

# **МОДУЛЬ-2**

**Системи автоматичного  
контролю та спостереження**

**Лекція № 1**  
**Методи та похибки**  
**вимірювань**

- **Измерение технологических параметров необходимо для управления технологическими процессами и обеспечения безопасности производства.**

# ***1. Измерение***

Измерить физическую величину – значит сравнить ее с соответствующей единицей системы измерения.

**Измерение в производстве** - это преобразование измеряемого параметра в удобный для дальнейшего использования сигнал и сравнение его с аналогичным нормированным сигналом, эквивалентным единице системы измерения.

Измерения бывают:

**прямые**, когда непосредственно оценивается физическая величина, и

**косвенные**, когда физическая величина оценивается путем вычисления по известным зависимостям по результатам измерения других величин.

## **Основные единицы измерений (системы СИ):**

- длина – метр;
- масса – килограмм;
- время – секунда;
- сила тока – ампер;
- температура – Кельвин (Цельсий);
- сила света – кандела;

## **Производные единицы измерений (системы СИ):**

- сила – Ньютон [ $\text{кг}\cdot\text{м}\cdot\text{с}^{-2}$ ];
- давление – Паскаль [ $\text{Н}\cdot\text{м}^{-2}$ ];
- работа – Джоуль [ $\text{Н}\cdot\text{м}$ ];
- мощность – Ватт; [ $\text{Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$ ];

Процесс измерения можно отобразить следующей структурной схемой, которая называется измерительной цепью:



ДАТ- датчик (первичный преобразователь), формирует сигнал, пропорциональный измеряемой величине;

ПП – промежуточный преобразователь, преобразует сигнал датчика в **унифицированный сигнал**, удобный для дистанционной передачи и измерения;

ИП – измерительный прибор (конечный преобразователь), преобразует унифицированный промежуточный сигнал в сигнал, удобный для наблюдения или регистрации.

## ***2. Методы измерений***

**Метод непосредственной оценки.** В этом случае измеряемый параметр непосредственно оценивается по показаниям измерительной цепи.



**ВН-6 Ц13У**



**Метод уравнивания (дифференциальный, разностный).** В этом случае осуществляется измерение не самого параметра, а разности между параметром и компенсирующей мерой. Данный метод позволяет применять приборы с меньшей шкалой и, следовательно, уменьшить погрешность измерения.



### ***3. Погрешности измерений***

Под погрешностью измерения понимают отклонение результата измерения от истинного значения измеряемого параметра.

***Абсолютная погрешность*** – это разность между измеренным  $x_u$  и истинным  $x$  значением параметра:

$$\Delta x = |x_u - x|$$

***Относительная погрешность*** – отношение абсолютной погрешности к истинному значению измеряемого параметра.

$$\overline{\Delta x} = \frac{|x_u - x|}{x}$$

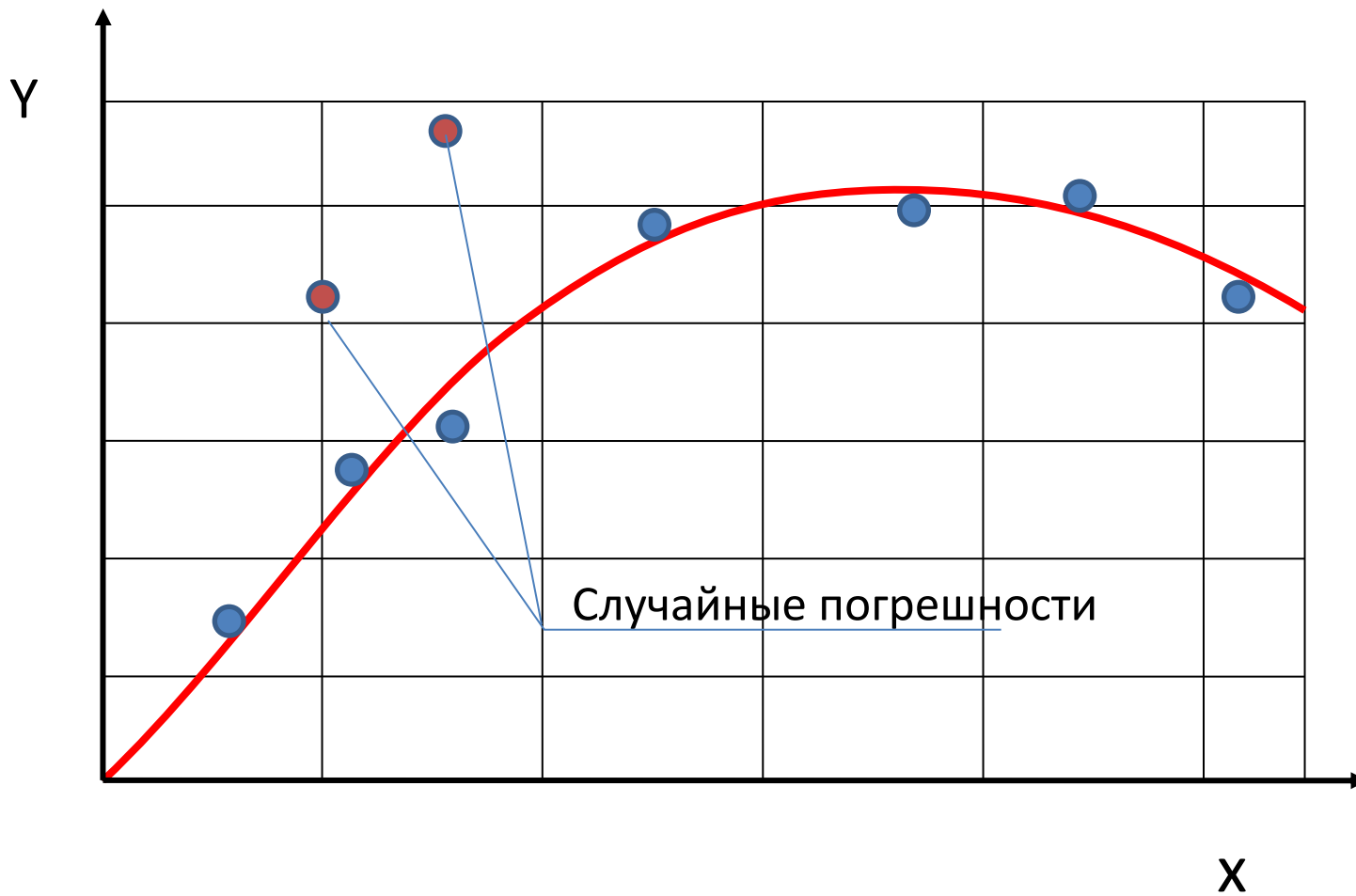
## ***3.1 Виды погрешностей измерения***

***Основная погрешность*** – это погрешность измерительной цепи в **нормальных** (стандартных) условиях.

$$P_{\text{ста}} = 101330 \text{ Па}$$
$$T_{\text{ста}} = 288 \text{ К}$$

***Дополнительная (систематическая) погрешность*** - изменение основной погрешности при изменении внешних условий (давление, температура, влажность и др.).

***Случайные погрешности*** изменяются случайным образом при многократных измерениях одного и того же параметра. Они принципиально не могут быть учтены или устранены при измерениях.



Точки, що «випали» не враховують у побудові графіків

***Грубые погрешности*** возникают вследствие неправильной эксплуатации устройств измерительной цепи. Такие погрешности могут быть обнаружены и устранены.

## ***4 Метрологические характеристики измерителя-преобразователя***

Основной метрологической характеристикой измерителя-преобразователя является приведенная погрешность.

**Приведенная погрешность** -  
определяется как отношение абсолютной  
погрешности к диапазону измерения  $x_N$ :

$$\gamma = \frac{\Delta x}{x_N} = \frac{|x_u - x|}{x_N}$$



## 4.1 Класс точности измерителя

Под классом точности понимают максимально допустимую приведенную погрешность в нормальных (стандартных) условиях, выраженную в процентах.

ГОСТом установлены стандартные классы точности измерителей преобразователей:

**0,005; 0,02; 0,05; 0,1; 0,25; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0.**

Класс точности не может служить показателем точности измерения, он только показывает предельное значение основной приведенной погрешности. Для конкретных измерений необходимо указывать не только класс точности приборов, но и диапазон измерений.

**Например:** для измерения напряжения 220В сети переменного тока имеются два вольтметра с одинаковым классом точности 1,5, но с диапазоном измерения 300 и 1000В.

Определим наибольшую абсолютную и относительную погрешности при измерениях:

$$\Delta x = \frac{\gamma}{100} \cdot x_N$$

$$\Delta x_1 = \pm \frac{1,5}{100} \cdot 300 = \pm 4,5 [B] \quad \overline{\Delta x_1} = 2\%$$

$$\Delta x_2 = \pm \frac{1,5}{100} \cdot 1000 = \pm 15 [B] \quad \overline{\Delta x_2} = 6,8\%$$

**Чувствительность** измерительного преобразователя характеризует его способность измерять малые сигналы.

При уменьшении величины измеряемого сигнала относительная погрешность измерения увеличивается. При относительной погрешности 100% прибор не пригоден для измерений.

**Порогом чувствительности** называется минимальное значение измеряемой величины, при которой относительная погрешность составляет 100%.

$$x_{\min} = \Delta x = \left( \frac{\gamma}{100} \cdot x_N \right)$$

**Например:** имеются два вольтметра с одинаковым классом точности 1,5, но с диапазоном измерения 300 и 1000В. Определим порог чувствительности каждого прибора:

$$x_{\min 1} = \left( \frac{\gamma}{100} \cdot 300 \right) = 4,5B$$

$$x_{\min 2} = \left( \frac{\gamma}{100} \cdot 1000 \right) = 15B$$

## ***4.2 Погрешности измерительной цепи***

Погрешность измерения сложной измерительной цепи оценивается по погрешностям составляющих элементов.

Если считать что погрешности всех преобразователей одного знака, то результирующая погрешность будет максимальной и равна сумме погрешностей всех преобразователей:

$$\gamma_{\max} = \gamma_1 + \gamma_2 + \dots + \gamma_n$$

На практике чаще применяют так называемую квадратичную погрешность, учитывающую независимый и случайный характер составляющих погрешностей:

$$\gamma_K = \sqrt{\gamma_1^2 + \gamma_2^2 + \dots + \gamma_n^2}$$

Выводы:

1. Измерительная цепь должна быть составлена из преобразователей близких классов.
2. Для уменьшения погрешности измерительной цепи необходимо уменьшать погрешность составляющих ее преобразователей.

## 5 Измерительные приборы

Измерительные приборы предназначены для преобразования сигналов первичных или промежуточных преобразователей в отклонение стрелки или пера самописца.

По метрологическому назначению приборы делятся на:

- технические;
- лабораторные;
- образцовые.

**Технические приборы** (класс точности 0,25-2,5) предназначены для работы в производственных условиях. Они должны быть недорогими и надежными. В показания таких приборов не вносят поправки на погрешности измерения.



**Лабораторные приборы** (класс точности 0,05-0,2) предназначены для точных измерений в лабораторных условиях и для поверки технических приборов. Для повышения точности измерения в показания вводятся поправки, учитывающие систематические погрешности.

**Образцовые приборы** (Класс точности 0,005-0,05) предназначены для поверки лабораторных и технических приборов.

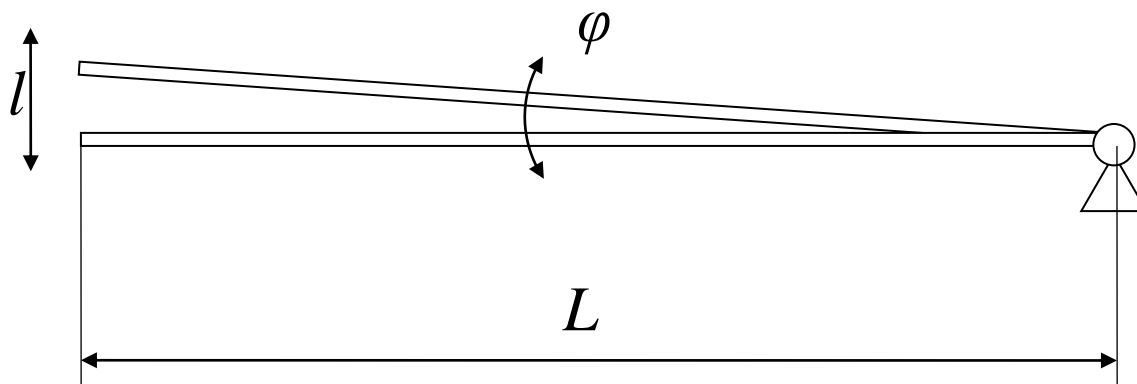
## Лекція № 2

# Первинні та проміжні вимірники перетворювачі

# 1. Первичные преобразователи

## 1.1 Механические преобразователи:

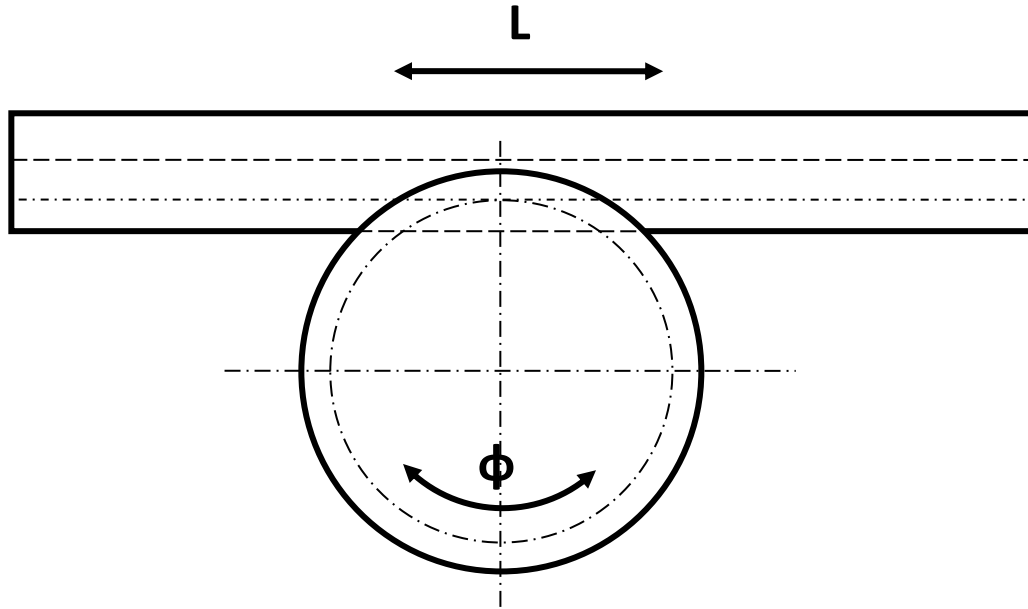
**Рычаг:** позволяет преобразовать линейное перемещение в угловое и наоборот.



$$l = L \cdot \operatorname{tg}(\varphi)$$

Для малых перемещений:

$$\operatorname{tg}(\varphi) \approx \varphi \Rightarrow l = L \cdot \varphi$$

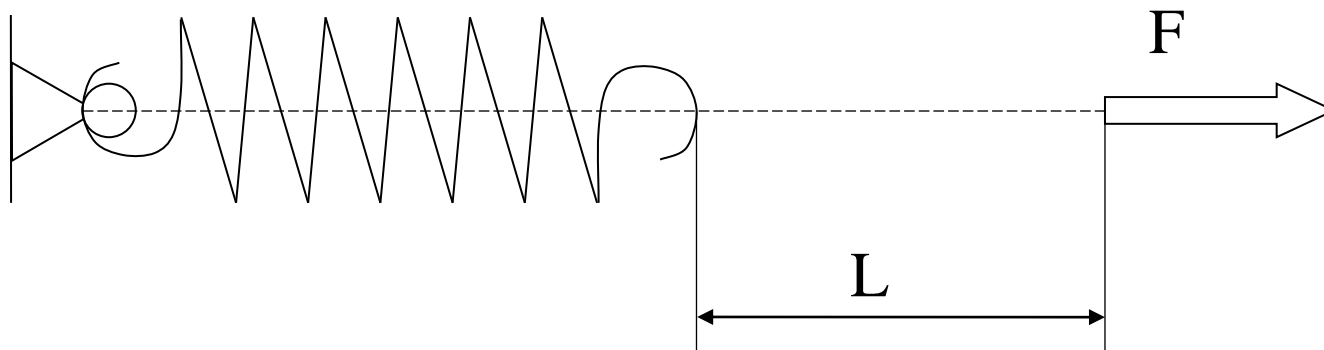


Реечное (шестеренное) зацепление

$$\varphi = K \cdot L$$

Линейная характеристика сохраняется в широком диапазоне

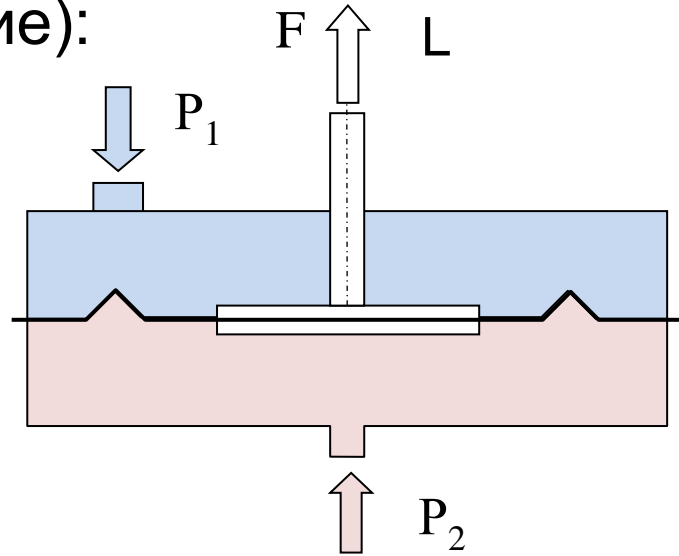
**Пружина:** позволяет преобразовать перемещение в силу и наоборот.



$$F = K \cdot L$$

## 1.2 Пневматические (гидравлические) преобразователи:

**Мембрана:** позволяет преобразовать перепад давлений в силу (перемещение):



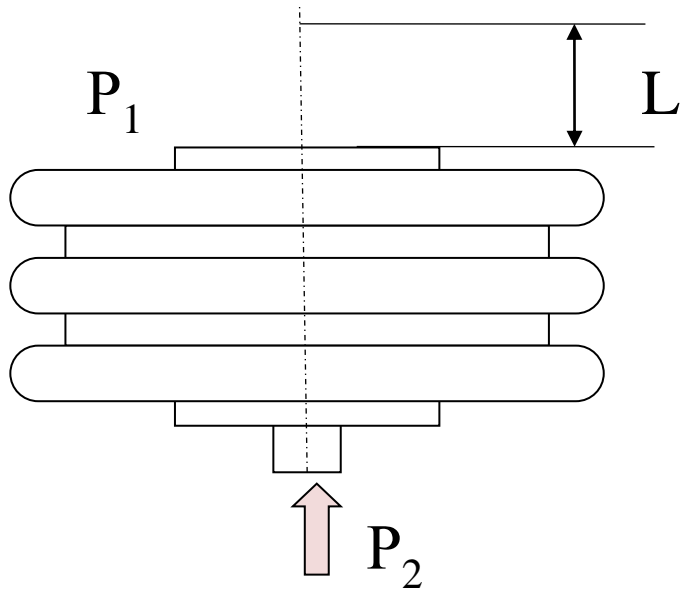
$$F = S \cdot (P_1 - P_2) = S \cdot \Delta P$$

$$L = K \cdot \Delta P$$

$S$  – площадь мембраны

$K$  - жесткость мембраны

**Сильфон** : (набор жестких мембран) позволяет преобразовать перепад давлений в перемещение (силу).  
Линейная характеристика шире, чем у мембраны.

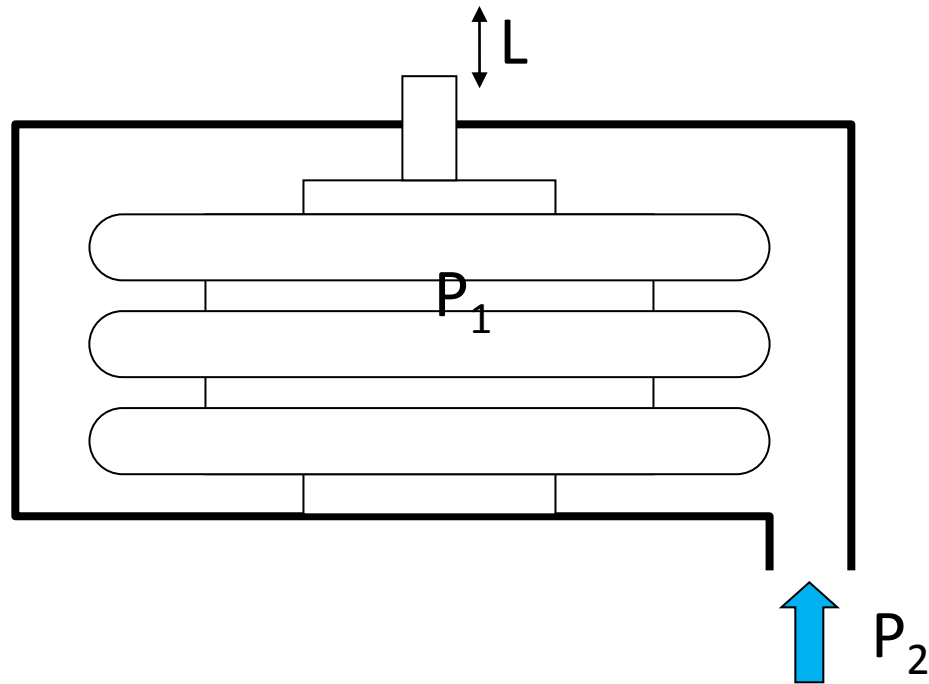


$$L = K \cdot (P_1 - P_2) = K \cdot \Delta P$$

$K$  – коэффициент пропорциональности,  
характеризующий приведенную жесткость сильфона;  
 $P_1$  – давление снаружи сильфона (атмосферное);  
 $P_2$  – рабочее (измеряемое) давление.

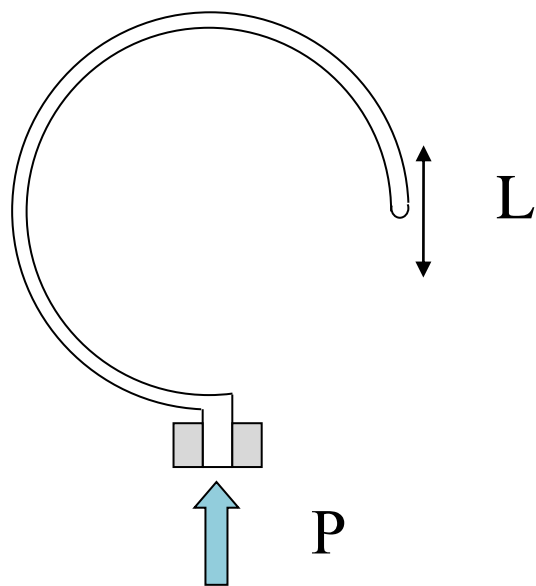


**Анероид** – герметичный сильфон, применяется для измерения разряжения



$P_1$  – давление внутри сильфона (стандартное);  
 $P_2$  – рабочее (измеряемое) давление.

**Трубчатая пружина:** преобразует давление в перемещение.

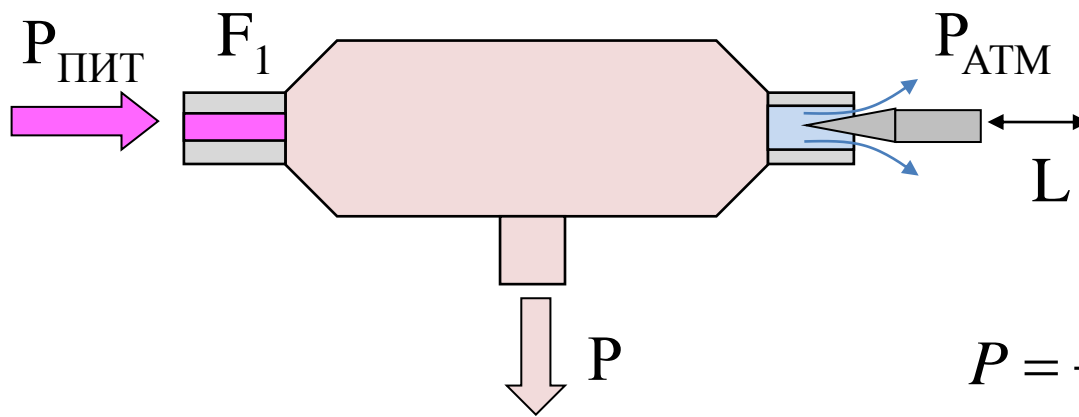


$$L = K \cdot P$$

Трубчатая пружина представляет собой согнутую трубку овального сечения. Под действием давления трубка стремится выпрямиться, при этом свободный запаянный конец трубки перемещается пропорционально давлению:

**Воздушный (гидравлический) редуктор: преобразует перемещение в давление**

$$F_2 = K \cdot L$$

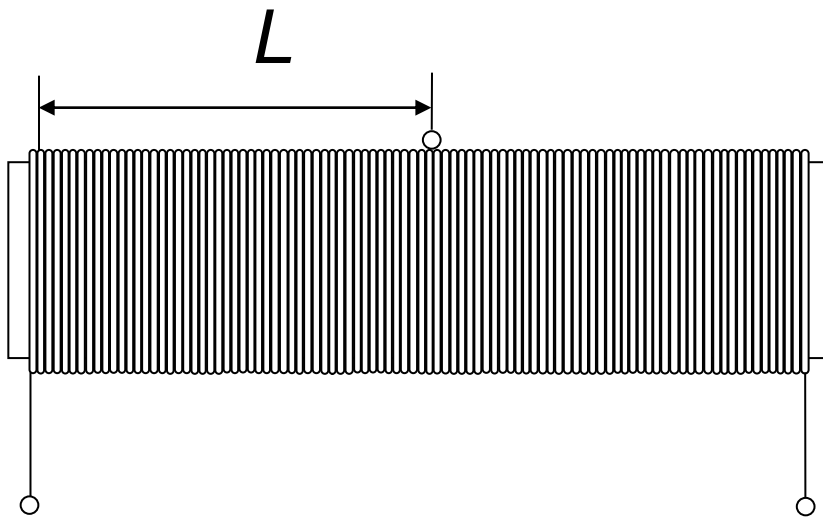


$$P = \frac{F_1}{F_2} P_{\text{ПИТ}}$$

Примечание: для регулирования площади срабатывающего жиклера вместо иглы могут применять сопло-заслонку более чувствительную к малым перемещениям.

### 1.3 Электрические преобразователи

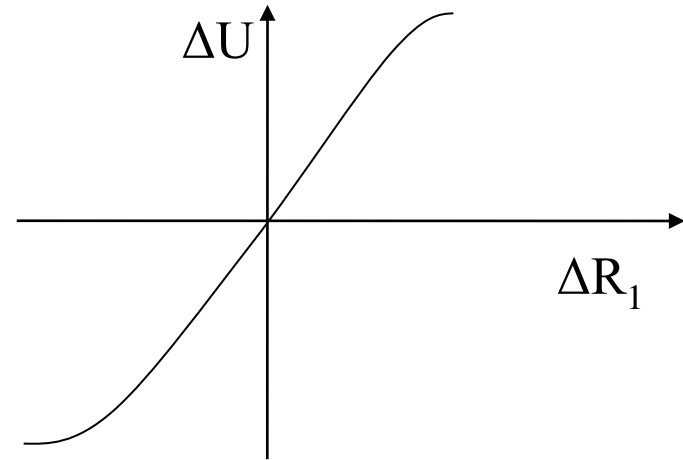
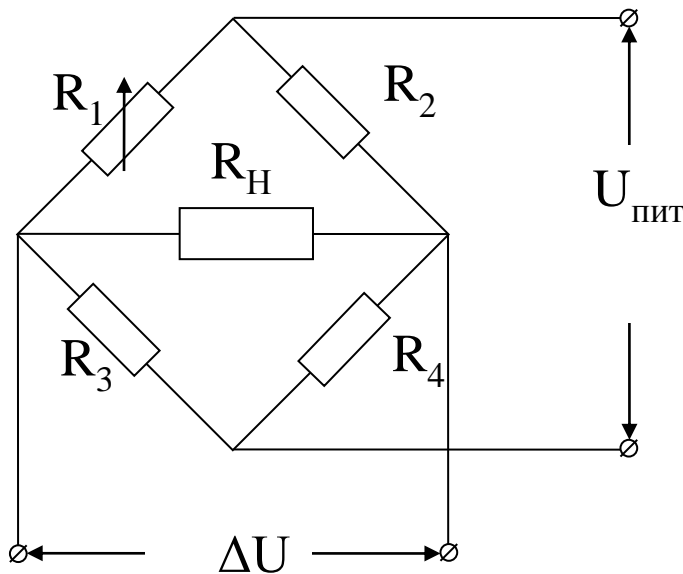
**Реостат:** преобразует перемещение в омическое сопротивление. Сопротивление подключенного участка зависит от положения подвижного контакта.



$$R = K \cdot L$$

Недостатком проволочного реостата является ступенчатость его характеристики. Существуют реостаты с линейной характеристикой (угольные).

**Неуравновешенный электрический мост:**  
 преобразует изменение сопротивления  $\Delta R_1$  в  
 пропорциональное отклонение напряжения  $\Delta U$

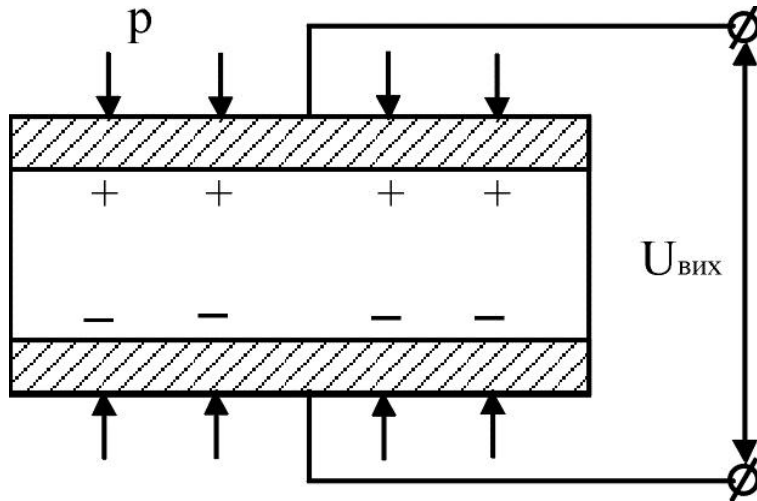


Для уравновешенного моста:  $R_1 R_4 = R_2 R_3$ ;  $\Delta U = 0$

Для неуравновешенного моста: 
$$\Delta U = \frac{R_1 R_4 - R_2 R_3}{(R_1 + R_3) \cdot (R_2 + R_4)} \cdot U_{пит}$$

**Выходное напряжения может быть как «+», так и «-».**

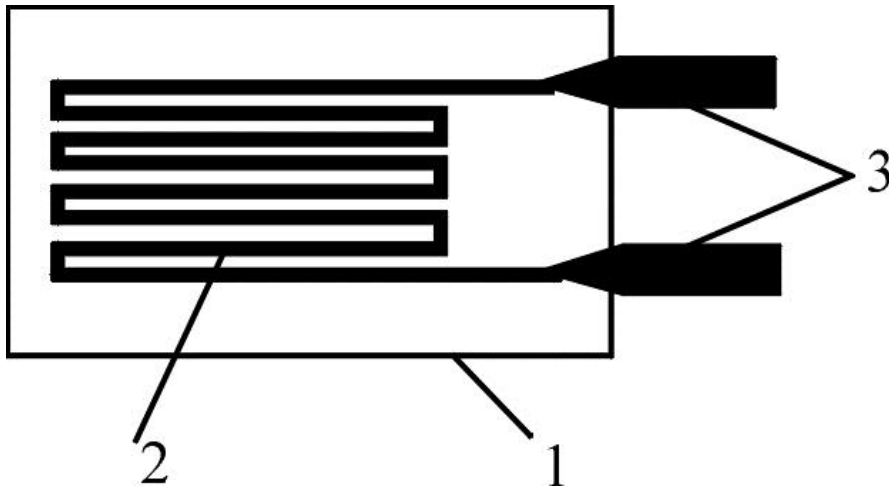
**Пьезокристаллы (кварц):** преобразуют давление (силу) в пропорциональное напряжение.



$$Q = k \cdot F = k \cdot S \cdot p$$

- $Q$  - заряд на поверхности кристалла , Кл  
 $S$  - площадь поверхности кристалла, м<sup>2</sup>  
 $k$  - пьезоэлектрическая постоянная Кл/Н.  
 $p$  - давление, Н/м<sup>2</sup>.

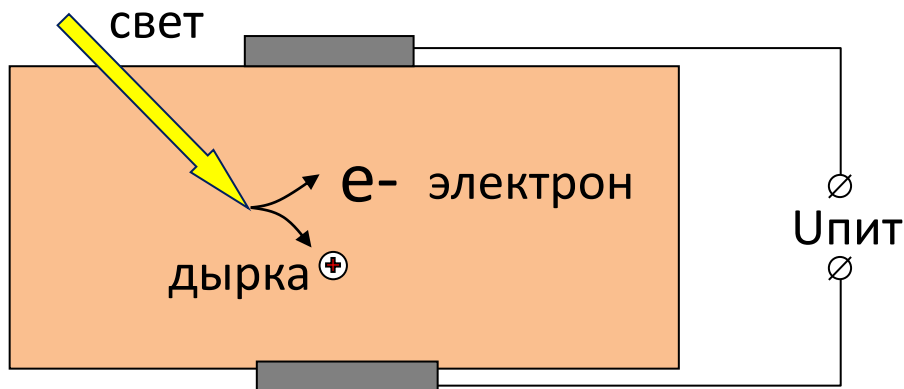
**Тензорезисторы:** преобразуют деформацию упругого элемента (сила, давление) в изменение электрического сопротивления.



Проволока на подложке наклеивается на упругий элемент. Сопротивление проволоки зависит от длины и расположения витков .

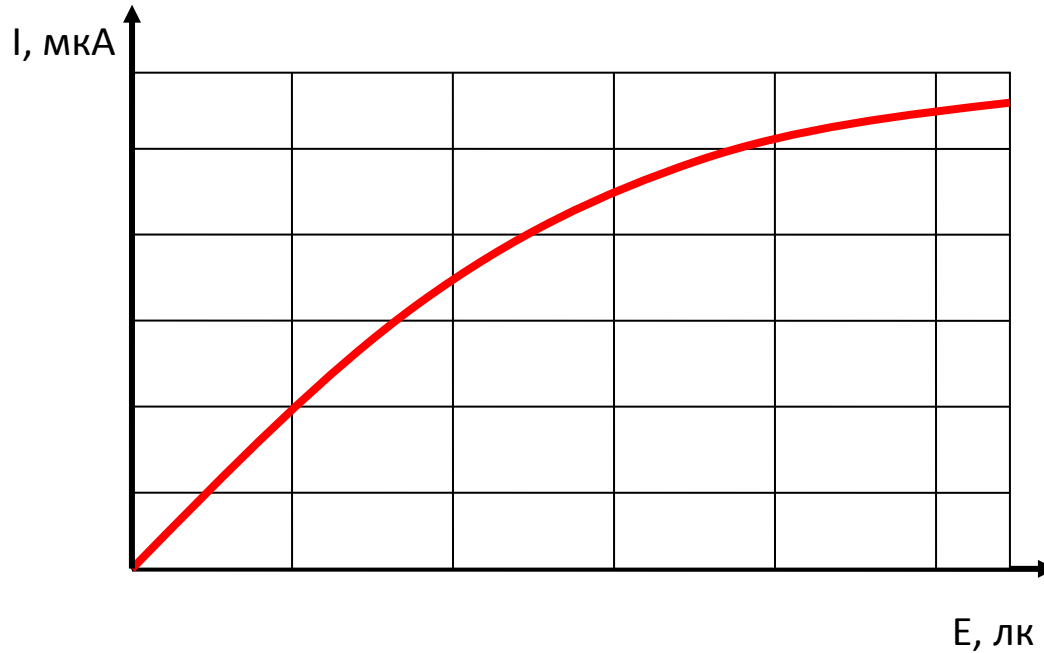
# Фотоэлектрические преобразователи ФЭП

**Фоторезисторы** Под действием лучей света в некоторых полупроводниках возникают дополнительные электронно-дырочные пары (генерация). Дополнительные носители зарядов увеличивают проводимость полупроводника (уменьшают сопротивление).



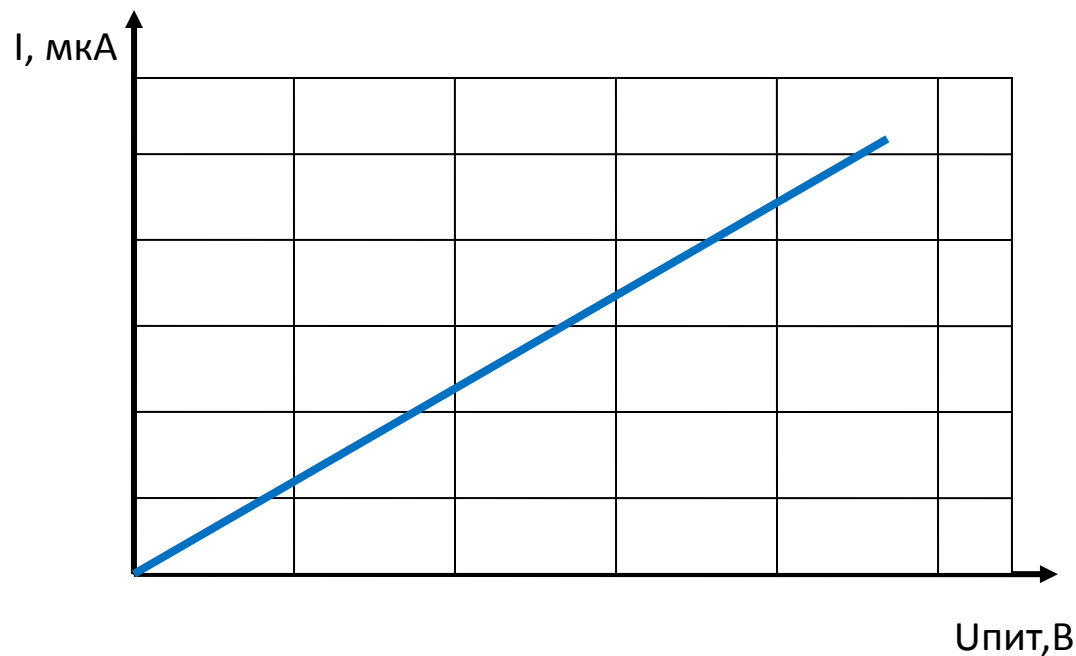


Люкс амперная характеристика ФЭП показывает зависимость «светового» тока от величины освещенности.



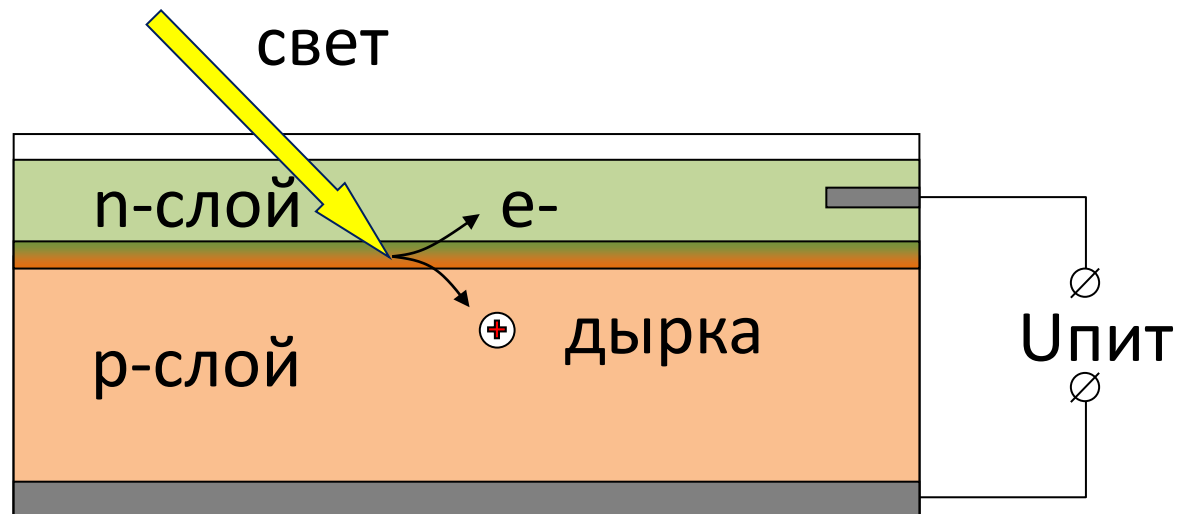
Люкс амперная характеристика фоторезистора - нелинейная.

Вольтамперная характеристика ВАХ показывает зависимость «светового» тока, протекающего через ФЭП от напряжения питания.

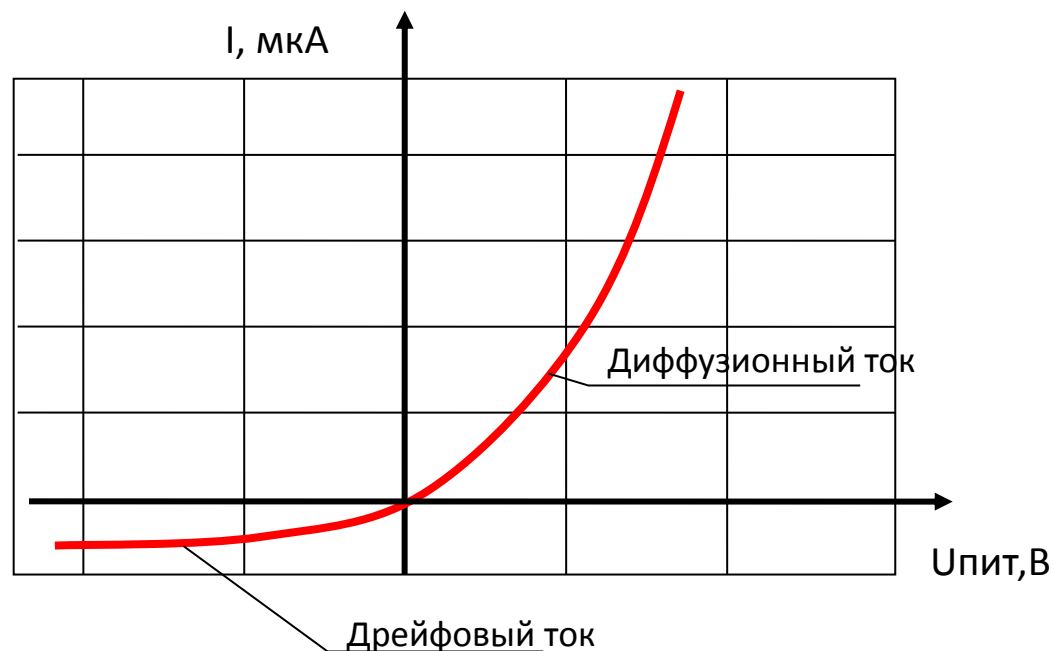


ВАХ фоторезистора - линейная.

**Фотодиоды.** В неоднородных полупроводниковых структурах (р-п переходах) дополнительные заряды, возникающие под действием света, диффундируют в области с преимущественной проводимостью, что позволяет изменить ВАХ фотоэлектронного преобразователя.



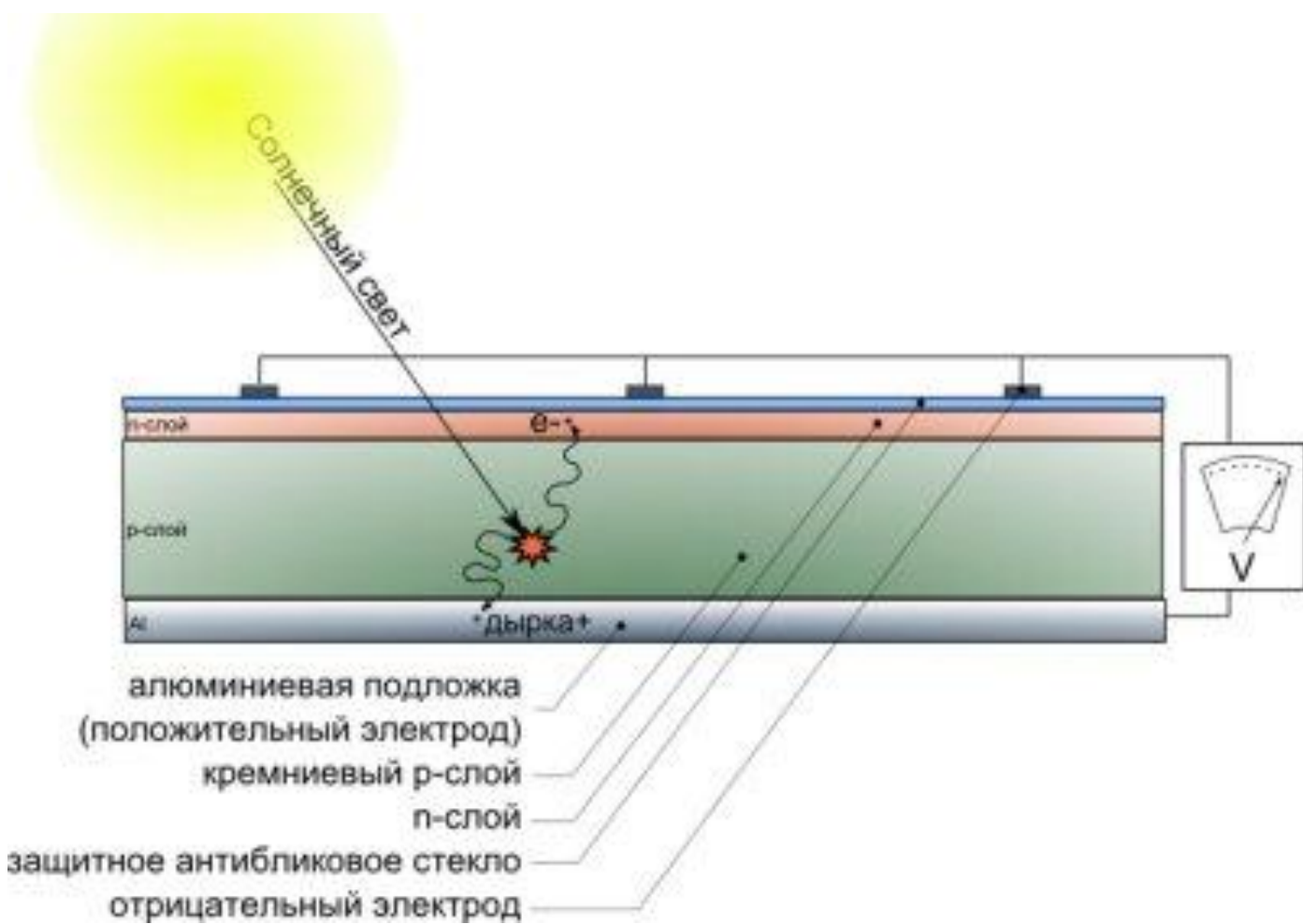
ВАХ фотодиода нелинейная и имеет две явно выраженные ветви:



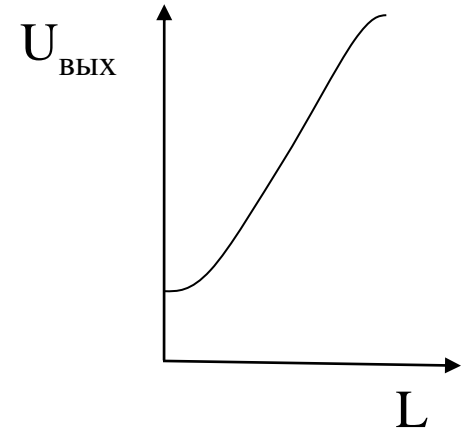
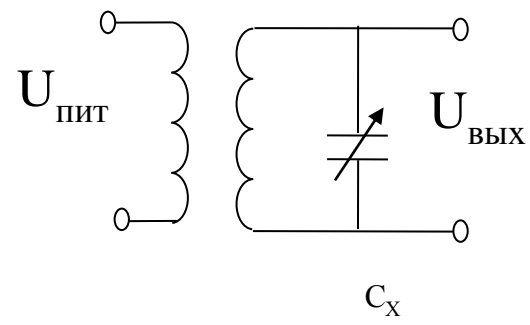
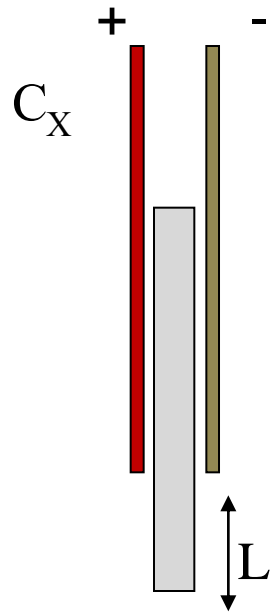
## **Фотоэлементы**

Если в фотоэлектронном преобразователе под действием светового потока число генераций превышает число рекомбинаций, то это приводит к накоплению зарядов в полупроводниках с разной проводимостью и возникает ЭДС. Такие ФЭП называют фотоэлементами и применяют в качестве солнечных батарей.

Первый фотоэлемент был создан Столетовым в конце XIX века.

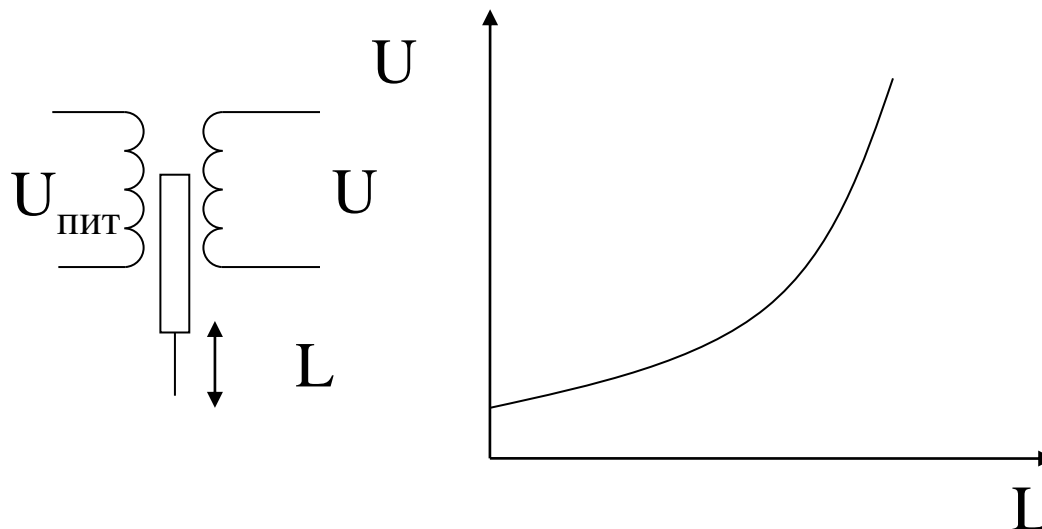
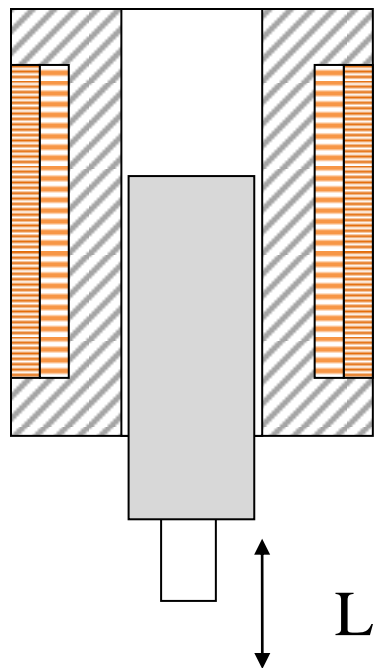


**Емкостный преобразователь:** преобразует перемещение в напряжение переменного тока. Между обкладками конденсатора перемещается диэлектрическая пластина (жидкость). При перемещении пластины (жидкости) изменяется емкость конденсатора.



# Трансформаторный преобразователь

преобразует перемещение в напряжение переменного тока.

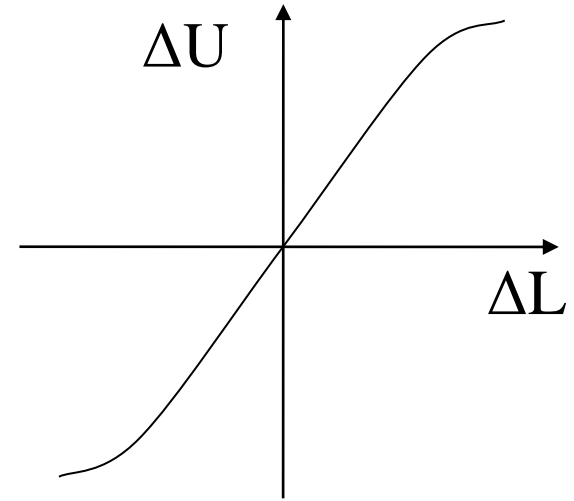
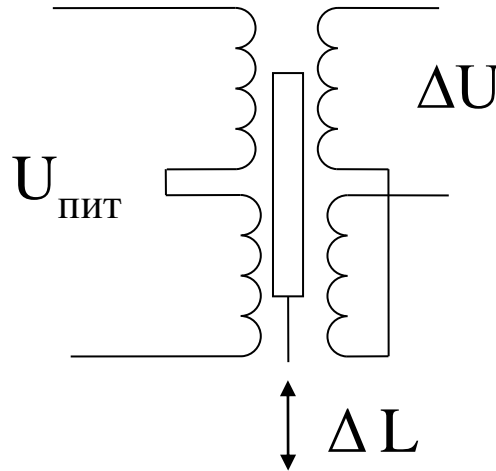
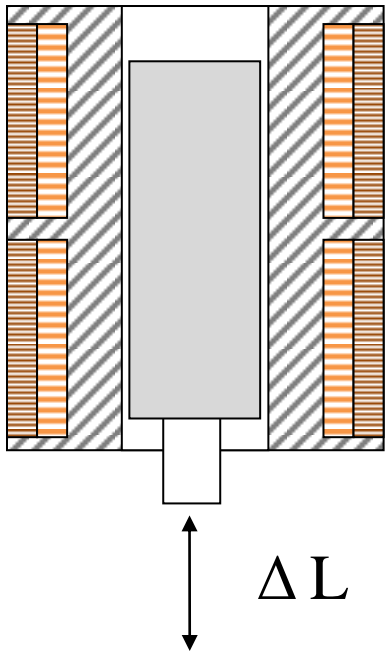


$$U = K \cdot L$$

При изменении положения якоря внутри катушек изменяется коэффициент магнитной индукции и изменяется напряжение, индуцируемое на вторичной обмотке трансформатора.



**Дифференциальный трансформаторный преобразователь** позволяет преобразовать отклонение перемещения в отклонение переменного напряжения.



Вторичные обмотки трансформатора включены навстречу и их напряжения вычитаются. При среднем положении якоря эти напряжения одинаковые и результирующее выходное напряжение равно нулю. При смещении якоря появляется разностный сигнал знак которого зависит от направления смещения якоря.

- **2. Промежуточные преобразователи**

- ПП – промежуточный преобразователь, преобразует сигнал датчика в **унифицированный сигнал**, удобный для дальнейшего использования.

- *Промежуточные преобразователи могут быть построены на базе первичных преобразователей.*

# АЦП - аналого-цифровые преобразователи

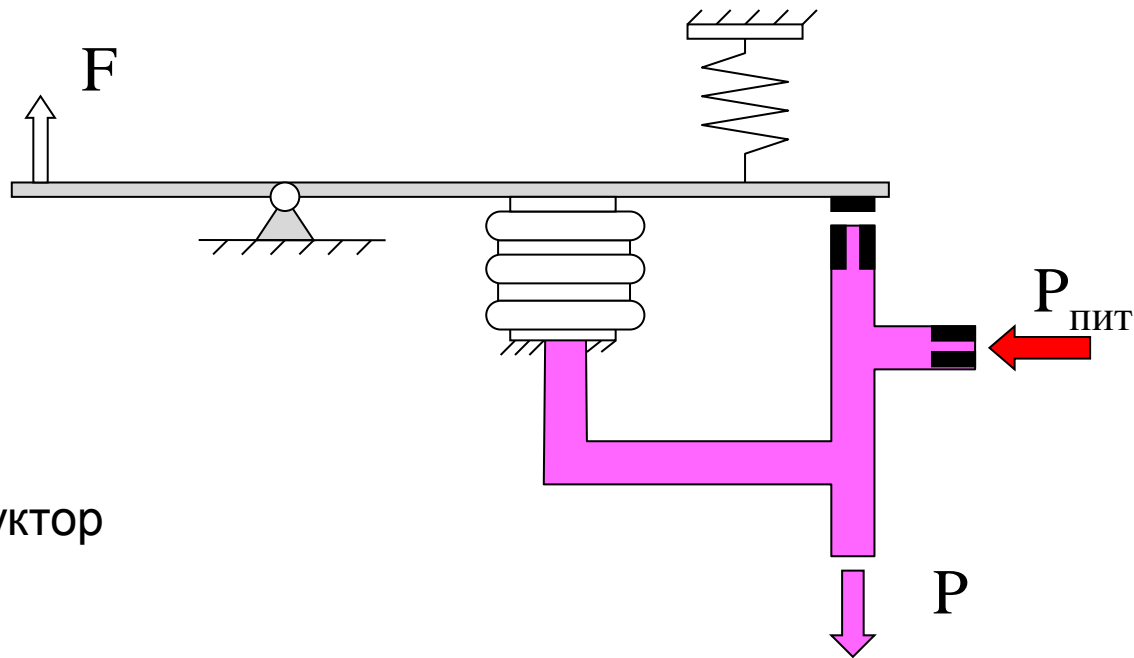
АЦП – преобразует аналоговые электрические сигналы в двоичный код.

10 - код	2 - код	10 - код	2 - код
0	00	10	1111
1	01	11	10000
2	10	12	10001
3	11	13	10011
4	100	14	10111
5	101	15	11111
6	111	16	10000

АЦП позволяют применять ПЭВМ в качестве регистрирующих приборов.

# Пневматический преобразователь с отрицательной обратной связью.

Преобразует силу в пропорциональное давление.



1. Устройство:

2. Рычаг

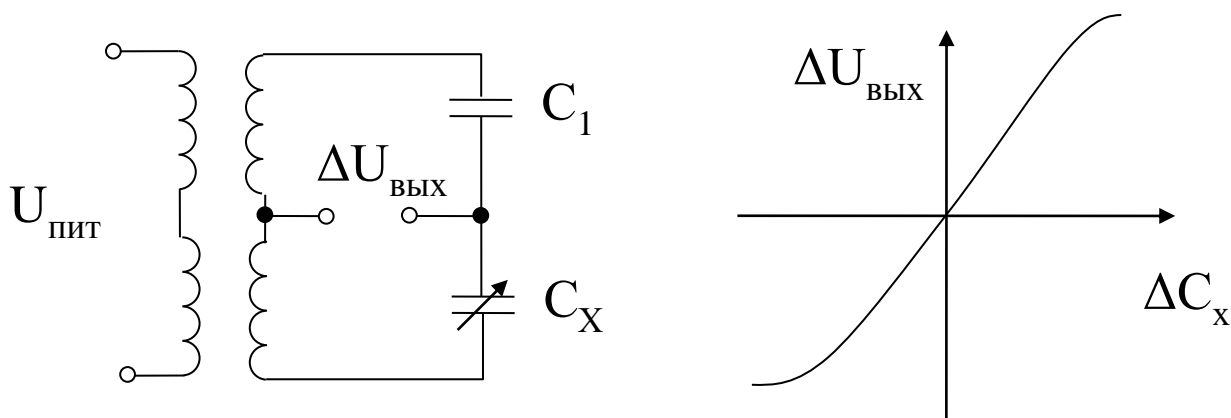
3. Пружина

4. Сильфон

5. Воздушный редуктор

У преобразователей с отрицательной обратной связью воздействие входного сигнала полностью или частично компенсируется выходным сигналом.

**Замечание:** Если емкостной преобразователь включить в мостовую схему, то можно преобразовать отклонение перемещения (уровня жидкости) в отклонение переменного напряжения.



## Лекция № 3

**Измерители физических величин:  
давление, температура, уровень,  
плотность.**

# 1. Измерение давления.

Единицы измерения:

$$1 \text{ Па} = \text{Н/м}^2$$

$$1 \text{ бар} = 10^5 \text{ Н/м}^2$$

$$1 \text{ МПа} = 10^6 \text{ Н/м}^2$$

$$1 \text{ кгс/см}^2 = 0,98 * 10^5 \text{ Н/м}^2$$

$$1 \text{ м.вод.ст} = 0,98 * 10^4 \text{ Н/м}^2$$

$$1 \text{ Атмосфера} = 101330 \text{ Па}$$

$$\sim 1 \text{ Кгс/см}^2 \sim 1 \text{ бар} \sim 0,1 \text{ МПа} \sim 10 \text{ м.вод.ст}$$

Обычно измеряют избыточное давление относительно атмосферного давления:

$$P_{изб} = P_{абс} - P_{атм}$$

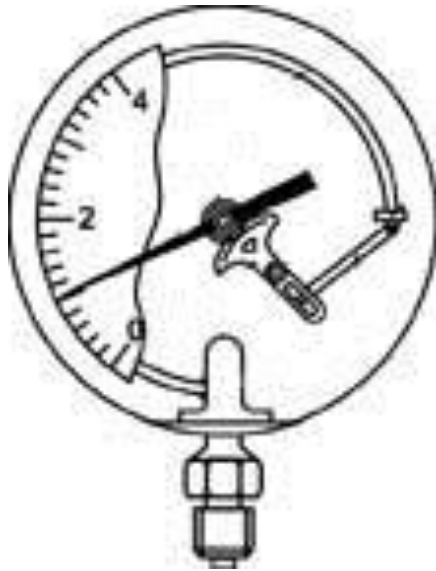
Если абсолютное давление меньше атмосферного, то их разность называется разрежением или вакуумом:

$$P_{вак} = P_{атм} - P_{абс}$$

Для измерения избыточного давления применяют манометры, а для измерения разрежения – вакуумметры.



Наибольшее распространение получили показывающие приборы с трубчатой пружиной.

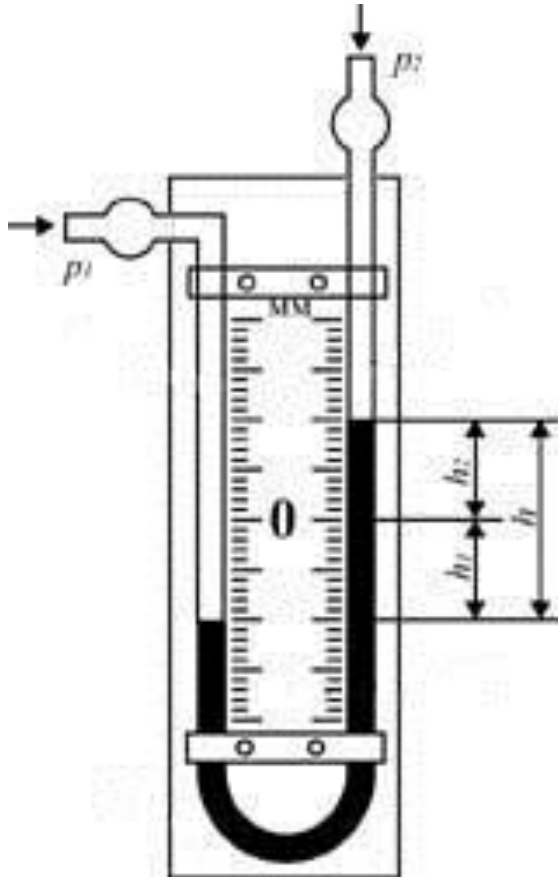


Датчик – трубчатая пружина, промежуточный преобразователь – рычаг, измерительный преобразователь – шестеренное зацепление. Эталон – шкала прибора.

# Жидкостные трубчатые манометры:

## Двухтрубный жидкостный манометр.

Избыточное давление в одной из трубок выражается гидростатическим давлением столбца жидкости в соседней трубке.

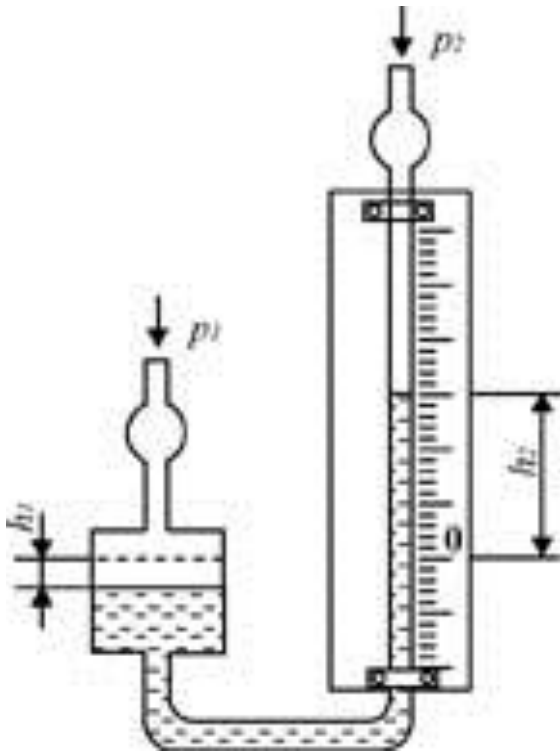


$$\Delta p = p_1 - p_2 = \rho \cdot g \cdot h$$

# Однотрубный жидкостный манометр:

Для повышения точности отсчета разности уровней используются однотрубные (чашечные) манометры.

У этих приборов одна трубка заменена широким сосудом, в который подается измеряемое давление.



$$\Delta p = p_1 - p_2 = \rho \cdot g \cdot (h_1 + h_2)$$

$$h_1 = h_2 \frac{F_2}{F_1}$$

$$\Delta p = p_1 - p_2 = \rho \cdot g \cdot h_2 \left(1 + \frac{F_2}{F_1}\right)$$

## 2. Измерение температуры

Единицы измерения:

1 Градус Кельвина, К

1 Градус Цельсия,  $^{\circ}\text{C} = 1\text{К}$

1 Градус Фаренгейта,  $^{\circ}\text{F} = 0,5555556\text{К}$

# Жидкостные термометры

В жидкостных измерителях температуры используется зависимость объема жидкости от температуры (спирт, ртуть, лигроин)



## Манометрические термометры

В манометрических измерителях температуры используется зависимость давления газа от температуры

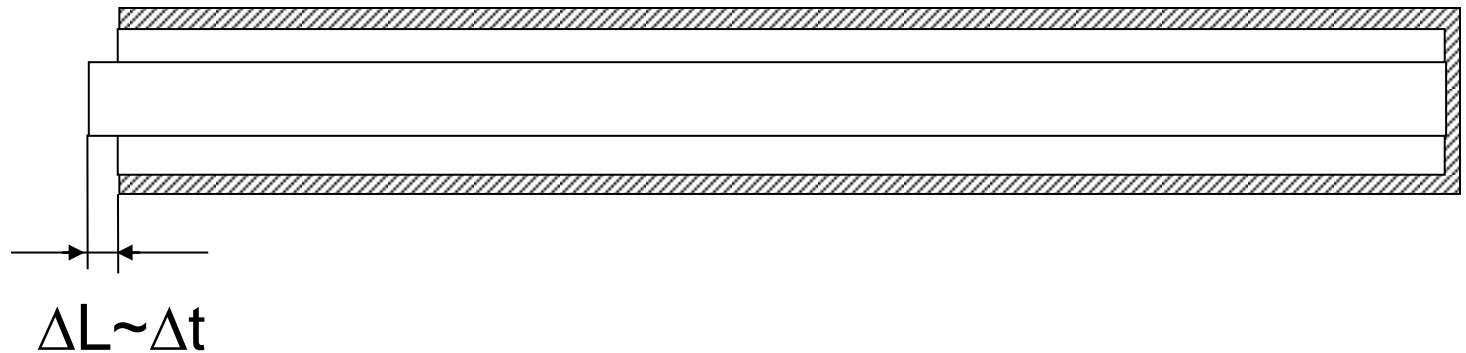


$$p_t = p_0 \cdot (1 + \beta t)$$

$$\beta = 1/273 \text{ – температурный коэффициент расширения газа.}$$

Указатель температуры - манометр.

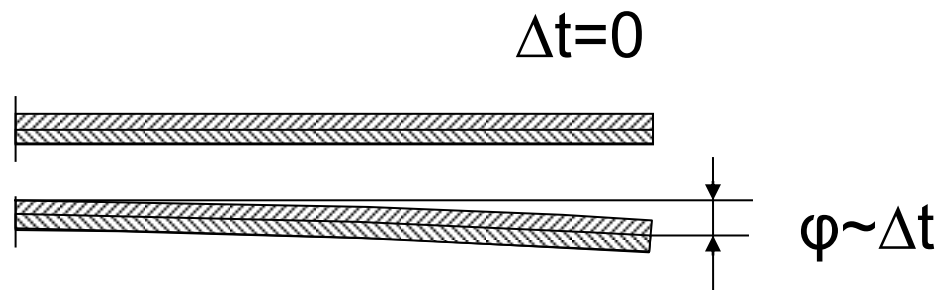
**Дилатометрические термометры.** Все материалы расширяются при увеличении температуры. При этом коэффициент линейного расширения зависит природы материала.



Если взять два стержня одинаковой длины в нормальных условиях, то при изменении температуры длины стержней уже будут различаться. Зная коэффициент линейного расширения используемых материалов и разность в длине стержней можно определить измеряемую температуру.

## Биметаллические термометры.

Если разнородные пластины спаять между собой, то при увеличении температуры система будет изгибаться в сторону пластины с меньшим коэффициентом линейного расширения.

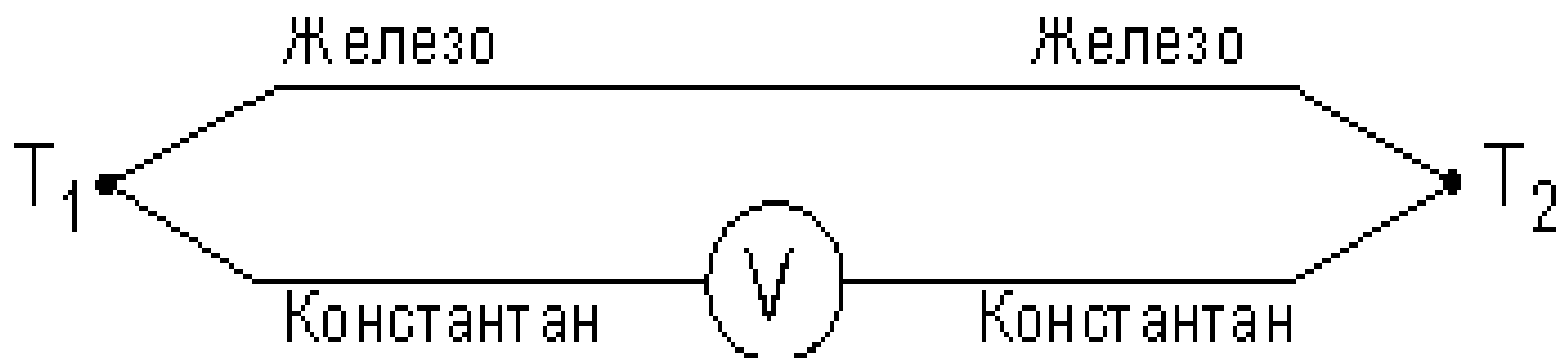


Дилатометрические и биметаллические датчики температуры могут применяться в различного рода термореле, для замыкания контактов при достижении заданного уровня температуры.



# Термопары

Принцип действия термопар основан на эффекте Зеебека (1824г) - способность спаев разнородных металлов создавать электродвижущую силу

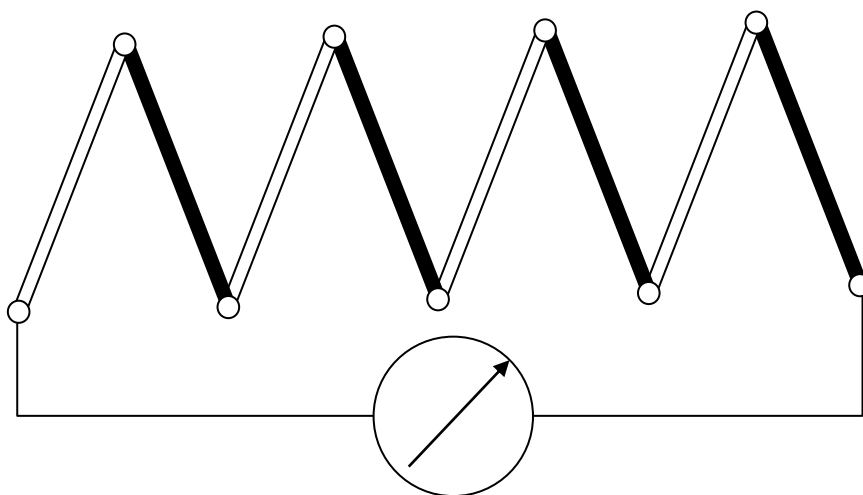


Если температуры спаев различаются, то в цепи появляется электродвижущая сила

$$E(t) = S(t_1 - t_2)$$

где  $S$ - коэффициент Зеебека.

Для повышения мощности выходного сигнала могут использоваться несколько термопар включенных последовательно. Такой комплект из термопар называется батареей.



Батарея термопар

## Достоинство термопар:

- Большой температурный диапазон измерения
- Измерение высоких температур до 1800—2200 °С

## Недостатки:

- Точность более 1 °С трудно достижима, необходимо использовать термометры сопротивления или термисторы.
- На показания влияет температура свободных концов, на которую необходимо вносить поправку.

## Материалы термопар:

- Хромель – Копель до 800°C.
- Хромель - Алюмель до 1200°C.
- Платина (Pt) – Платинородий (10% Rh) до 1300°C.
- Платинородий (10%) – Платинородий (30%) до 1600°C.
- Вольфрам (W)- Молибден (Mo) до 2000°C.
- Вольфрам (W) – Рений (Re) до 3000°C.

## Справка.

Хромель - 90% Ni + 10% Cr.

Копель - 43% Ni + 56% Cu +1% Mn.

Алюмель - 94%Ni+2%Al+2%Mn+1,5Si.

# Пирометры

Пирометры применяют для бесконтактного измерения температуры тел, нагретых выше 600 °С.

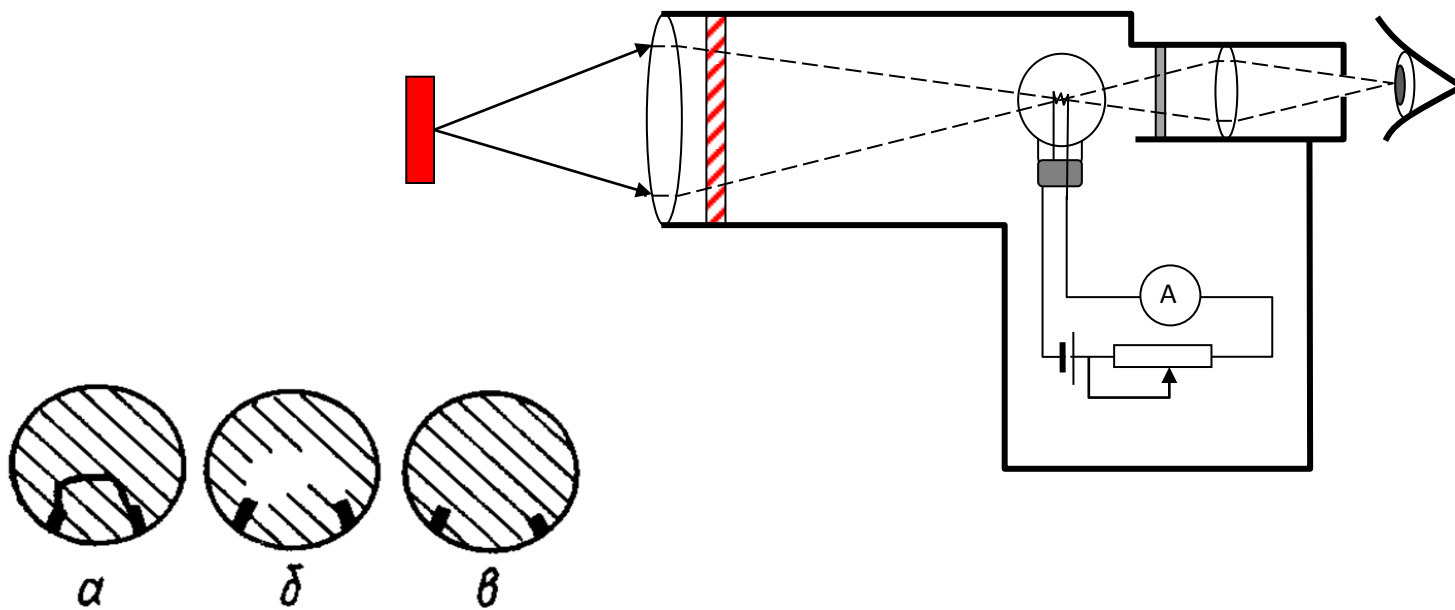
-для измерения температуры при выплавке металлов в печах и домнах.

Типы пирометров:

- Яркостные (оптические);
- Радиационные.

## Яркостные пирометры (оптические):

- Через оптическую систему сравнивают яркость свечения объекта и эталона (вольфрамовой нити). Когда яркость объекта и нити совпадает (нить исчезает на фоне объекта) по показаниям амперметра определяют температуру объекта.



# Оптический пирометр Проминь М-1



## Радиационные пирометры:

- Тепловой поток, поступающий через линзу прибора, попадает на фотоэлектронный преобразователь ФЭП и измеряется мощность теплового излучения, которая пересчитывается в температуру.



ПВ-6



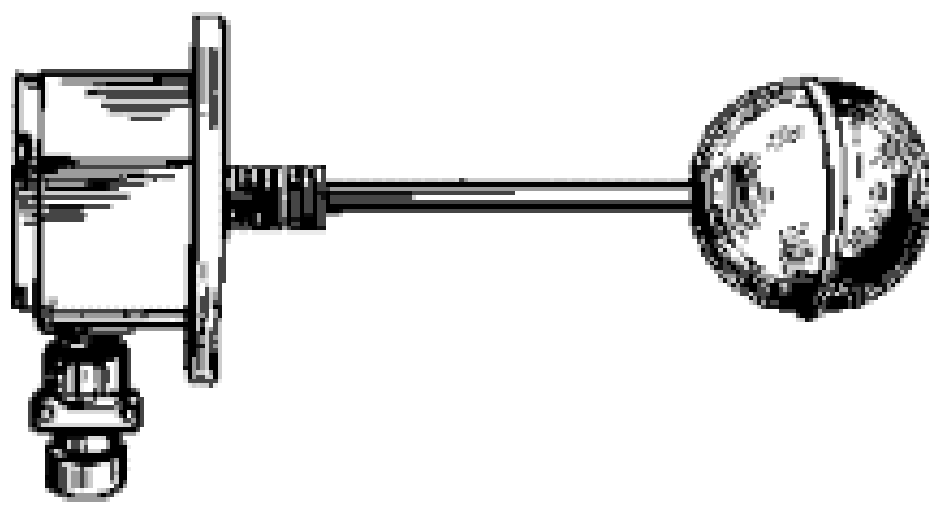
4PM1



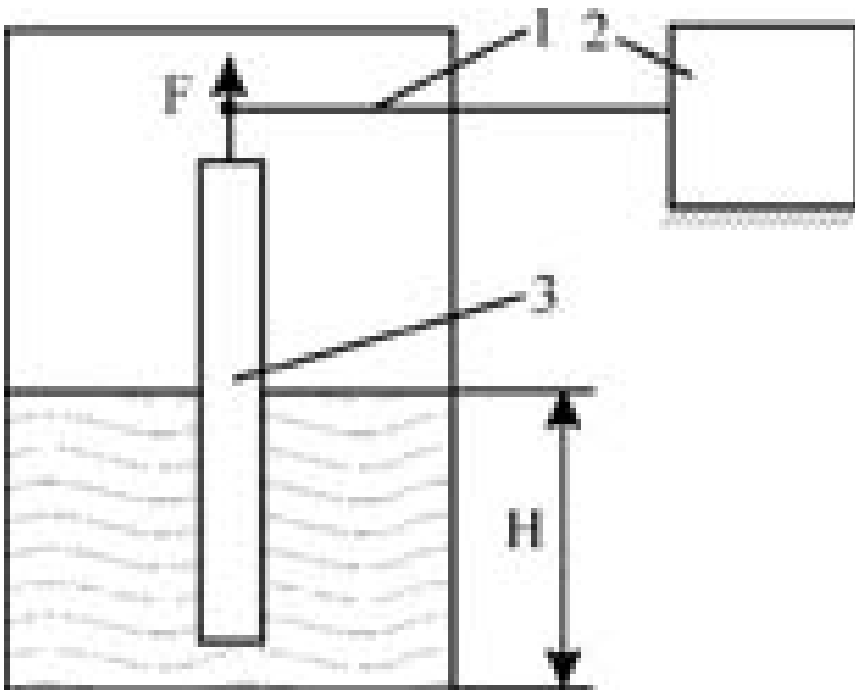
### **3. Измерение уровня**

В технологическом процессе важно знать запасы исходных или готовых веществ. При бестарном хранении в силосах или резервуарах это можно сделать с помощью датчиков уровня.

**Поплавковые уровнемеры.** Поплавок, плавающий на поверхности жидкости, при изменении уровня перемещается. Перемещение поплавка может преобразовываться в унифицированный сигнал например при помощи переменного сопротивления (реостата).



**Буйковый уровнемер.** На буй, погруженный в жидкость действует Архимедова сила выталкивания, пропорциональная уровню жидкости.

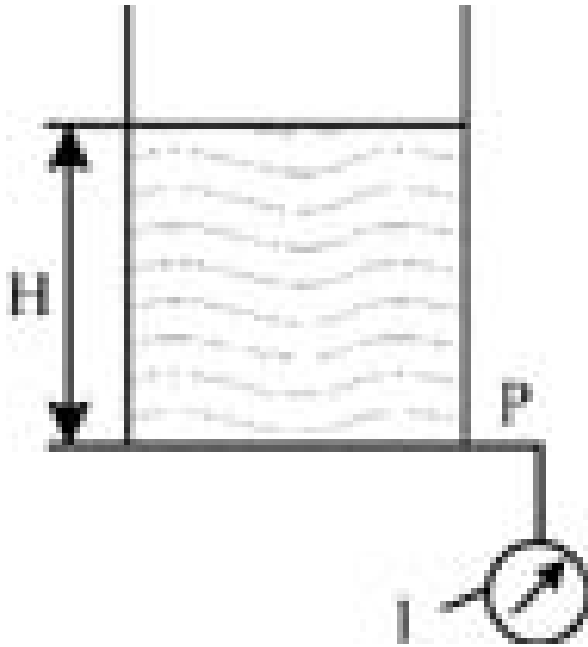


$$F = S \cdot \rho \cdot g \cdot H$$

S- площадь поперечного сечения буика.

Сила **F** преобразуется в унифицированный сигнал и регистрируется прибором.

**Гидростатические уровнемеры** измеряют непосредственно силу давления столба жидкости.

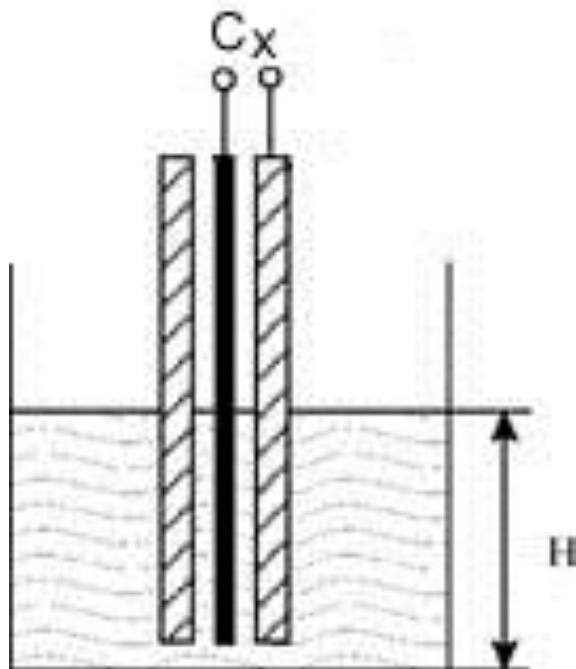


$$\Delta p = \rho \cdot g \cdot H$$

Зная избыточное давление столба жидкости легко определить уровень:

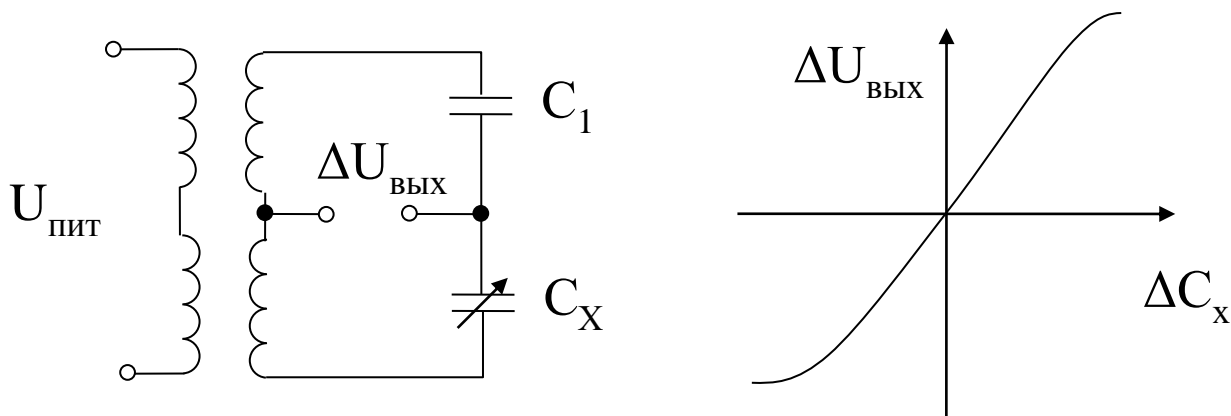
$$H = \frac{\Delta p}{\rho \cdot g}$$

**Емкостные уровнемеры.** В качестве датчика используется емкостный преобразователь.

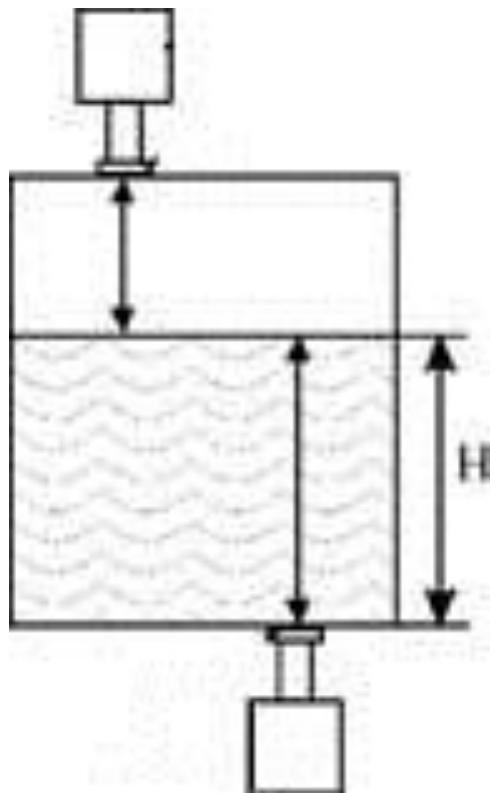


Недостатком является зависимость диэлектрической проницаемости жидкости от температуры (влияние температуры уменьшается путем включения компенсационных емкостей)

Если емкостной преобразователь включить в мостовую схему, то можно преобразовать отклонение уровня жидкости в отклонение переменного напряжения.



**Ультразвуковые и акустические уровнемеры.** Принцип действия таких уровнемеров базируется на измерении времени прохождения импульса ультразвука от излучателя до поверхности жидкости и обратно. При приеме отраженного сигнала излучатель становится приемником.



Если излучатель расположен под слоем жидкости, то уровнемер называют ультразвуковым, а если над жидкостью – то акустическим.

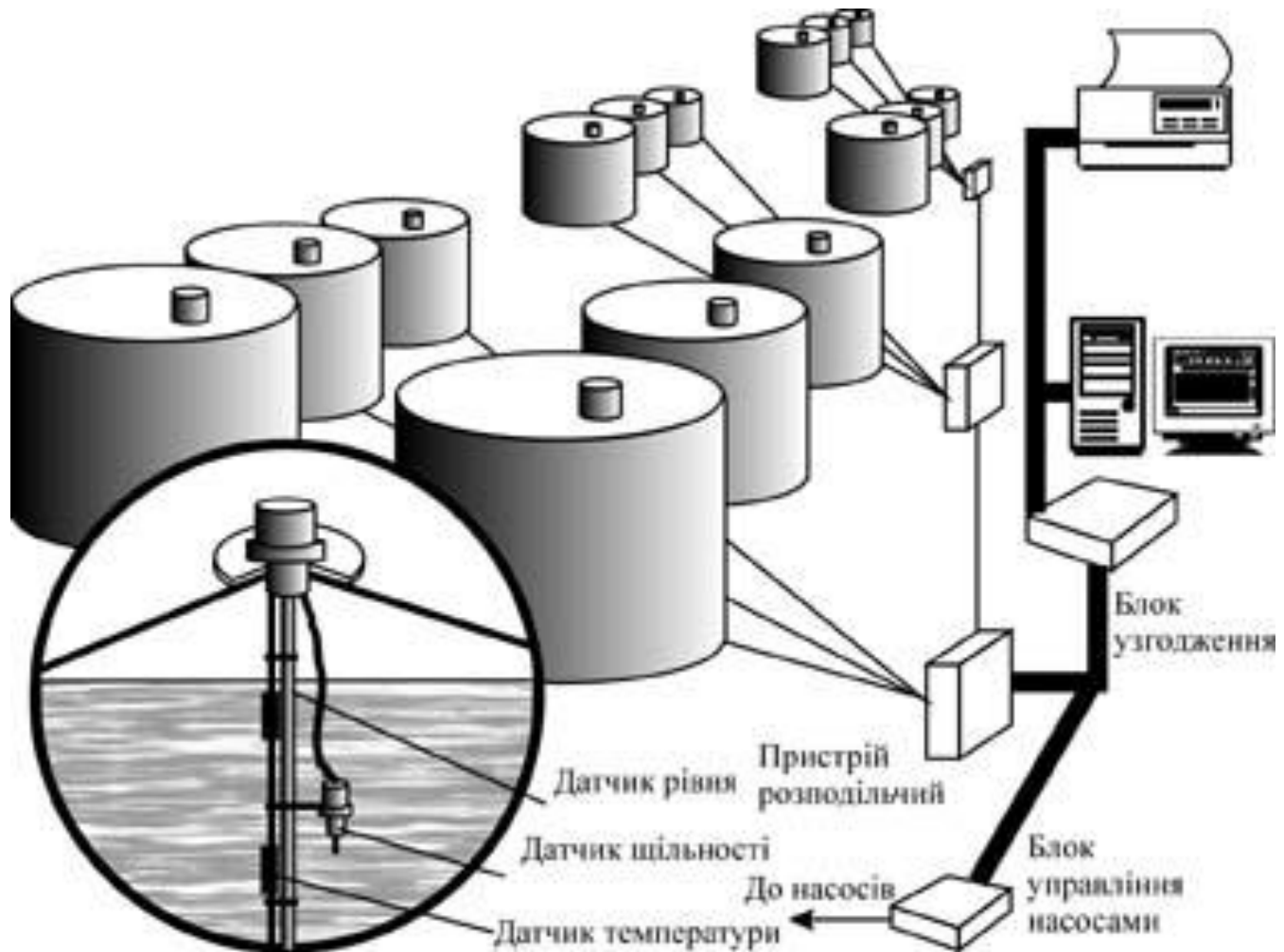


Схема контролю уровня «Резервуар-2» нефтехранилища.



## 4. Измерение плотности вещества.

Единицы измерения:

1 кг/м<sup>3</sup>;

1 г/л;

1 г/моль.

**Ареометр** предназначен для измерения плотности жидкости

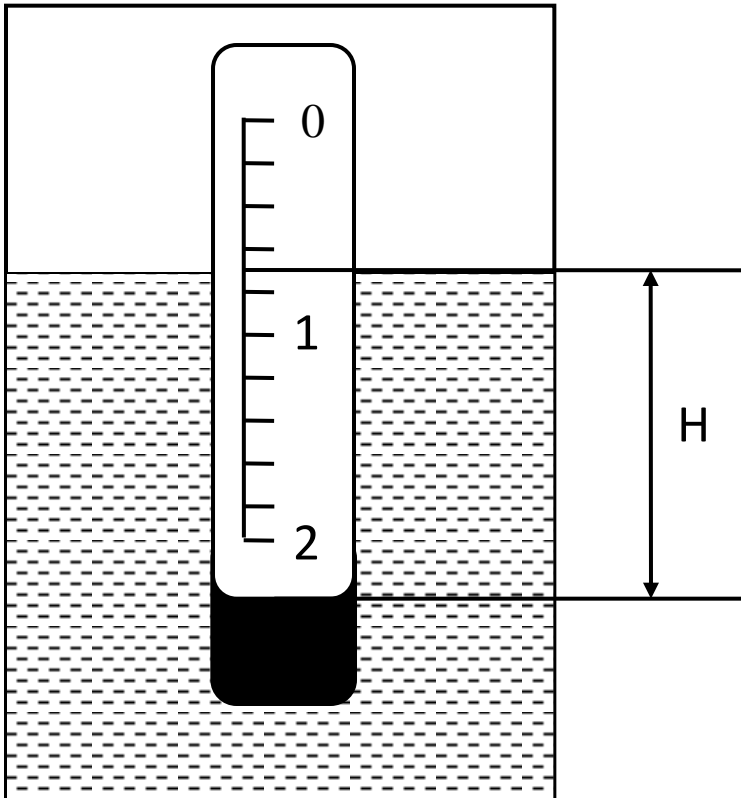
Ареометр (стеклянная колба) находится в равновесии под действием силы веса и силы выталкивания

$$mg = S \cdot \rho \cdot g \cdot H$$

$S$ - площадь поперечного сечения ареометра;  
 $m$  – масса ареометра.

$$\rho = \frac{m}{S \cdot H}$$

Для удержания ареометра в вертикальном положении в нижней части установлен груз.





Для повышения чувствительности верхняя часть со шкалой выполнена тонкой.

На каждом ареометре имеется обозначение, при какой температуре необходимо проводить измерения.

# Лекция № 4

## **Измерители физических величин**

# 1. Измерение расхода.

Единицы измерения:

Объемный расход  $Q$  :  $\text{м}^3/\text{с}$ ,  $1\text{л}/\text{с}$ ;  
 $1\text{м}^3/\text{с}=1000\text{л}/\text{с}$ .

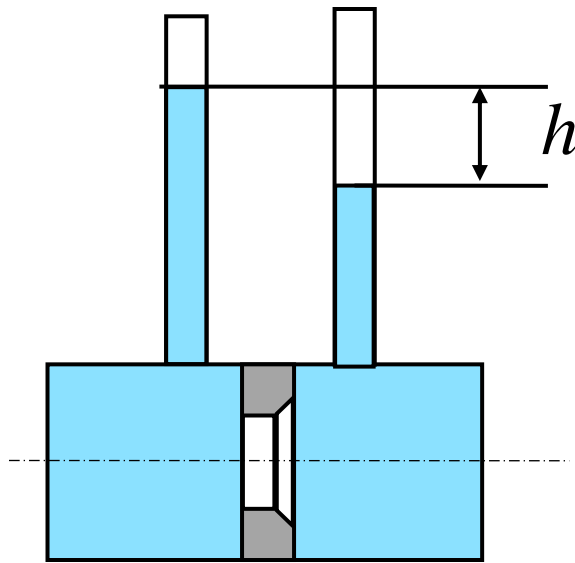
Массовый расход  $G$ :  $1\text{кг}/\text{с}$ .

$$G=\rho\cdot Q$$

$\rho$  [ $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$ ]— плотность жидкости (газа)

## Мерные шайбы:

Для измерения расхода жидкости или газа, часто применяют мерные шайбы – гидравлическое сопротивление с известной геометрией и нормированными потерями давления на острых кромках:



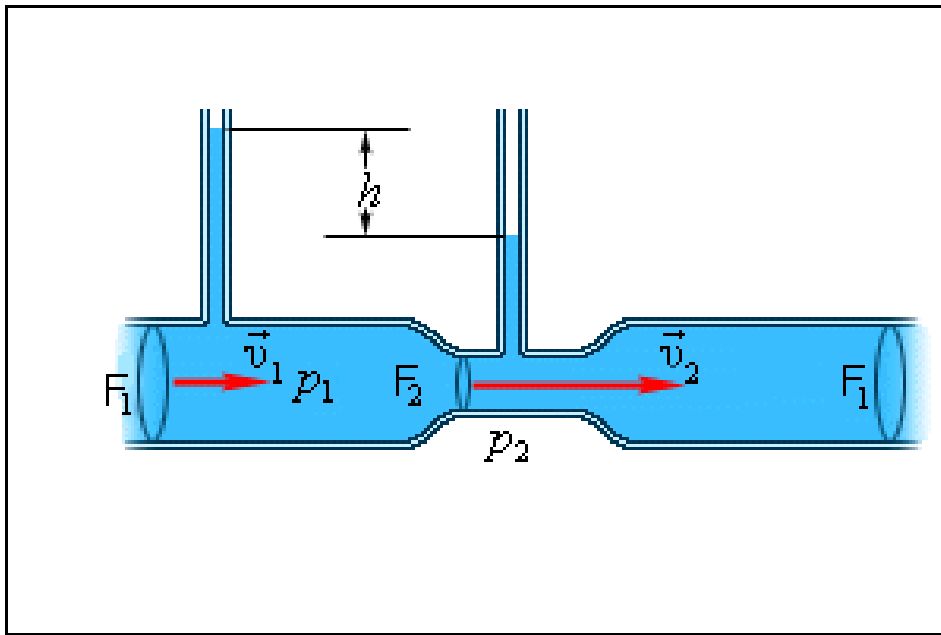
$$Q = \mu \cdot F \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho}} = \mu \cdot F \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}$$

$$\Delta p = \rho g h$$

$$Q = \mu \cdot F \sqrt{2gh}$$

$F$  - площадь проходного сечения мерной шайбы  
 $\mu < 1$  (0,7-0,9) - коэффициент расхода, учитывает уменьшение реального расхода за счет потерь на острых кромках.

**Трубка Вентури** применяется для измерения расхода жидкости в случае, когда необходимо избежать потерь давления:



Уравнение Бернулли:

$$p_1 + \frac{\rho V_1^2}{2} = p_2 + \frac{\rho V_2^2}{2}$$

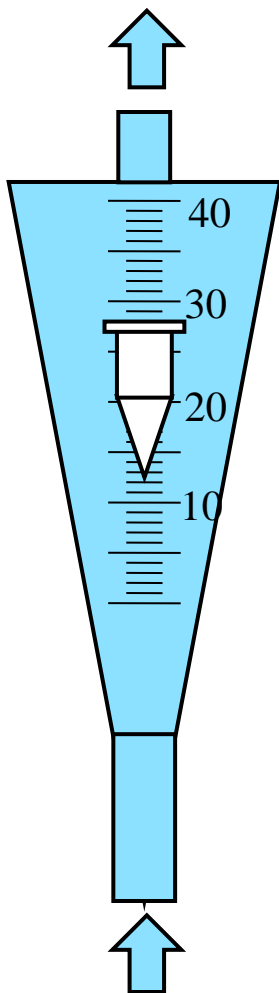
Уравнение неразрывности

$$Q_1 = Q_2 = Q$$

$$v_1 F_1 = v_2 F_2$$

$$Q = \frac{F_2}{\sqrt{1 - \frac{F_2^2}{F_1^2}}} \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho}}$$

**Ротаметр** представляет собой вертикальную конусную трубку, в которой находится «тяжелый» поплавок. Смещение поплавка пропорционально расходу жидкости или газа:



$$Q = A \cdot x$$



При смещении поплавка площадь проходного сечения изменяется по линейному закону:

$$F = Kx$$

Из условия равновесия поплавка следует, что перепад давления постоянный:

$$\Delta p = \text{const}$$

А из уравнения расхода - что расход пропорционален площади или смещению поплавка.

$$Q = \mu \cdot F \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}$$

$$Q = A \cdot x$$

$$A = \mu \cdot K \cdot \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}$$

# Турбинные расходомеры

Турбинные расходомеры предназначены для измерения расхода жидкостей с низкой вязкостью и для измерения расхода газов.

Принцип измерения:

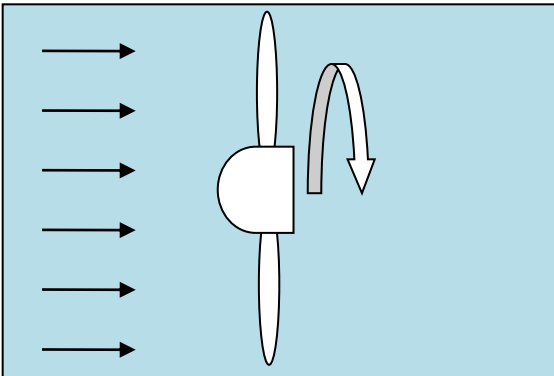
Движущаяся измеряемая среда приводит в движение ротор турбины. Объемный расход жидкости или газа пропорционален частоте вращения ротора расходомера.

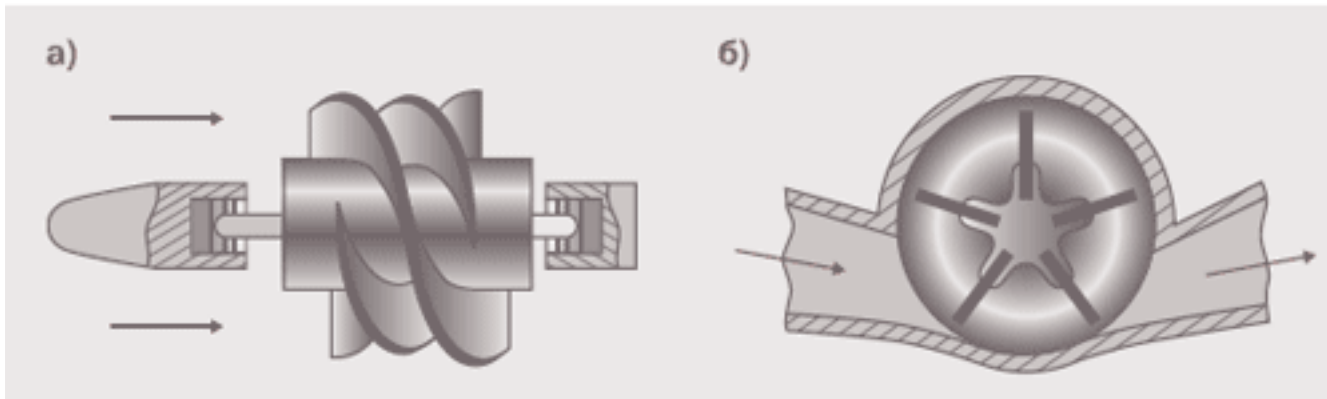
$$Q = k \cdot n$$

Недостаток – наличие движущихся частей и как следствие ограниченный ресурс.

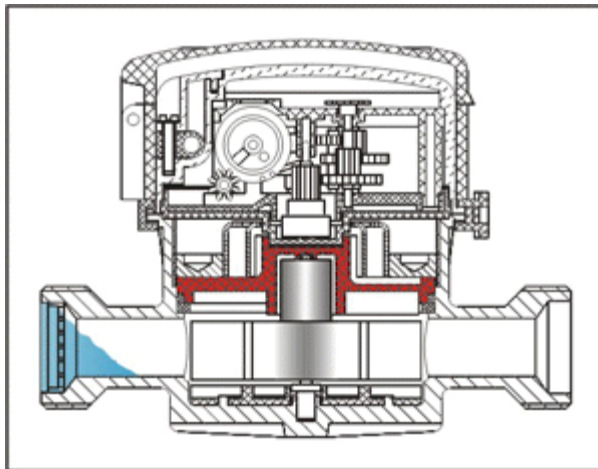
Достоинства:

- линейная характеристика;
- широкий диапазон измерения;
- малая инерционность;
- простота конструкции.





а) аксиальная турбина; б) тангенциальная турбина



## 2. Измерители состава вещества

Единицы измерения:

Массовые доли;

Объемные доли;

Проценты  $1 \cdot 10^{-2}$  (сотые доли) ;

Промилле  $1 \cdot 10^{-3}$  (тысячные доли) ;

$\text{Ppm} = 1 \cdot 10^{-6}$  (миллионные доли) ;

Измерители состава вещества:

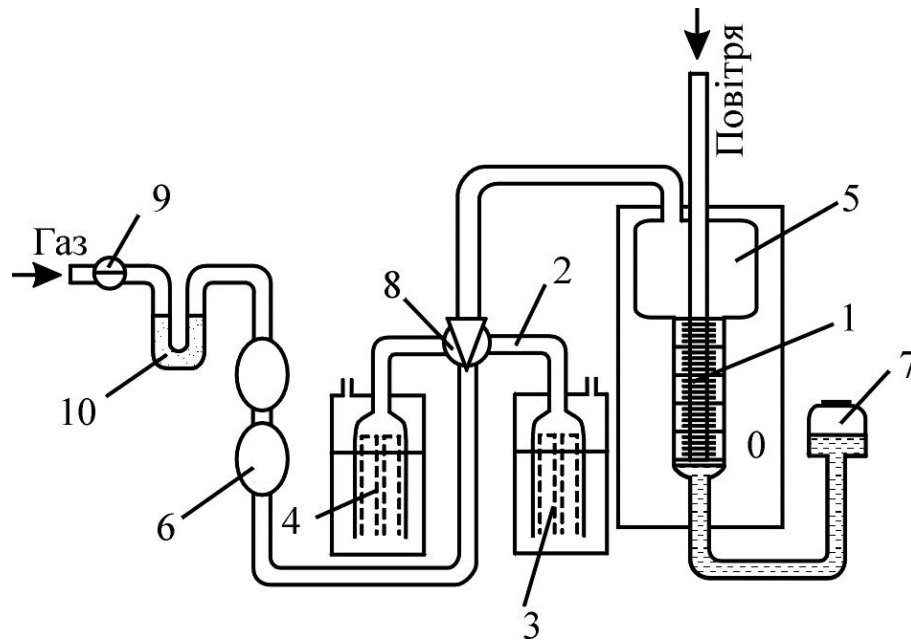
- газов (газоанализаторы).
- жидкостей;
- твердых веществ;

Типы применяемых газоанализаторов :

- химические;
- термокондуктометрические;
- магнитные;
- хроматографы;
- оптические;
- термохимические;

# Химические газоанализаторы

Принцип действия основан на химических реакциях компонентов анализируемого газа с химическими реактивами.



Газ грушей закачивается в мерную колбу. После этого пропускается через сосуд с реактивом. По уменьшению объема рассчитывают объемную долю.

## Анализируемые газы : $CO$ , $NO$ ; $C_nH_m$ ,

Достоинства:

- простота прибора;
- возможность определения любой компоненты газа.

Недостатки:

- сложность автоматизации;
- низкая точность измерений (0,1...0,2)%;

# Термокондуктометрические газоанализаторы

Применяют: для определения концентраций бинарных (двухкомпонентных) газовых смесей

Действие основано на зависимости теплопроводности газовой смеси от ее состава.

$$\lambda = \lambda_1 c_1 + \lambda_2 c_2 = \sum_{i=1}^2 \lambda_i c_i$$

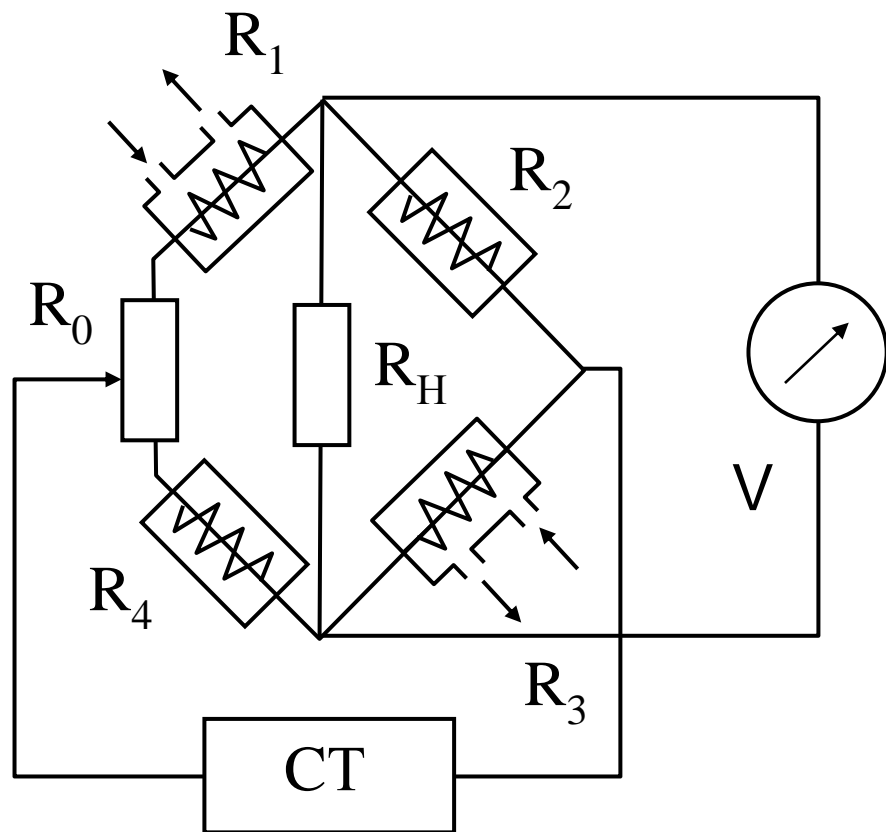
Где:  $\lambda$  - теплопроводность смеси,  
 $\lambda_i$  - теплопроводность  
i - того компонента,  
 $C_i$  - его концентрация,  
n-число компонентов.

Через терморезистор, погруженный в газовый поток, пропускают ток. Чем больше теплопроводность среды, тем лучше отводится тепло, тем меньше температура и сопротивление терморезистора.





# Термокондуктометрический газовый детектор



СТ -стабилизатор напряжения;  
V - вольтметр ;  
R1 и R3 - рабочие терморезисторы;  
R2 и R4 -сравнит. резисторы;  
R0 потенциометр

Через  $R_1$  прокачивают чистый газ. Через  $R_3$  – испытуемый газ. Если в испытуемом газе содержится примесь второго газа, то сопротивление  $R_3$  изменяется и в диагонали моста появляется ток пропорциональный концентрации примеси.

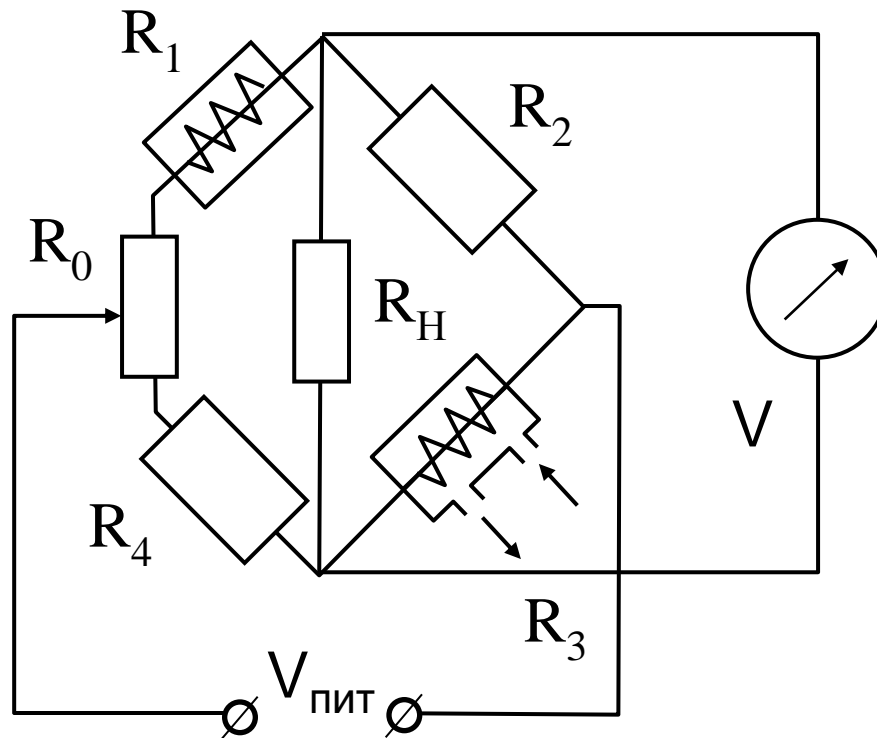
# Термохимические газоанализаторы

-Анализируемые газы:

-CO, H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub>

- пары бензина, ацетона, спиртов, эфиров.

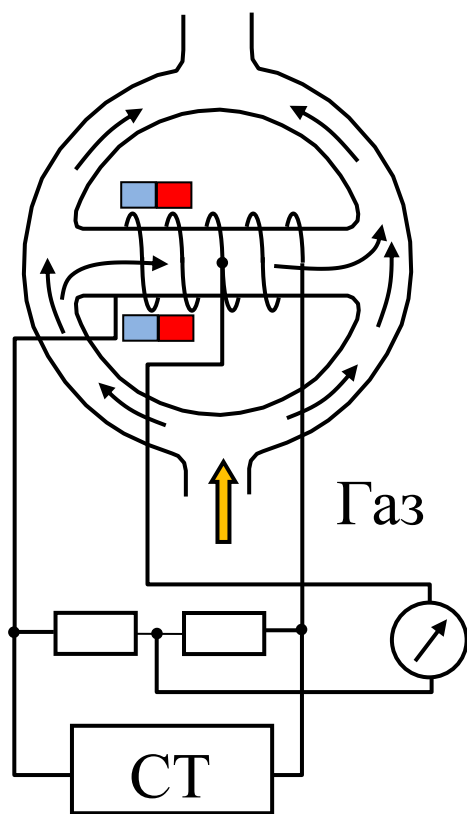
Концентрации веществ определяются по количеству тепла, выделившегося в ходе каталитической окислительной химической реакции. В качестве катализатора используют разогретую платиновую нить. Компоненты смеси вступают в реакцию на поверхности катализатора. Чем выше концентрация, тем больше количество тепла выделяется, и тем выше температура и сопротивление нити.



$R_1$  - пассивный катализатор;  
 $R_3$  – активный катализатор;  
 $R_2$  и  $R_4$  -сравнит. резисторы;  
 $R_0$  потенциометр  
 $V$  - вольтметр ;

## Терромагнитные газоанализаторы

применяю только для определения концентрации кислорода, единственного газа, обладающего магнитными свойствами.



При наличии в газовой смеси  $O_2$  часть потока магнитным полем направляется через диаметральный канал, охлаждая первую секцию платиновой спирали и отдавая часть тепла второй. Изменение сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$  вызывает изменение выходного напряжения  $U$ , пропорциональное содержанию  $O_2$  в анализируемой смеси.

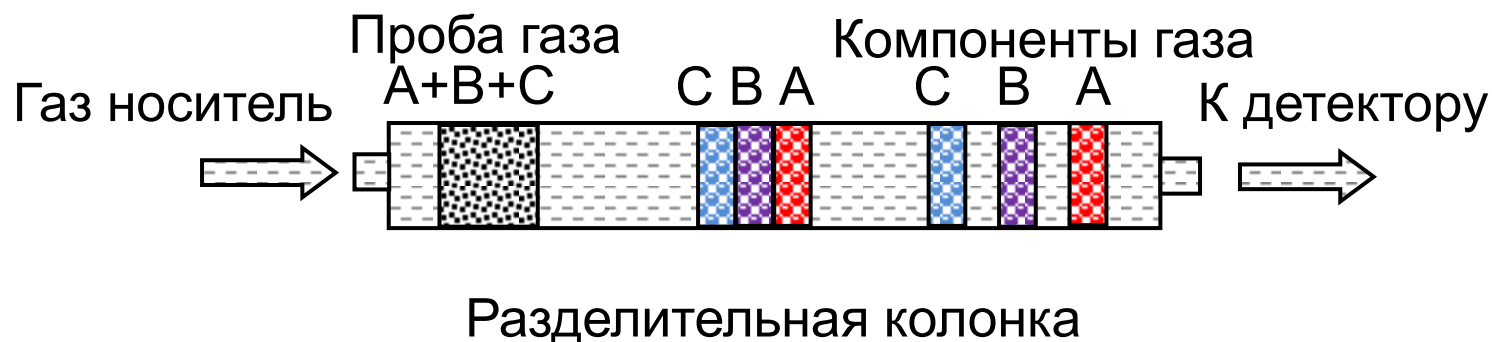
# Хроматографы

Предназначены для анализа многокомпонентных газовых смесей.

Точность измерения –  $1 \div 10$  ppm

Принцип действия – различие физического взаимодействия молекул газа с молекулами сорбента (М.С. Цветов 1901г.)

Основной элемент разделительная колонка  $L = 1 \div 100\text{м}$ , стенки колонки покрыты сорбентом.



На выходе колонки по времени выделяют двухкомпонентную смесь, которую анализируют любым известным методом, например термоконтдуктометрическим детектором.

# Оптические газоанализаторы

- Предназначены для определения концентраций:
  - CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> и др.
- Принцип действия – поглощение газом определенной длины волн электромагнитного излучения.

Закон Ламберта - Бера

$$D = \ln(I_0 / I) = \varepsilon_\lambda c L \quad c = \frac{\ln(I_0 / I)}{\varepsilon_\lambda \cdot L}$$

$c$  – концентрация газа;

$D$  - оптическая плотность среды;

$I_0$  - интенсивность луча на входе;

$I$  - интенсивность луча на выходе;

$\varepsilon_\lambda$  - коэффициент спектрального поглощения;

$L$  - длина газовой камеры.



# Сигнализаторы ДОЗОР



# Сигнализаторы ВАРТА



## Измерение электрических величин

- Измерители силы тока
- Измерители напряжения
- Измерители сопротивления
- Измерители частоты

# Лекція № 8

## Диспетчерській контроль і збір даних SCADA

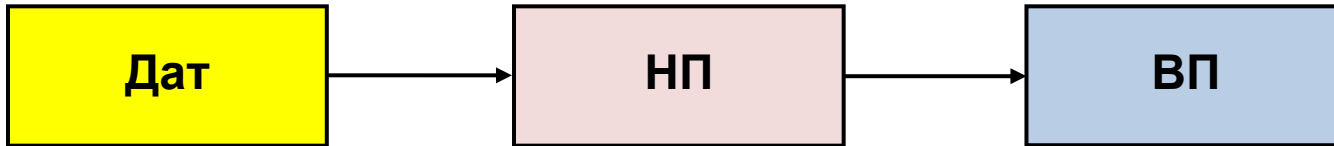
*(Supervisory Control And Data Acquisition)*

# ***1. Вимірювальний ланцюг***

**Вимірювання у побуті** – це порівняння вимірюваної величини з еквівалентною величиною системи вимірювання.

**Вимірювання у виробництві** - це перетворення вимірюваного параметра в пропорційній нормованій уніфікований сигнал зручний для подальшого використання.

Процес вимірювання можна відобразити наступною структурною схемою, яка називається **вимірювальним ланцюгом**:

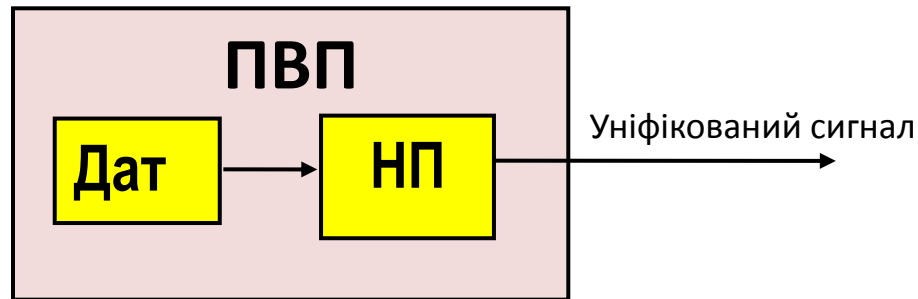


Дат - датчик (чутливий елемент), формує сигнал, пропорційний величині що вимірюється;

НП - нормуючий перетворювач, перетворює сигнал датчика в нормований уніфікований сигнал, зручний для дистанційної передачі та вимірювання;

ВП - вимірювальний прилад (кінцевий перетворювач), перетворює уніфікований проміжний сигнал в сигнал, зручний для спостереження або реєстрації.

Сукупність датчика і нормуючого перетворювача називається **первинним вимірювачем-перетворювачем ПВП**



Вихідним сигналом ПВП є уніфікований сигнал, для датчика ці вимоги не обов'язкові.

На практиці часто ПВП називають **датчик з нормованим вихідним сигналом**, або просто **ДАТЧИК**.

Таким чином нормуючий перетворювач може бути окремим елементом, може входити до складу ПВП або до складу вимірювача.

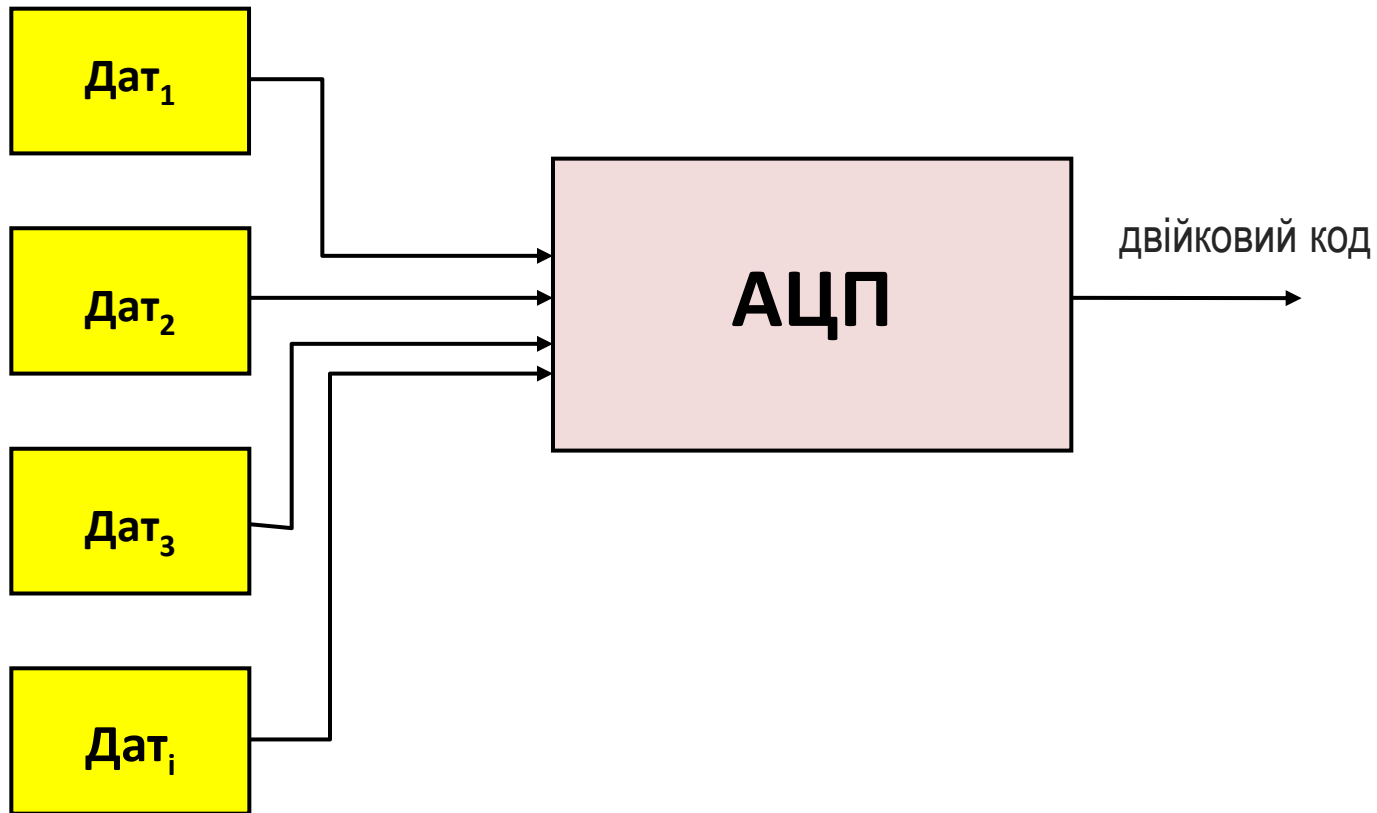


Уніфіковані сигнали можуть бути аналоговими або цифровими.

Уніфіковані сигнали ПВП:	Діапазон вимірювання
Струм 0...5мА	0...100%
Струм 0...20мА	0...100%
Струм 4...20мА	0...100%
Напруга -50...+50мВ	0...100%
Напруга 0...1в	0...100%
Цифровий двійковий код	0...100%

Якщо на виході НП цифровий код то такий НП називається аналого-цифровим перетворювачем (АЦП) .

Нормуючий перетворювач може входити до конструкції ПВП, а може бути окремим елементом вимірювального ланцюга. Якщо окремим нормуючим перетворювачем з'являється АЦП, те до одного АЦП може бути підключено декілька датчиків:



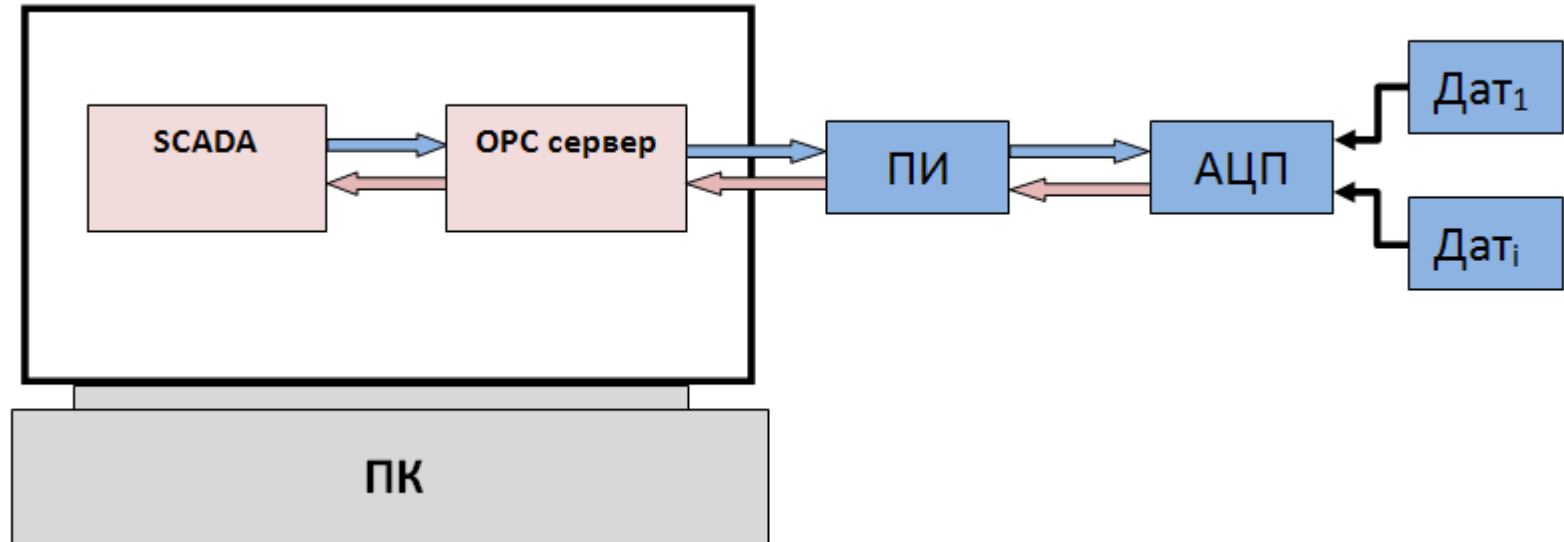
## **2. Системи автоматизованого контролю стану САКС (SCADA)**

Системи автоматизованого контролю стану (САКС) призначені для автоматичного контролю:

- параметрів продукту;
- параметрів технологічного процесу;
- параметрів машин і деталей машин (технологічне обладнання ТО).

Робота САКС починається зі збору інформації про об'єкт – **моніторинг параметрів об'єкту**

Структурна схема САКС може мати вигляд:



АЦП – аналогове-цифровий перетворювач;

ПИ – перетворювач інтерфейсів;

Дат – датчики технологічних параметрів.

АЦП – аналогове – цифровий перетворювач, забезпечує перетворення уніфікованих аналогових сигналів датчиків у двійковий код.

**Приклад: 8-і каналний АЦП (RS 485) Овен MB110 – 8А (110\$)**



**Овен MB110 – 8А**

Виробники обладнання САКС можуть застосовувати різні інтерфейси.  
Для взаємного перетворення інтерфейсів застосовують **Перетворювачі інтерфейсів (ПІ)**

Приклад: Перетворювач інтерфейсів RS485/USB **Овен АС4** (55\$)



**Овен АС4**

**SCADA** - це програмне забезпечення, що встановлюється на комп'ютер і для зв'язку з об'єктом використовує драйвери введення-виведення або **OPC** сервери (абр. від англ. **O**le for **P**rocess **C**ontrol ).

**OPC** - сімейство програмних технологій, що надають єдиний інтерфейс для взаємодії з об'єктами автоматизації по заданому протоколу.

**Протокол передачі даних** - правила (угоди) подання інформації, які визначають обмін даними між програмним забезпеченням різних пристроїв. Ці угоди задають однаковий спосіб передачі повідомлень і обробки помилок.

У промисловості широко застосовуються такі протоколи:

**Modbus;**

**Modbus плюс;**

**Owen.**



**Інтерфейс** - правила взаємодії об'єктів:

- людина-машина,
- прилад-комп'ютер.

У промисловій автоматизації під інтерфейсом розуміють лінії зв'язку для передаванні цифрової інформації .

**Застосовують наступні інтерфейси:**

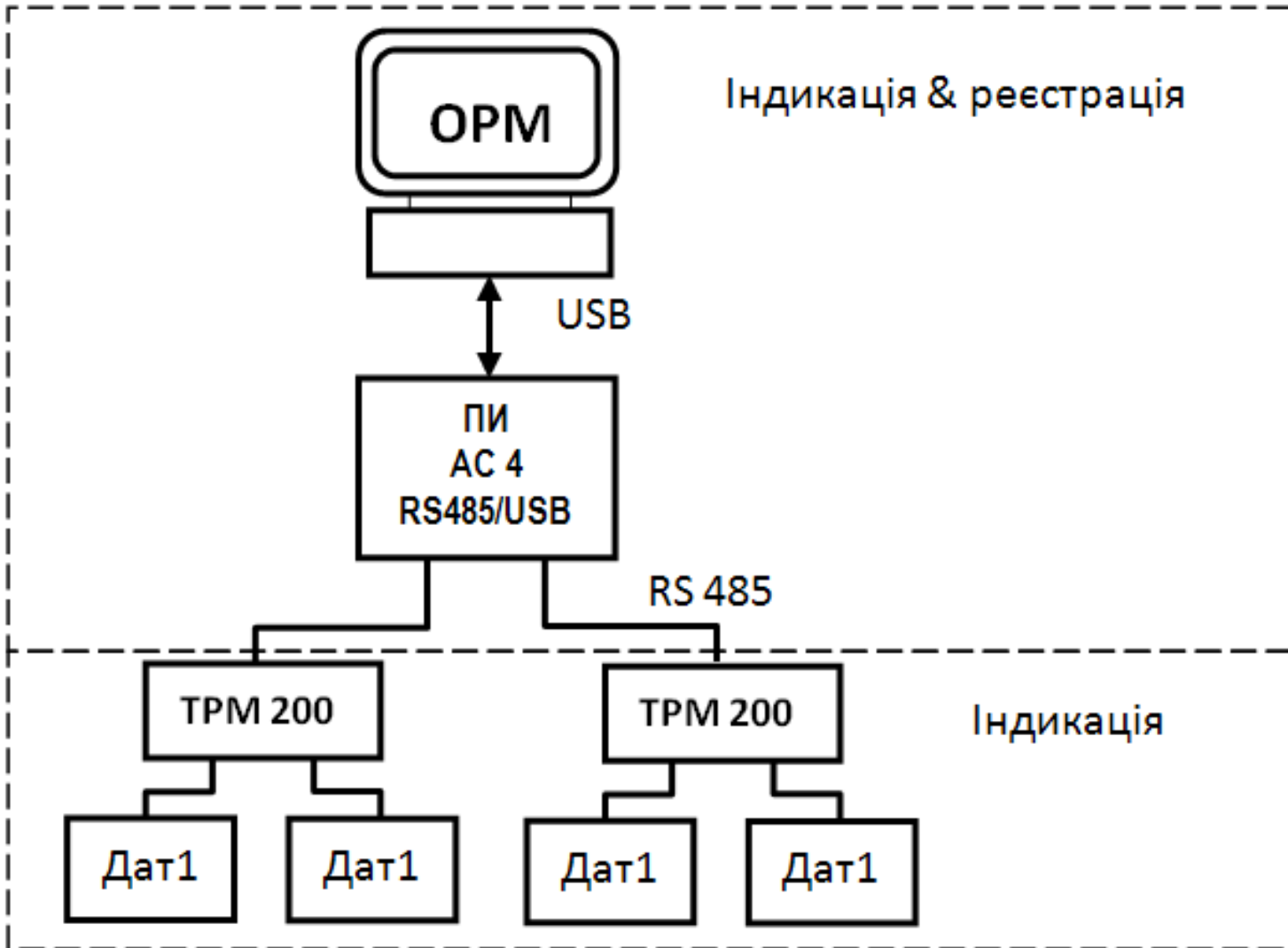
- струмова петля; (у наступний час дуже рідко)
- HART – цифровий промисловий протокол;
- RS-232 – (RS від англ. *Recommended Standard* );
- RS-422;
- RS-485 – (витая пара);
- USB – (Universal Serial Bus універсальна послідовна шина);
- GSM – бездротовий інтерфейс.

Якщо SCADA система призначена лише для моніторингу параметрів об'єкту. Тому до інтерфейсу RS485 мають бути підключені тільки вимірюючі перетворювачі, наприклад двоканальний вимірювач перетворювач з інтерфейсом RS485 **Овен ТРМ 200** (65\$)

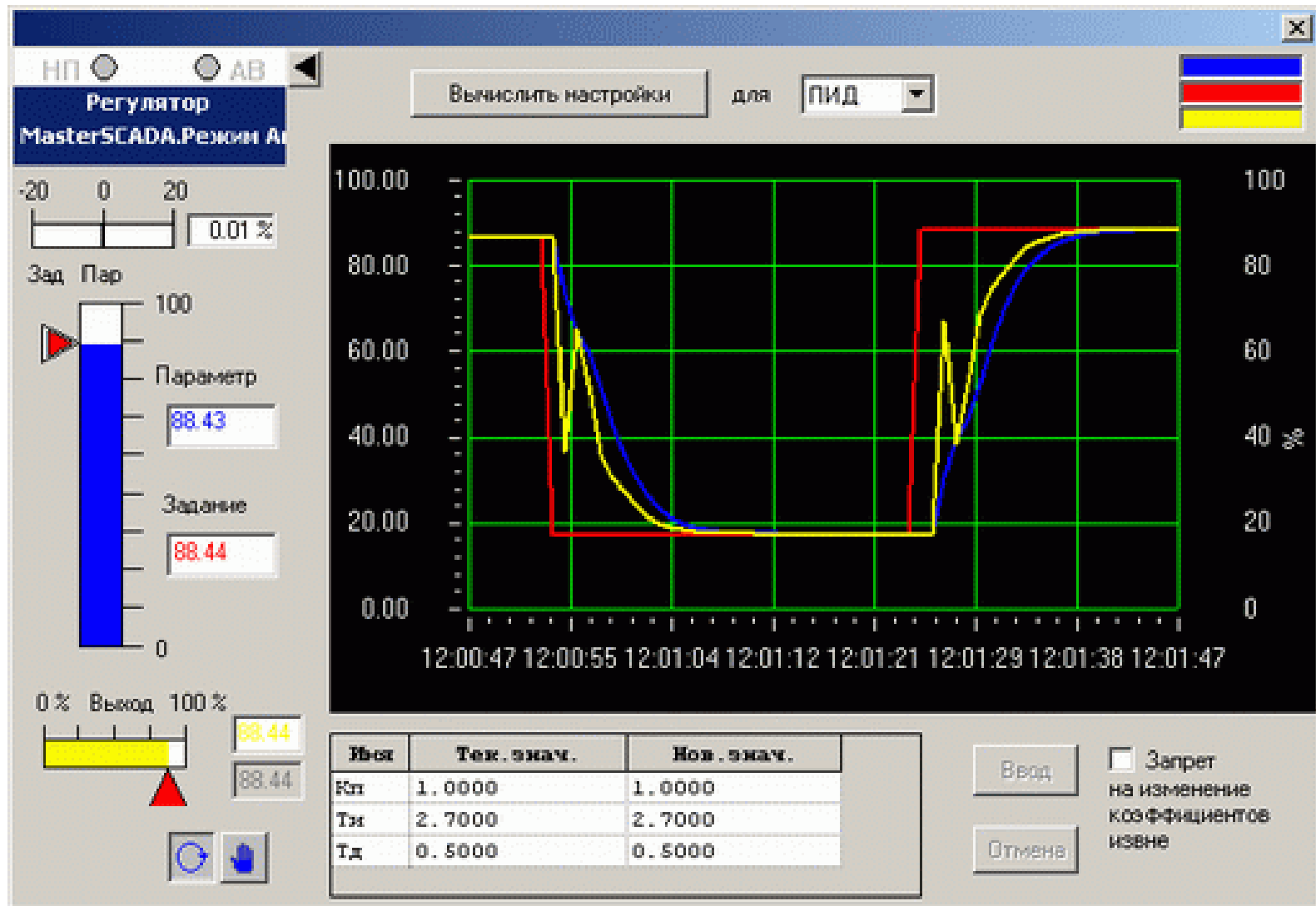


**Овен ТРМ 200**

Структурна схема SCADA системи для моніторингу параметрів об'єкта може бути наступною:

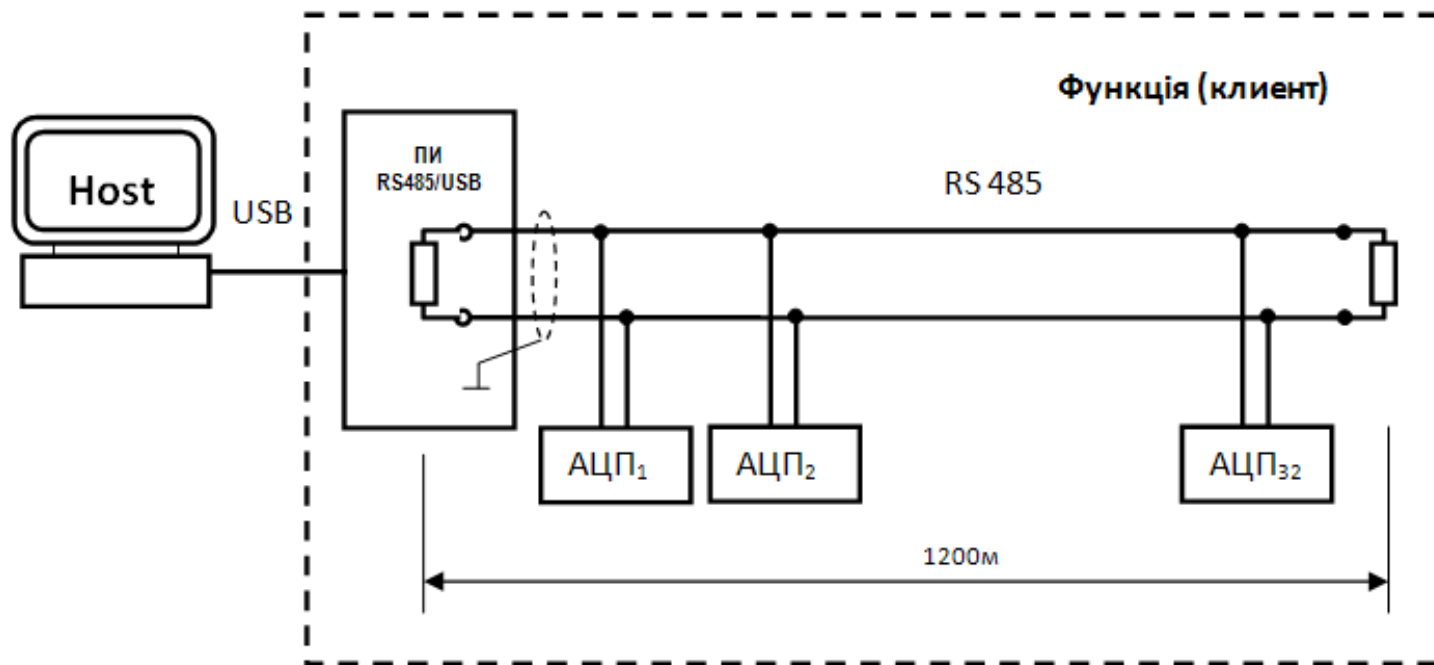


# Застосування SCADA для моніторингу параметрів об'єкту



# **3. Топологія інтерфейсу**

При використанні мережі з інтерфейсом RS-485 можна з'єднати до 32-х пристроїв в сегменті і передавати інформацію на відстань до 1200м.

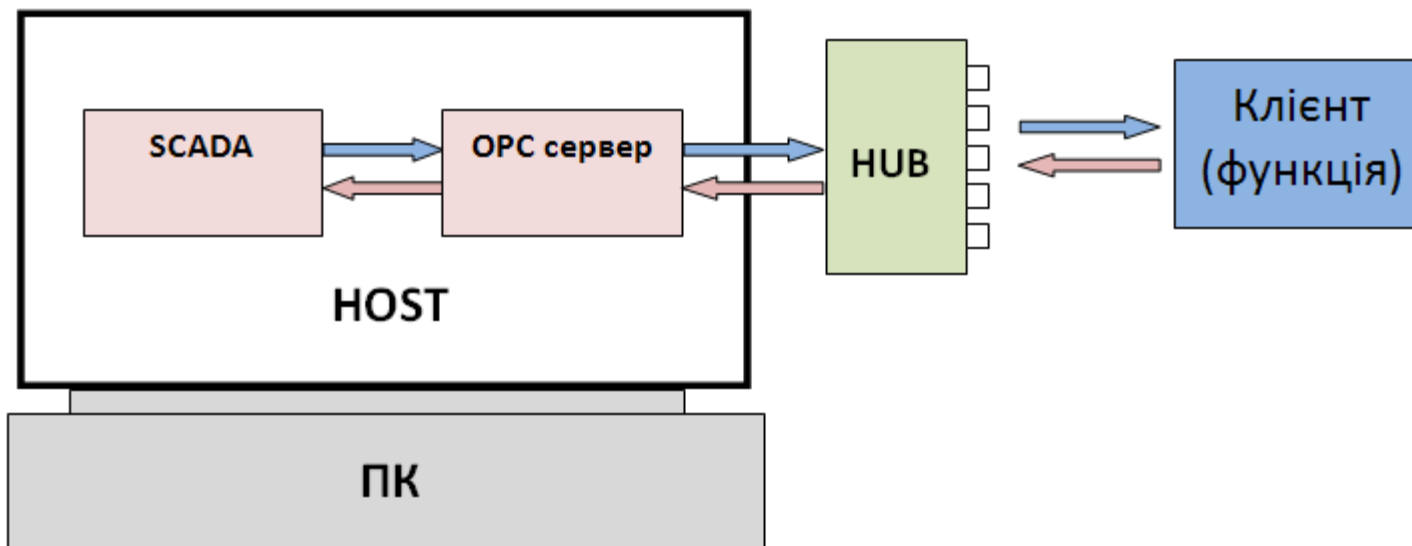


Інтерфейс USB з'єднує між собою провідний комп'ютер («сервер» або «хост». – англ. господар) і логічно завершені пристрої («клієнт» або «функція» ). Хост управляє роботою всього інтерфейсу.

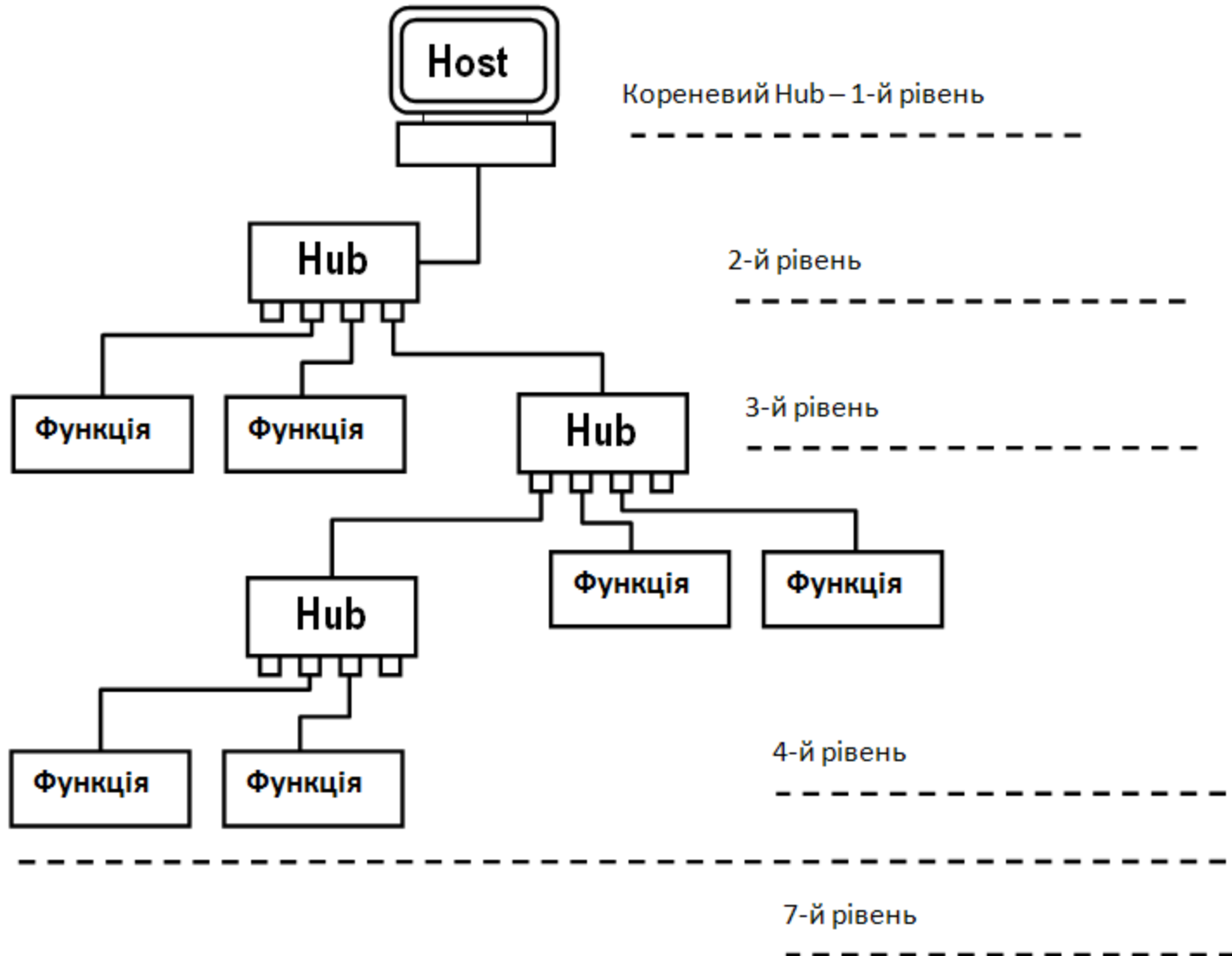
Все передачі даних по інтерфейсу ініціюються «хостом».

Для того, щоб до одного порту комп'ютера можна було підключати більше одного клієнту (функції), застосовуються спеціальні перемикачі (повторювачі, маршрутизатори):

- **Hub** – Хаб (повторювач);
- **switch** — Світч (маршрутизатор)
- **Router** – Роутер (бездротовий маршрутизатор)



**Наприклад:** топологія інтерфейсу USB може бути складена з 7 рівнів:









Інформацію, що надходить від датчиків в комп'ютер необхідно перетворити в зручний і наочний вид. Для цієї мети використовують програмні пакети під загальною назвою **SCADA**.

**SCADA** - це програмний пакет, призначений для забезпечення роботи в реальному часі систем збору, обробки, відображення та архівування інформації про об'єкт моніторингу або управління.

**SCADA** може бути частиною **САКС**, частиною **АСУ ТП**, а також частиною системи екологічного моніторингу, наукового експерименту, автоматизації будівлі і т.д.

# 5. Протокол передачі даних

Протокол передачі даних - правила (угоди) подання інформації, які визначають обмін даними між програмним забезпеченням різних пристроїв. Ці угоди задають однаковий спосіб передачі повідомлень і обробки помилок рознесеною в просторі апаратури.

Наприклад:

Запит ведучого пристрою містить:

Адреса пристрою;

Код функції: яку дію необхідно виконати;

Байти даних - містять інформацію необхідну для виконання  
запитаної функції;

Контрольна сума.

Відповідь від підлеглого:

Адреса пристрою;

Код функції: яку дію необхідно виконати;

Байти даних - містять затребувану інформацію;

Контрольна сума.

Повідомлення повинно починатися і закінчуватися інтервалом тиші, тривалістю не менше 3,5 символів. Під час передачі повідомлення не повинно бути пауз тривалістю більше 1,5 символів.

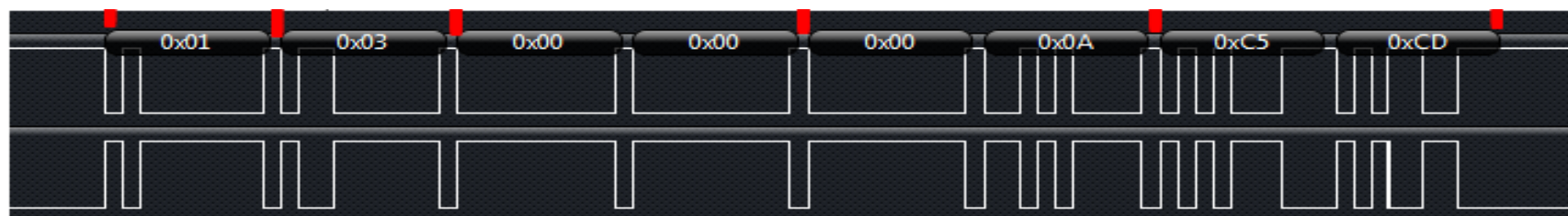
У промисловості широко застосовуються такі протоколи:

**Modbus;**

**Modbus плюс;**

**Owen.**

Типовой запрос:



Типовой ответ







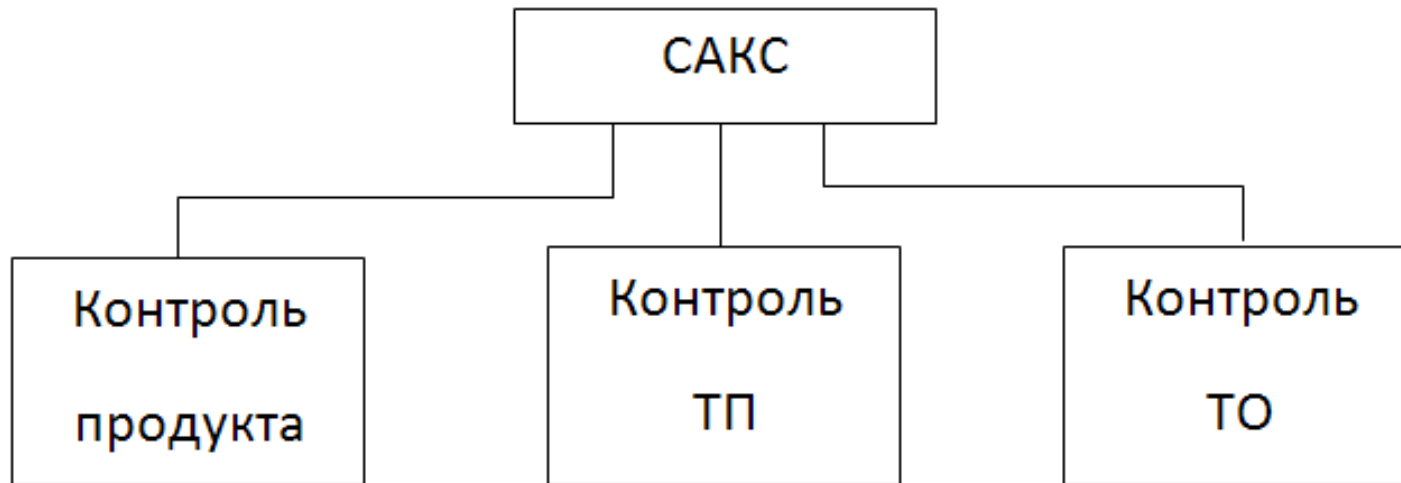
**Системы автоматического управления (САУ)** - комплекс технических средств, обеспечивающих автоматическое функционирование одного или группы технологических аппаратов. САУ предполагают функционирование процесса без вмешательства человека.

**Автоматизированные системы управления (АСУ)** Термин АСУ появился в момент, когда для решения различных задач производства начали внедрять вычислительную технику для обозначения взаимодействия «человек - ЭВМ – объект». Поток информации поступал от объекта управления к оператору, который и осуществлял управление процессом. ЭВМ использовались лишь для того, чтобы облегчить оператору обработку информации и облегчить принятие решений для управления процессом.

АСУ предполагают удаленное управление процессом – человеком (оператором).

Системи автоматизованого контролю стану (САКС) призначені для автоматичного контролю:

- параметрів продукту;
  - параметрів технологічного процесу;
  - параметрів машин і деталей машин (технологічне обладнання ТО);
- відомості про яких необхідні для управління і безпечної роботи об'єкта.



Робота (САКС) починається зі збору інформації про об'єкт – моніторинг параметрів ОУ.

З іншого боку, розвиток електроніки привело до того, що в САУ стали застосовувати цифрові датчики, а в якості регуляторів та програмно-задаючих пристроїв стали використовувати спеціалізовані ЕОМ.

***Елементна база САУ стала такою ж, як і у АСУ.***

У даний час можна сказати, що два напрямки автоматизації технологічних процесів «зверху» і «знизу» (АСУ та САУ) «зустрілися» і знаходяться в деякій єдності.

При цьому термін АСУ стоїть ближче до ЕОМ, а термін САУ ближче до технологічного апарату.



# 1. Поняття АСУ та САУ

Розробка і застосування систем автоматичного управління технологічними процесами здійснювалося за двома напрямками «знизу» - від апарату і «зверху» - від людини.

«Знизу»: - рішення таких завдань як регулювання САР, та управління - системами автоматичного регулювання (**САУ**);

«Зверху»: - контроль параметрів і віддалене (диспетчерське, супервизорне) управління процесом людиною автоматизованими системами управління (**АСУ**).

**Термін АСУ** з'явився в момент, коли для вирішення різних завдань виробництва почали впроваджувати обчислювальну техніку для позначення взаємодії «людина - ЕОМ - об'єкт».

З розвитком обчислювальної техніки частина функцій оператора (а іноді і всі функції), стали виконувати ЕОМ і ***АСУ стала виконувати роль САУ.***

З іншого боку, у даний час ***елементна база САУ стала такою ж, як і у АСУ.***

Тому час можна сказати, що два напрямки автоматизації технологічних процесів «зверху» і «знизу» (АСУ та САУ) «зустрілися» і знаходяться в деякій єдності.

## Напрямки автоматизації:

- САКС – системи автоматизованого контролю стану;
- АСУ ТП (САУ ТП)- автоматизовані системи управління технологічними процесами;
- **АСОІ** - автоматизовані системи обробки і передачі інформації ;
- **САПР** - системи автоматизованого проектування;
- **АСНИ** – автоматизовані системи наукових досліджень;



## **4. Простіша SCADA- система Owen Process Manager (OPM)**

Програмне забезпечення **Owen Process Manager** (OPM (80\$)) призначене для здійснення зв'язку ПК з приладами ОВЕН, підключеними через перетворювачі інтерфейсів ОВЕН АС2, АС3, АС4.

***OPM надає наступні можливості:***

МОДЕЛЮВАННЯ МЕРЕЖІ приладів підключених через декілька ПИ

ЗБІР ІНФОРМАЦІЇ мережі приладів через задані проміжки часу;

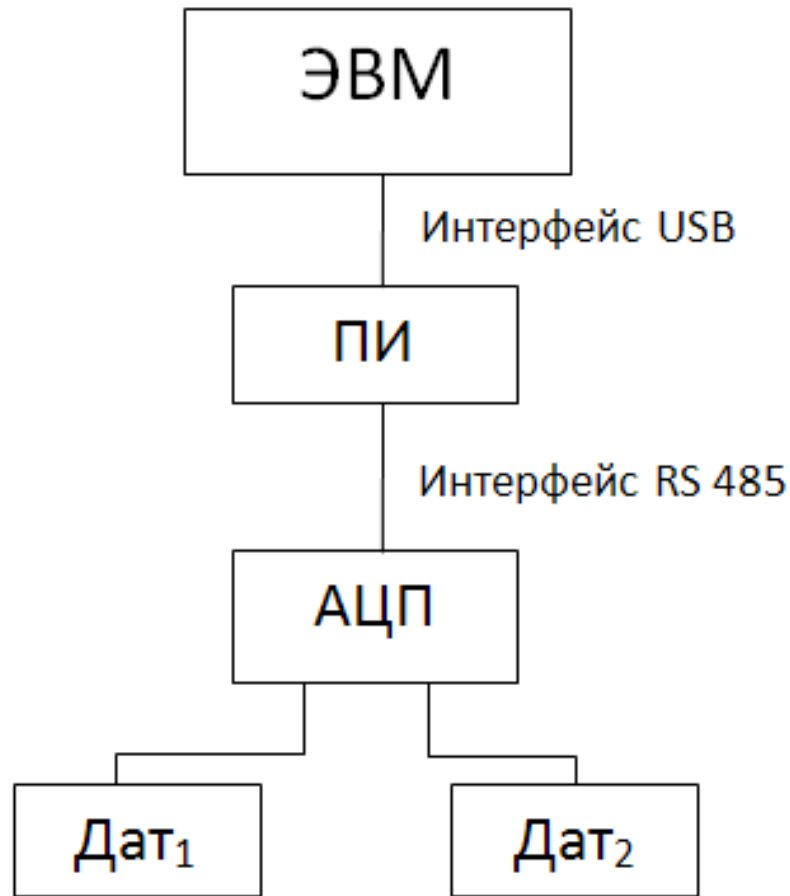
ВІДОБРАЖЕННЯ ПОТОЧНИХ ПОКАЗАНЬ приладів на екрані монітора в цифровому і графічному вигляді;

ВИДАЧА ПОВІДОМЛЕНЬ про вихід параметрів за задані межі;

АРХІВУВАННЯ отриманої інформації;

ПЕРЕГЛЯД АРХІВУ за будь-який проміжок часу.

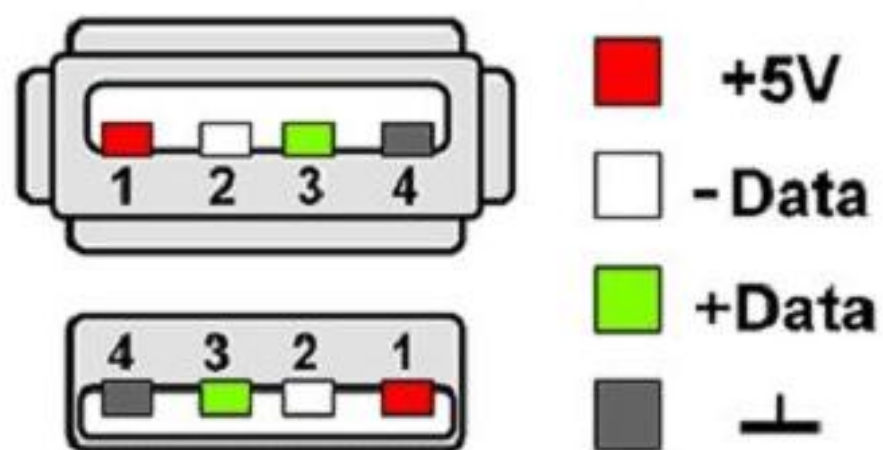
Простіша структурна схема САКС може мати вигляд:



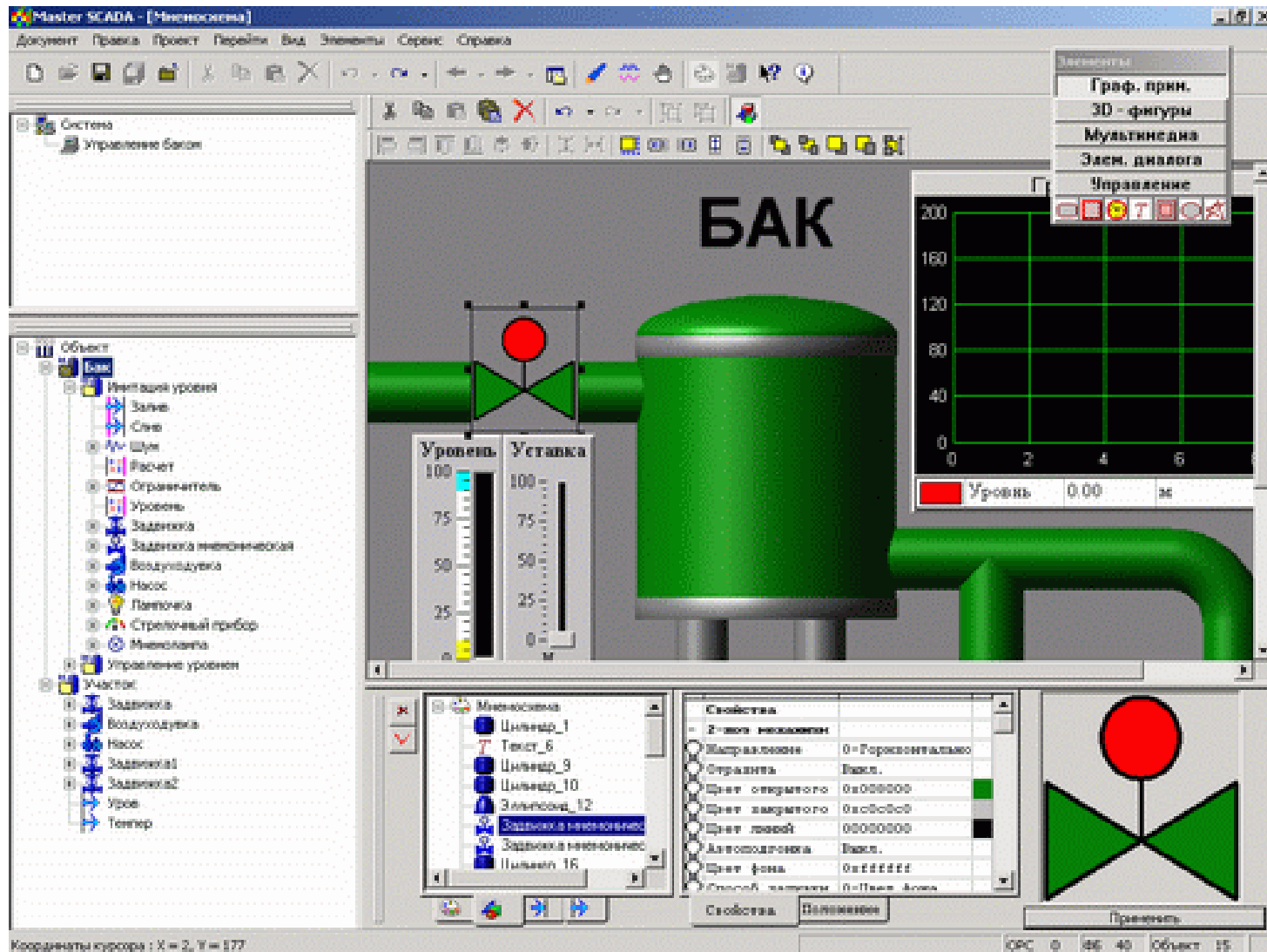
ПИ – перетворювач інтерфейсів;

АЦП – аналогове-цифровий перетворювач;

Дат – датчики технологічних параметрів.



# Застосування SCADA для регулювання параметрів об'єкту



### 3. SCADA

- *Supervisory Control And Data Acquisition*  
Диспетчерській контроль і збір даних

Інформацію, що надходить від датчиків в комп'ютер необхідно перетворити в зручний і наочний вид. Для цієї мети використовують програмні пакети під загальною назвою **SCADA**.

**SCADA** - це програмний пакет, призначений для забезпечення роботи в реальному часі систем збору, обробки, відображення та архівування інформації про об'єкт моніторингу або управління.

**SCADA** може бути частиною **САКС**, частиною **АСУ ТП**, а також частиною системи екологічного моніторингу, наукового експерименту, автоматизації будівлі і т.д.