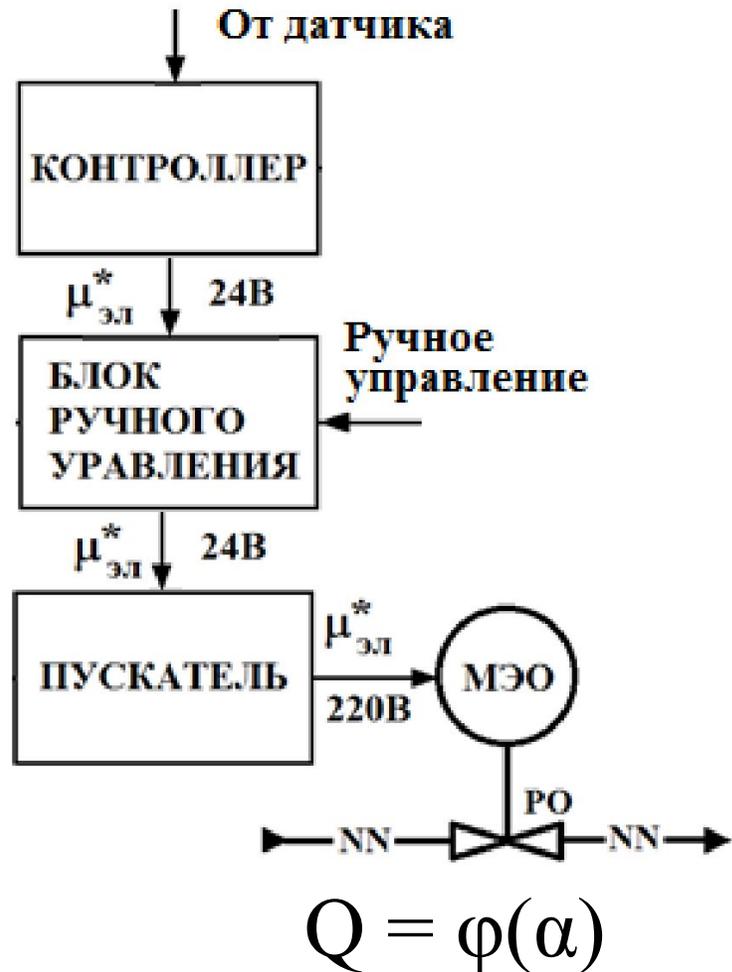
ПОВОРОТНАЯ ЗАСЛОНКА С  
МЕМБРАННЫМ  
ПНЕВМОПРИВОДОМ

в)

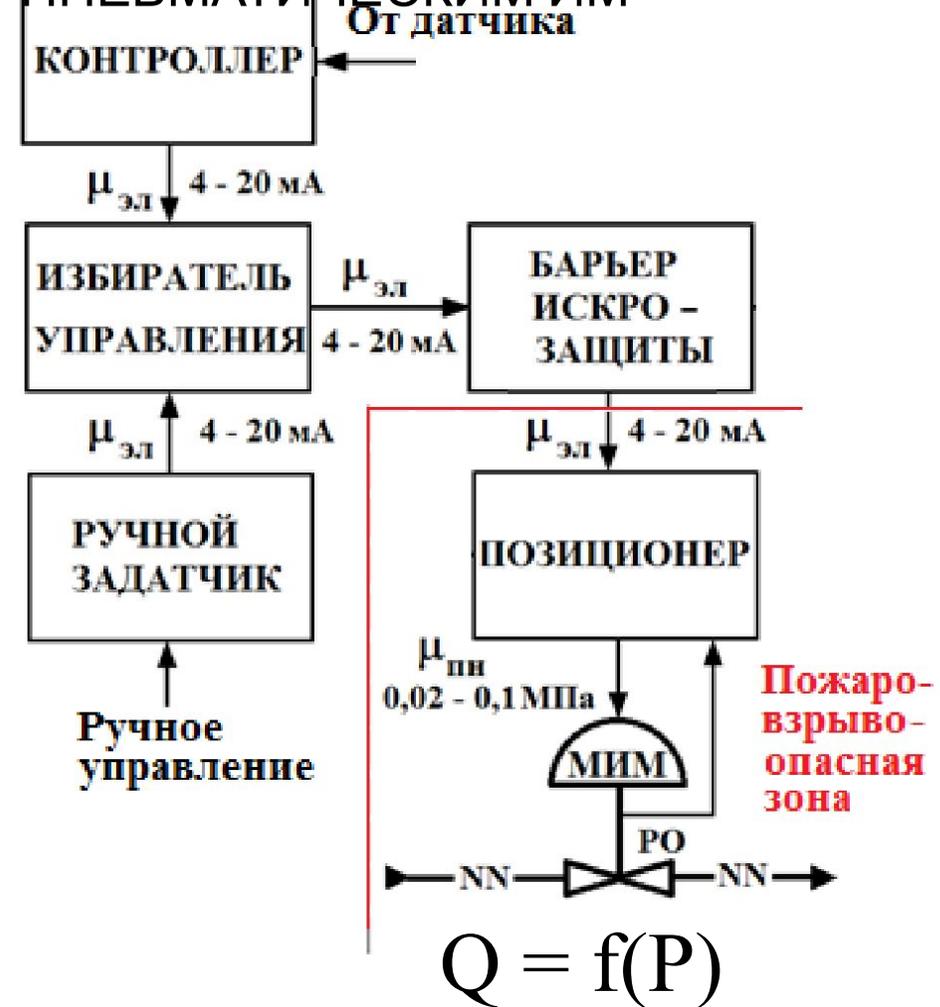


# ИНТЕГРАЦИЯ ДРОССЕЛЬНЫХ ИУ В КОНТУР АСР

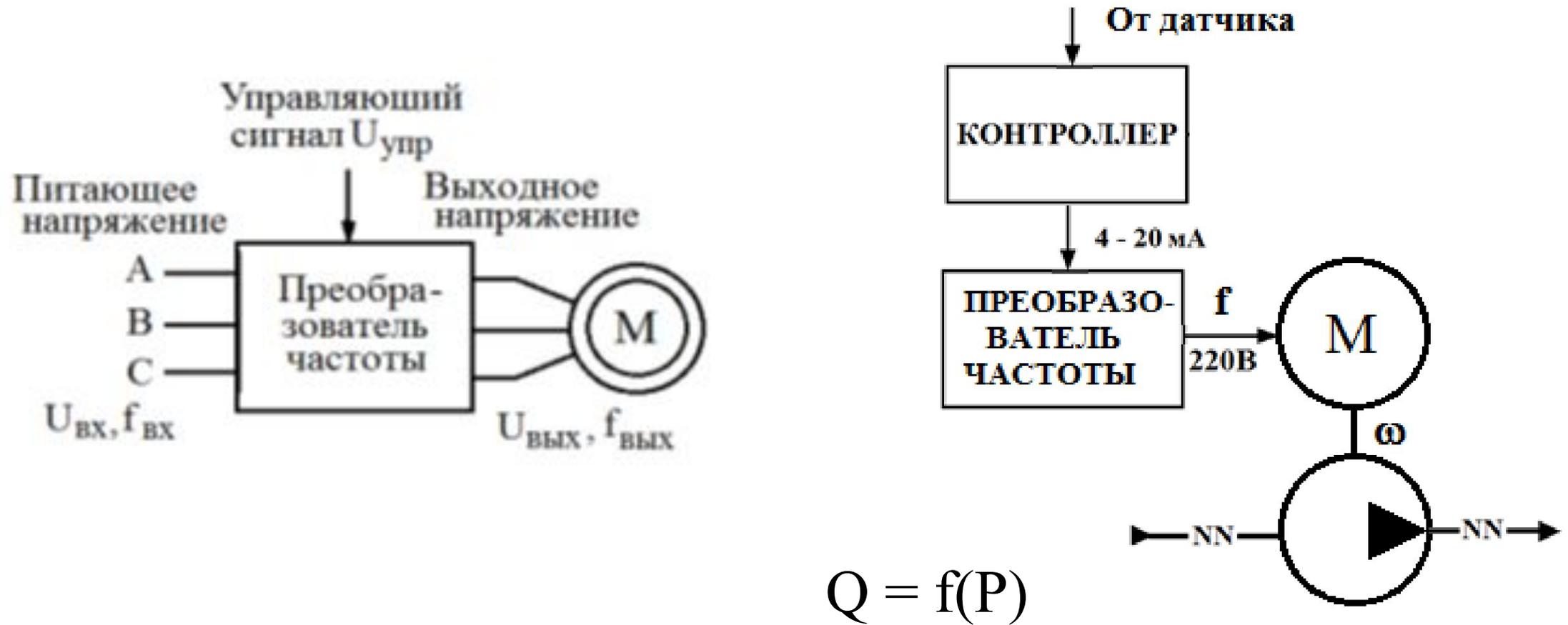
ИУ С  
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬНЫМ ИМ



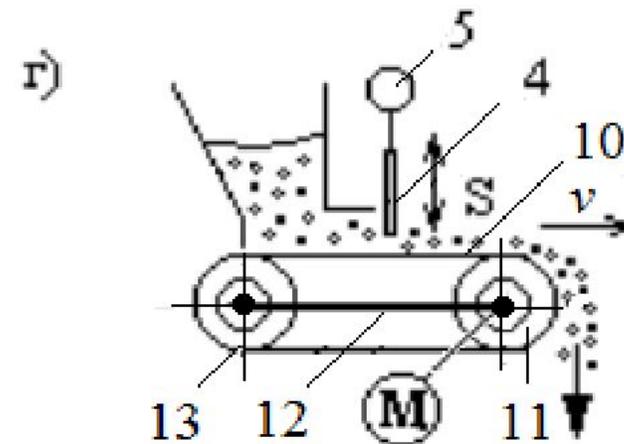
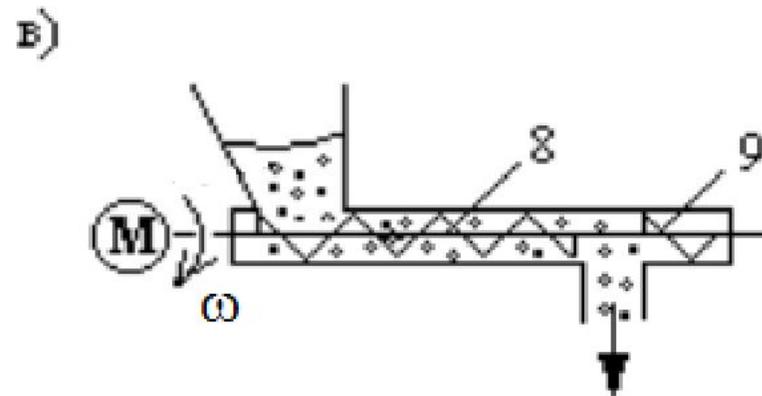
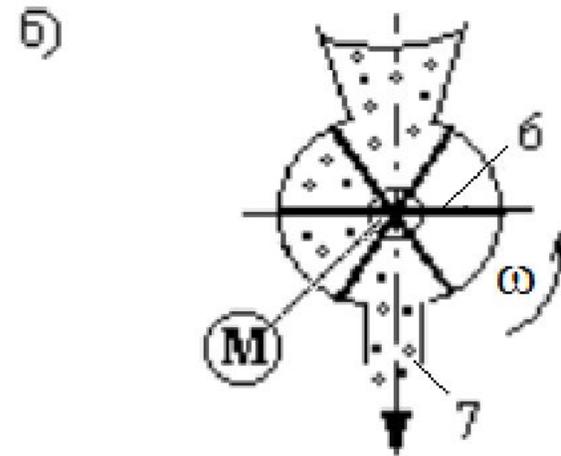
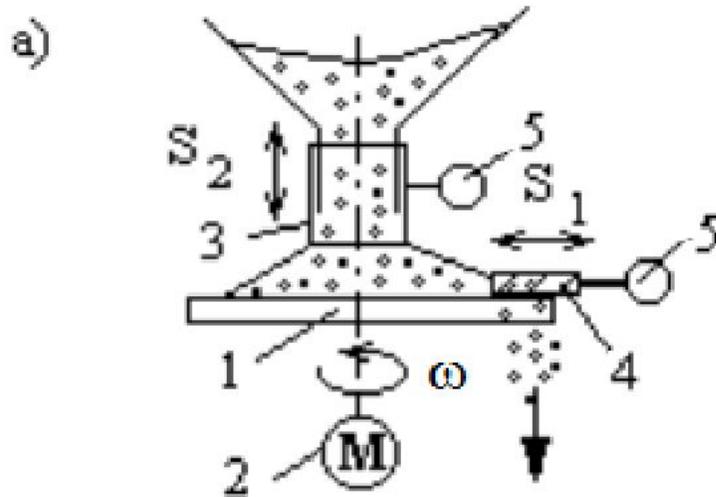
ИУ С МЕМБРАНЫМ  
ПНЕВМАТИЧЕСКИМ ИМ



# ОБЪЁМНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ РАСХОДА ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

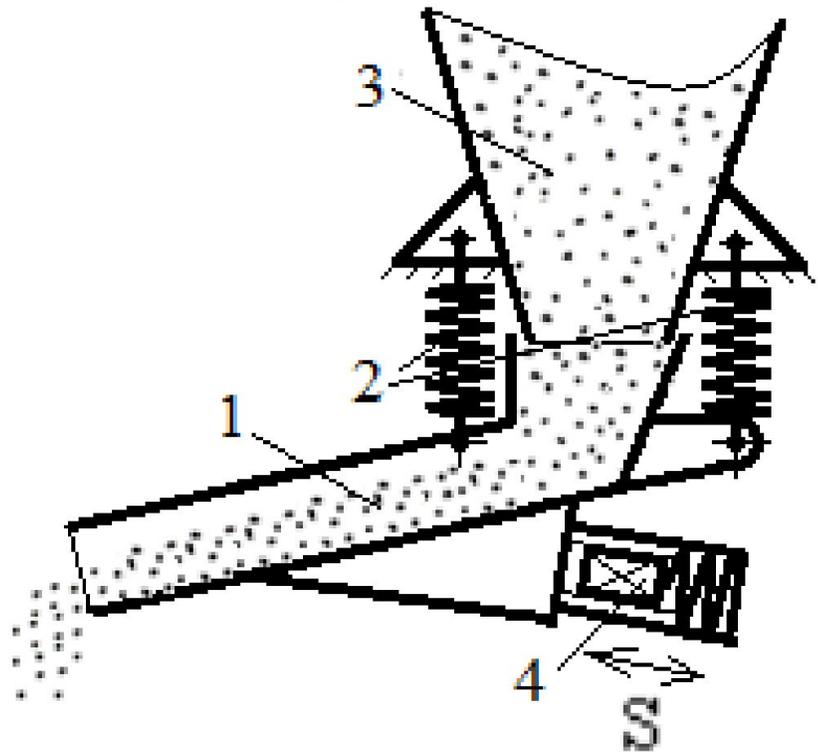


## МЕХАНИЧЕСКИЕ ПИТАТЕЛИ ДЛЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ



# УПРАВЛЕНИЕ РАСХОДОМ СЫПУЧЧИХ МАТЕРИАЛОВ

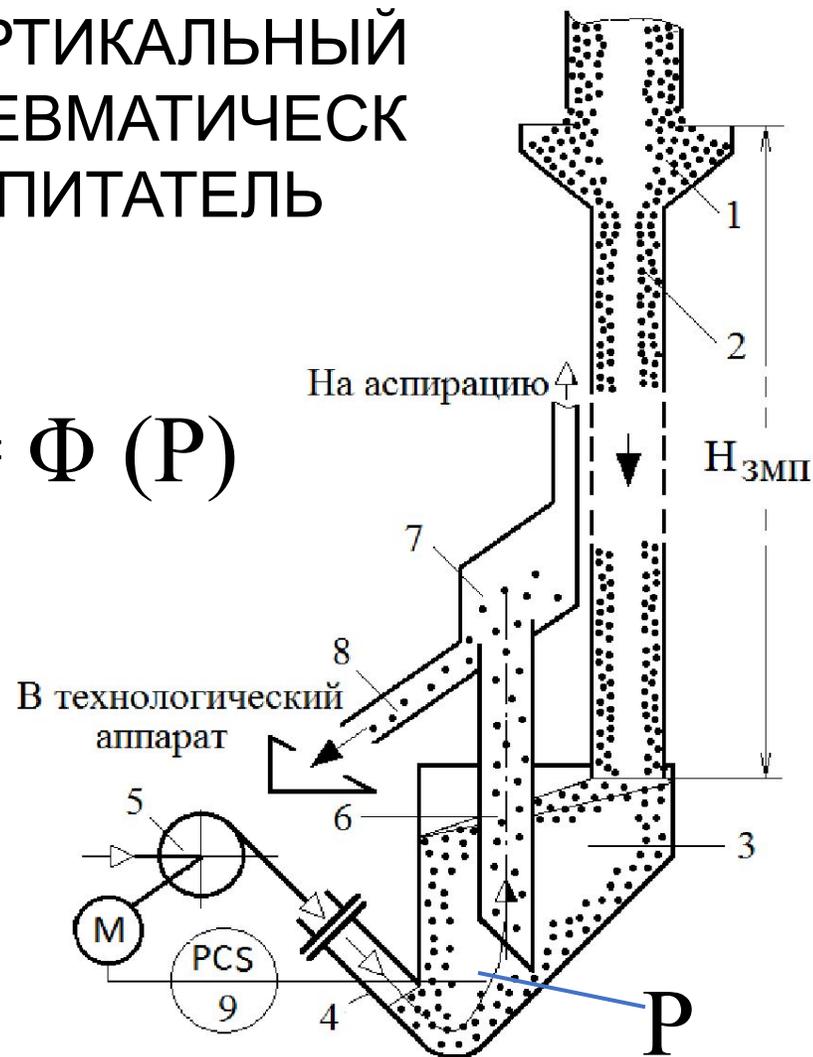
ВИБРАЦИОННЫЙ  
ПИТАТЕЛЬ



$$Q = f(A, w)$$

ВЕРТИКАЛЬНЫЙ  
ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ  
ПИТАТЕЛЬ

$$Q = \Phi(P)$$



# ПОНЯТИЕ О ДОЗИРОВАНИИ ВЕЩЕСТВ

**ДОЗИРОВАНИЕ** – ОТМЕРИВАНИЕ И ВЫДАЧА ЗАДАННОГО КОЛИЧЕСТВА ВЕЩЕСТВА В ВИДЕ ПОРЦИЙ (ДОЗ) ИЛИ НЕПРЕРЫВНОГО ПОТОКА, С ПОГРЕШНОСТЬЮ, НЕ ПРЕВЫШАЮЩЕЙ ПРЕДЕЛОВ ДОПУСКАЕМОГО ОТКЛОНЕНИЯ

## ДОЗАТОРЫ

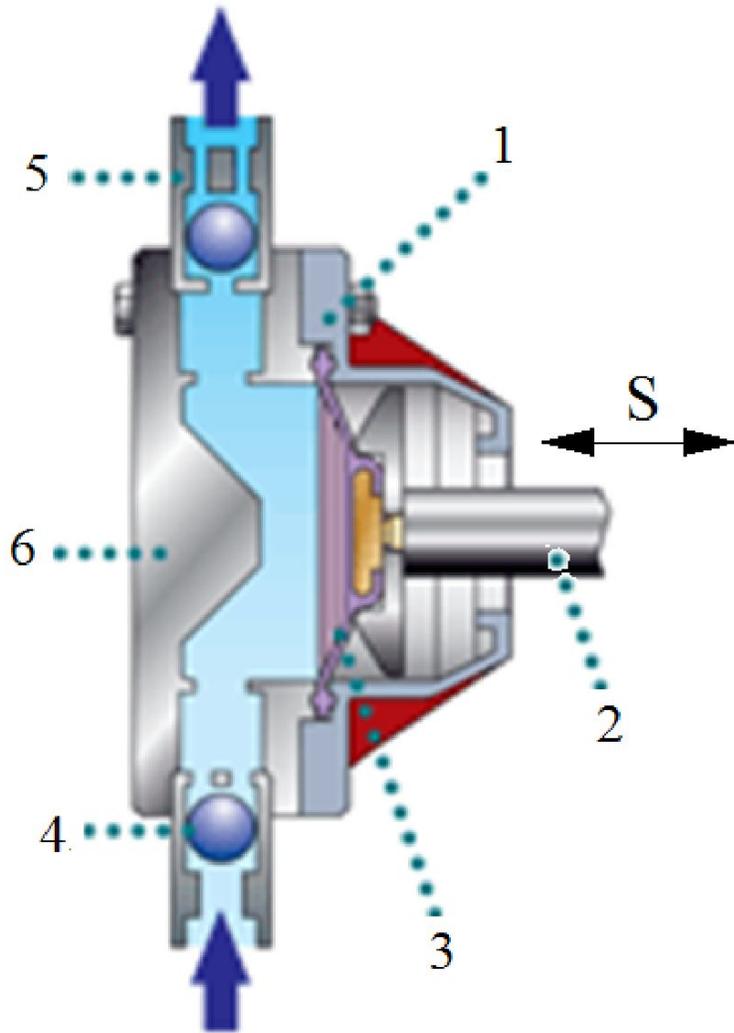
ЖИДКОСТЕЙ  
СЫПУЧИХ ВЕЩЕСТВ

НЕПРЕРЫВНОГО  
ДЕЙСТВИЯ  
ДИСКРЕТНОГО  
ДЕЙСТВИЯ  
ВЕСОВЫЕ  
ОБЪЁМНЫЕ

С ПНЕВМАТИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ  
С ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬНЫМ  
ПРИВОДОМ  
С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ  
ПРИВОДОМ  
ПРИОДВИЖНЫМИ РАБОЧИМИ  
ОРГАНАМИ  
БЕЗ ДВИЖУЩИХСЯ ЭЛЕМЕНТОВ

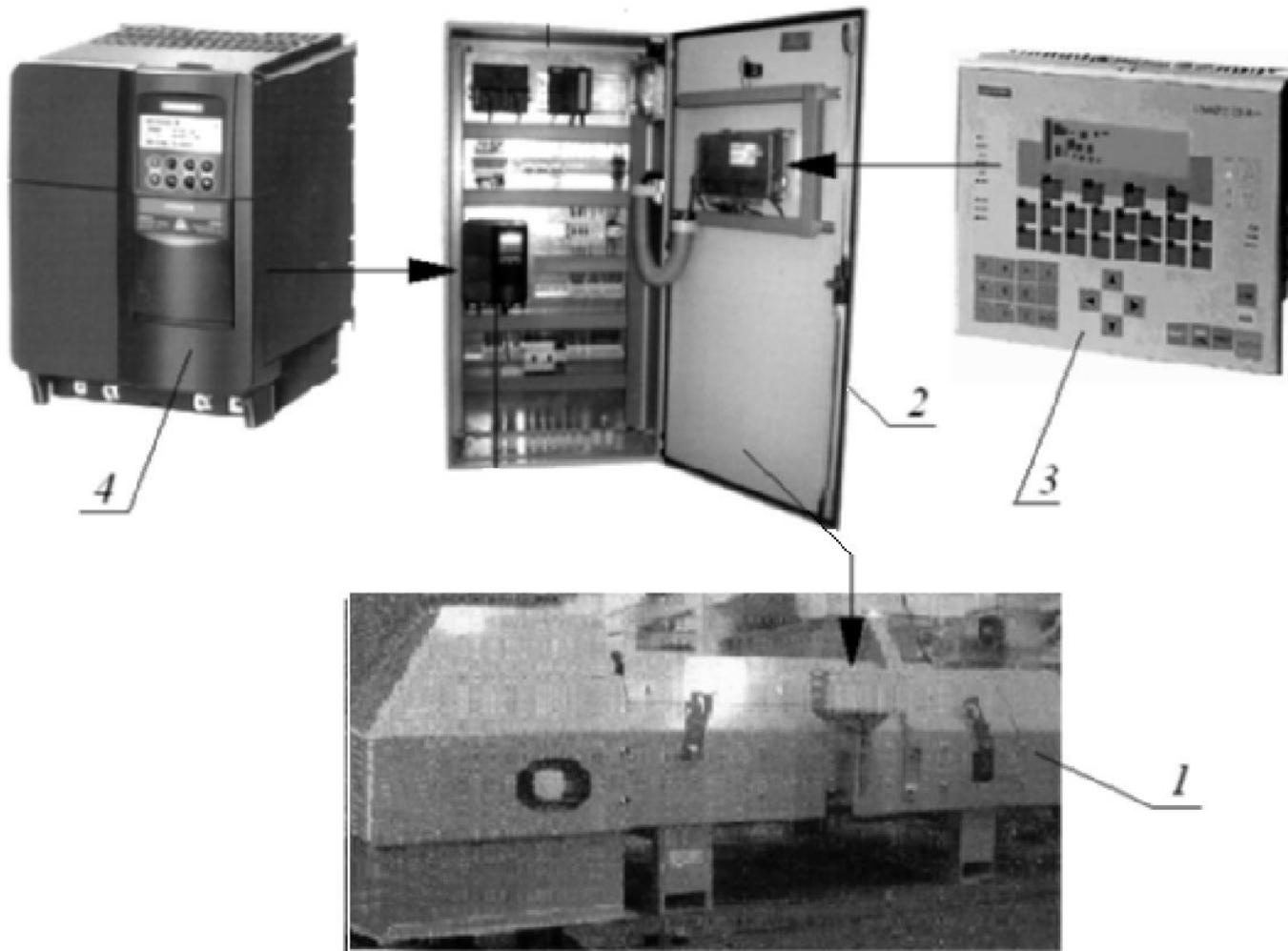


# МЕМБРАННЫЙ НАСОС-ДОЗАТОР





# ЛЕНТОЧНЫЙ ДОЗАТОР СЫПУЧЧИХ ВЕЩЕСТВ «ДОЗА»



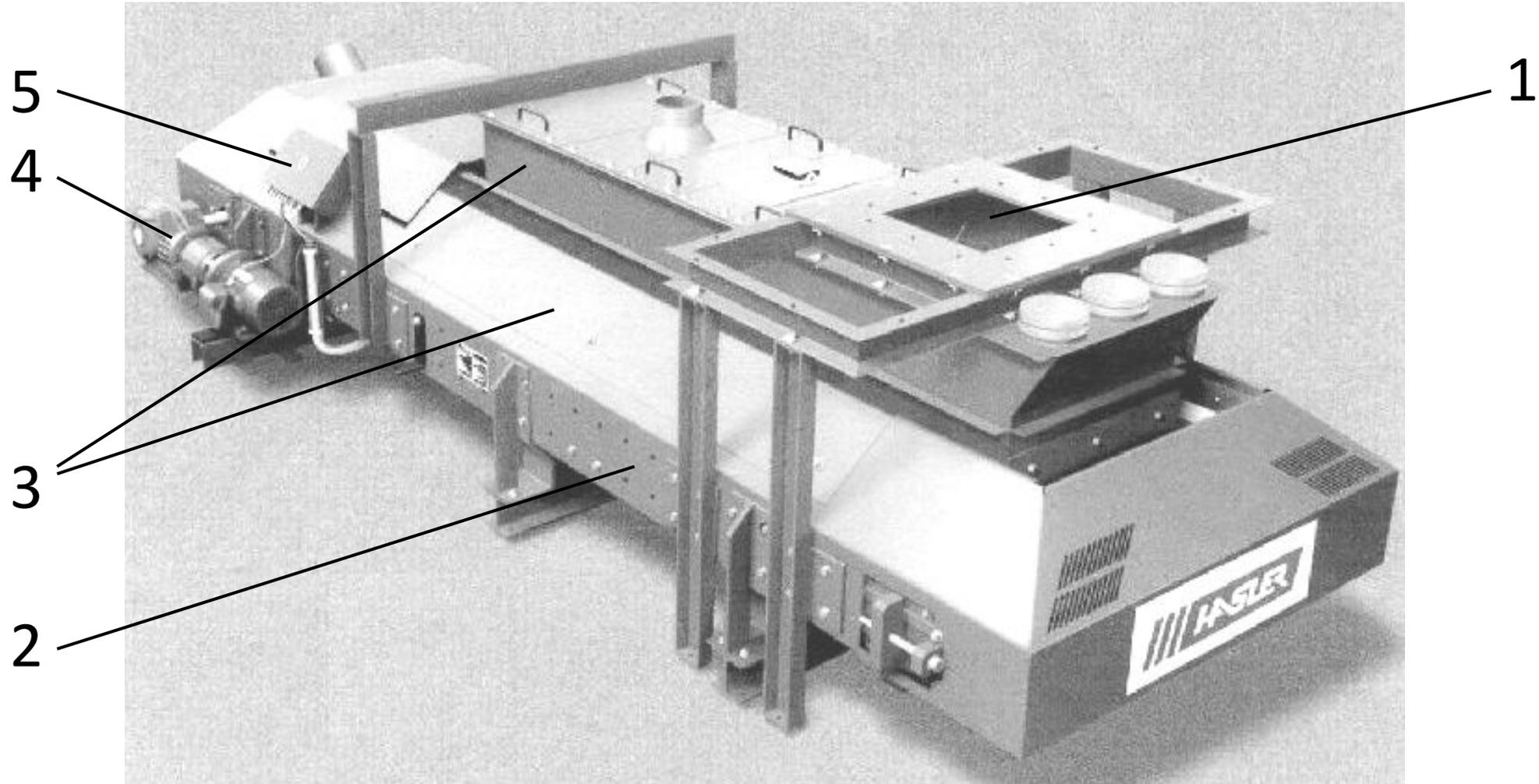
1 – ЛЕНТОЧНЫЙ  
ПИТАТЕЛЬ

2 – ШКАФ УПРАВЛЕНИЯ

3 – ПУЛЬТ УПРАВЛЕНИЯ

4 – ЧАСТОТНЫЙ  
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

# ЛЕНТОЧНЫЙ АВТОМАТИЧЕСКИЙ ДОЗАТОР



# *АТК – МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА*



- ЭЛЕМЕНТЫ АТК
- ПРОЕКТИРОВАНИЕ АТК ТРЕБУЕТ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫХ СВЯЗЕЙ

# ВОПРОСЫ К ЗАЧЁТУ И ЭКЗАМЕНУ

1. Автоматизация технологических процессов: основные понятия и определения.
2. Иерархическая структура систем автоматизации
3. Структура и состав локальных автоматических систем регулирования
4. Технологический процесс как объект автоматизации. Классификации ТП
5. Характеристики объектов автоматизации
6. Понятие о моделировании объектов
7. Типовые линейные звенья (основные): уравнения, переходные характеристики
8. Понятие о передаточной функции. Передаточные функции типовых звеньев
9. Алгебра передаточных функций
10. Основные понятия теории измерений

## ВОПРОСЫ 2

11. Характеристики процесса измерения и средств измерений.
12. Виды технических измерений
13. Автоматическое измерение. Структура автоматического измерительного прибора
14. Государственная система приборов
15. Структура измерительной цепи
16. Основные физические зависимости, используемые при косвенных измерениях технологических параметров
17. Элементарные преобразователи сигналов. Механические преобразователи
18. Элементарные преобразователи сигналов. Пневматические преобразователи
19. Элементарные преобразователи сигналов. Электрические преобразователи
20. Температура как технологический параметр и объект измерения.  
Термометры расширения
21. Манометрические термометры

## ВОПРОСЫ 3

22. Термоэлектрический эффект. Термоэлектрические термометры
23. Потенциометрический метод измерения
24. Термопреобразователи сопротивления.
25. Мостовая измерительная схема.
26. Дистанционное измерение температуры. Пирометры.
27. Давление как технологический параметр и объект измерения. Виды давления.
28. Преобразователи давления: виды, классификация.
29. Жидкостные манометры.
30. Упругие чувствительные элементы. Дифференциальные манометры.
31. Особенности интеллектуальных первичных преобразователей.
32. Защита первичных преобразователей давления от агрессивных сред.
33. Первичные преобразователи уровня. Буйковые уровнемеры.
34. Поплавковые и гидростатические уровнемеры.

## ВОПРОСЫ 4

35. Пьезометрический, радарный и ёмкостной уровнемеры.
36. Измерение расхода и количества вещества. Классификация расходомеров.
37. Расходомеры динамического давления.
38. Расходомеры постоянного перепада давления.
39. Расходомеры переменного перепада давления.
40. Бесконтактные расходомеры.
41. Вихревой и кориолисовый расходомеры.
42. Измерение расхода сыпучих материалов. Динамический расходомер.
43. Расходомер на базе ленточного питателя. Импульсный расходомер.
44. Измерение плотности жидкостей. Гидростатический и буйковый плотномеры.
45. Весовой плотномер жидкостей. Дифференциальный пьезометрический плотномер.

## *ВОПРОСЫ 5*

46. Измерение вязкости жидкостей. Вибрационный и ротационный вискозиметры.

47. Влажность веществ и методы её измерения.

48. Измерение влажности газов. Психрометрический метод.

49. Метод точки росы.

50. Измерение влажности жидкостей и сыпучих веществ.

51. Управление технологическими процессами. Основные понятия и определения.

52. Задачи, решаемые при разработке АСУ ТП.

54. Оценка устойчивости и качества регулирования в АСР.

55. Автоматические регуляторы. Классификация

56. Позиционное регулирование. Пропорционально-интегральный регулятор.

# ВОПРОСЫ 6

57. Принцип инвариантности. Комбинированная АСР.
58. Каскадные АСР.
59. АСР многосвязных объектов.
60. Методики структурного и параметрического синтеза промышленных регуляторов.
61. Методы и средства физической реализации управляющих воздействий в АСР.
62. Дроссельные исполнительные устройства для жидкостей и газов.
63. Объёмное регулирование расхода жидкостей и газов. Технические средства.
64. Интеграция исполнительных устройств в контур регулирования. Методы и средства.

## *ВОПРОСЫ 7*

65. Питатели для сыпучих материалов – исполнительные устройства АСР
66. Понятие о дозировании веществ. Классификация дозаторов. Дозаторы как исполнительные устройства АСР.

## *РЕКОМЕНДАЦИИ*

- 1. Рекомендуемая структура ответа на любой вопрос:** назначение, устройство, действие, сравнение с аналогами.
- 2. Ответы на теоретические вопросы должны иллюстрироваться практическими примерами**
- 3. Ответы на вопросы практического характера должны быть обоснованы теоретически.**