



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»



УВЦ

ВУС 670200

«Метрологическое обеспечение  
вооружения и военной техники»



## Средства измерений военного назначения и их поверка

### Раздел № 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕТРОЛОГИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ ВВС

### Тема № 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СРЕДСТВАХ ИЗМЕРЕНИЙ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

# **Групповое занятие № 1**

## **«Войсковые средства измерений»**

### **ВОПРОСЫ:**

- 1. Измерительные преобразователи**
- 2. Общевоинские средства измерений**

# Цели занятия:

- 1) *Изучить измерительные преобразователи и общевойсковые средства измерения*
- 2) *Ознакомиться с принципом построения структурных схем автоматизированных измерительных систем*



## **Измерительными преобразователями (ИП)**

называются устройства, предназначенные для преобразования любых ФВ (неэлектрических, магнитных, электрических) в электрические сигналы.

**К общевойсковым средствам измерений** относят СИ, обладающие по своим ТТХ универсальностью применения в различных видах ВС РФ независимо от объекта измерения.

**Измерительные комплексы** бывают:

- *измерительные установки,*
- *измерительные информационные комплексы (системы)*

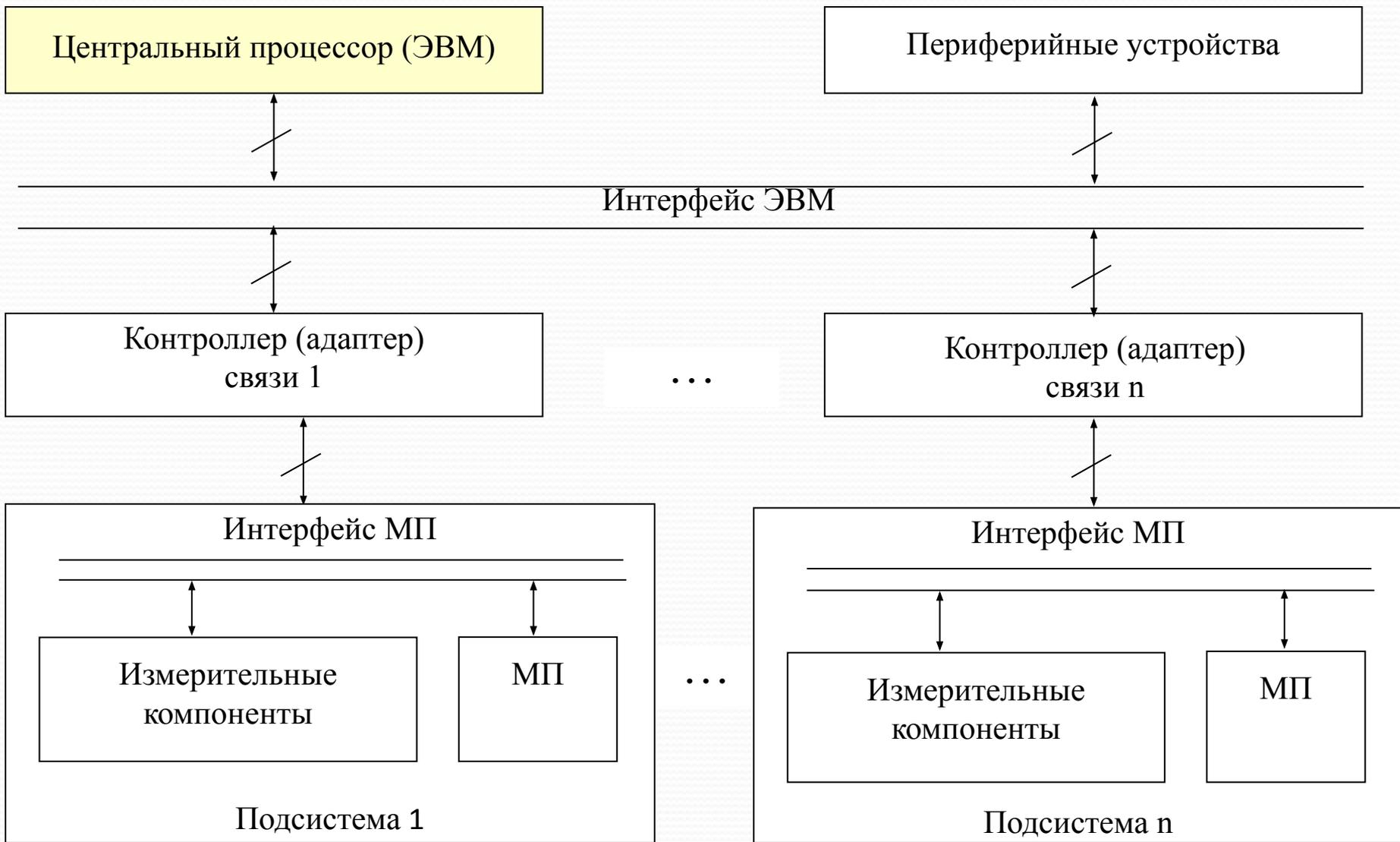
**Измерительная установка** – совокупность функционально объединённых СИ и вспомогательных устройств, предназначенная для выработки сигналов измерительной информации в форме удобной для её анализа оператором.

**Измерительный информационный комплекс (система - ИИС)** – совокупность измерительных, вычислительных (микроЭВМ, МП, МК) и вспомогательных устройств, соединённых между собой каналами связи и предназначенный для автоматизированного (автоматического) получения, обработки, отображения и передачи измерительной информации.

**ИИК (ИИС)** бывают:

- автоматизированный измерительный комплекс (система),
- измерительно-вычислительный комплекс,
- автоматизированные системы контроля,
- автоматизированные системы технической диагностики,
- системы распознавание образцов (идентификации)

# Измерительная информационная система - ИИС



# Вопрос №1

Измерительные  
преобразователи

По месту ИП в измерительной цепи:

- первичный;
- промежуточный;
- выходной

Масштабные ИП:

- шунты;
- добавочные резисторы;
- делители напряжения;
- аттенюаторы;
- усилители.

По роду  
измеряемой ФВ:

Преобразователи температуры;

Преобразователи давления;

Оптические преобразователи;

Преобразователи влажности

...

Гальваномагнитные ИП

# Преобразователи рода величины:

- преобразователи электрических величин в электрические:

- аналоговый сигнал - в аналоговый сигнал;
- цифровой код - в цифровой код (шифраторы);
- аналоговый сигнал - в цифровой код (АЦП);
- цифровой код - в аналоговый сигнал (ЦАП);
- напряжение – в частоту

- преобразователи неэлектрических величин в электрические

(терморезисторы, термопары, тензодатчики, фотоэлектрические преобразователи)

- преобразователи магнитных величин в электрические (индукционные, гальваномагнитные преобразователи (Холла, Гаусса))

- преобразователи электрических величин в неэлектрические.

(измерительные механизмы электромеханических приборов)



По выходной  
величине:

Генераторные;

Термопары;

Пьезоэлектрические  
преобразователи;

Фотоэлементы;

Параметрические

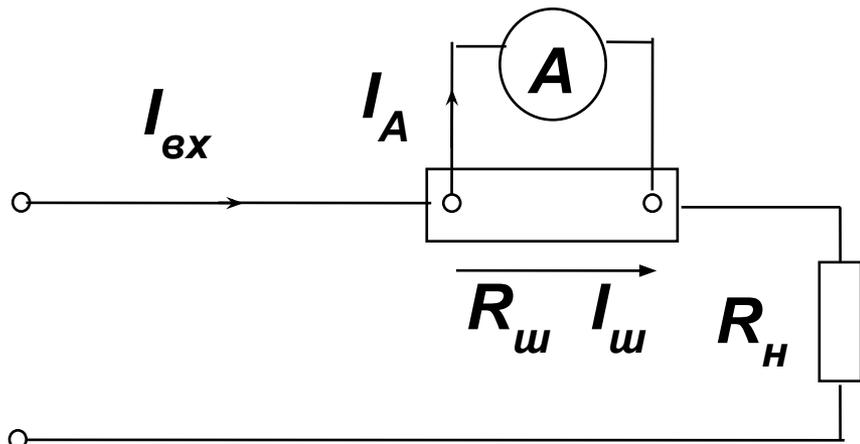
Термометры сопротивления;

Тензорезисторы;

Индуктивные преобразователи;

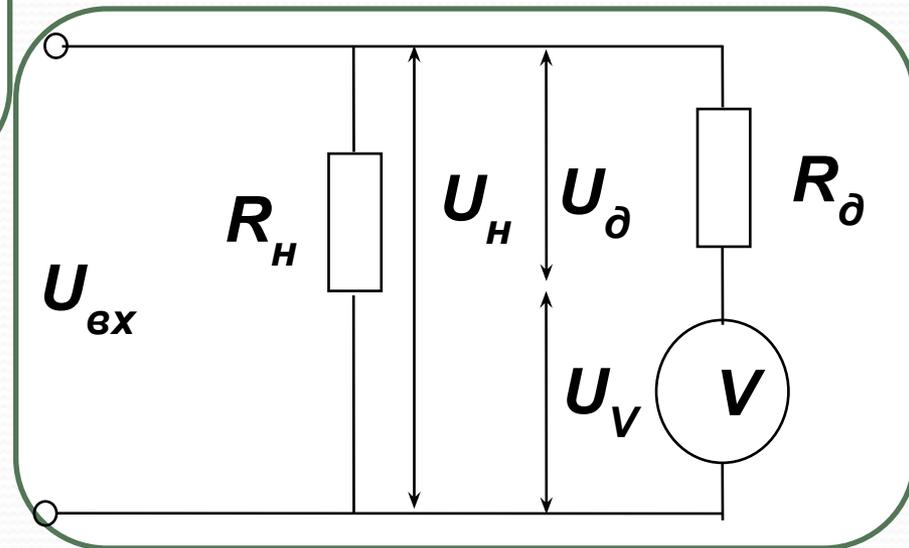
Фоторезисторы, фотодиоды

Гальваномагнитные ИП.



Коэффициент шунтирования:  $n = I_{\text{вх}} / I_{\text{А}}$

$$R_{\text{ш}} = R_{\text{А}} / (n - 1)$$

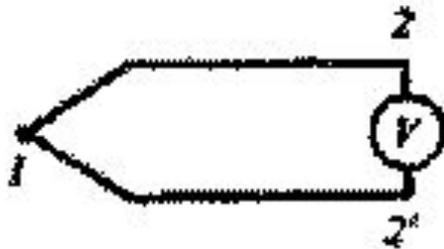


Коэффициент расширения по напряжению :

$$m = \frac{U_{\text{вх}}}{U_{\text{в}}}$$

$$R_{\text{д}} = R_{\text{в}} (m - 1)$$

# Термоэлектрические преобразователи (термопары)



Если температуры  $t^\circ$  спаев 1 и 2 одинаковы, то ток в термоэлектрической цепи отсутствует.

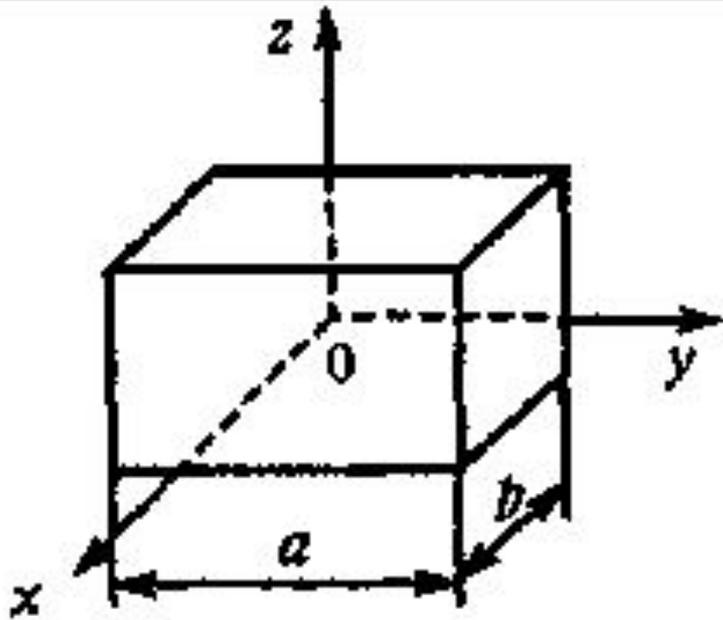
Если же температура одного из спаев (например, спая 1) выше, чем температура спая 2, то в цепи возникает термоэлектродвижущая сила (ТЭДС)  $E$ , зависящая от разности температур спаев:

$$E = f(t_1 - t_2)$$

Если поддерживать температуру спая 2 постоянной, то

$$E = f(t_1)$$

Чтобы ТЭДС термопары однозначно определялась температурой горячего спаев, необходимо температуру холодного спаев поддерживать всегда одинаковой



Пластина из кристалла кварца

Механическое воздействие на пластину вдоль оптической оси Oz появления зарядов не вызывает.

Если из кристалла кварца вырезать пластинку в форме параллелепипеда с гранями, расположенными перпендикулярно **оптической** Oz, **механической** Oy и **электрической** Ox осям кристалла, то при воздействии на пластину усилия  $F_x$ , направленного вдоль электрической оси Ox, на гранях x появляются заряды:

$$Q_x = K_n F_x$$

где  $K_n$  – пьезоэлектрический коэффициент (модуль).

При воздействии на пластину усилия  $F_y$  вдоль механической оси Oy, на тех же гранях x возникают заряды:

$$Q_y = K_n F_y a/b$$

где a и b – размеры граней пластины.

## Гальваномагнитные ИП.

Принцип работы основан на использовании гальваномагнитных эффектов, сущность которых заключается в изменении электрических параметров преобразователей под воздействием преобразуемого магнитного поля, в частности, в изменении электрического сопротивления (*эффект Гаусса*) или появлении э. д. с. (*эффект Холла*).

Основными разновидностями гальваномагнитных преобразователей являются соответственно ***преобразователи Холла*** (генераторные ИП) и ***магниторезисторные преобразователи*** (параметрические ИП ).

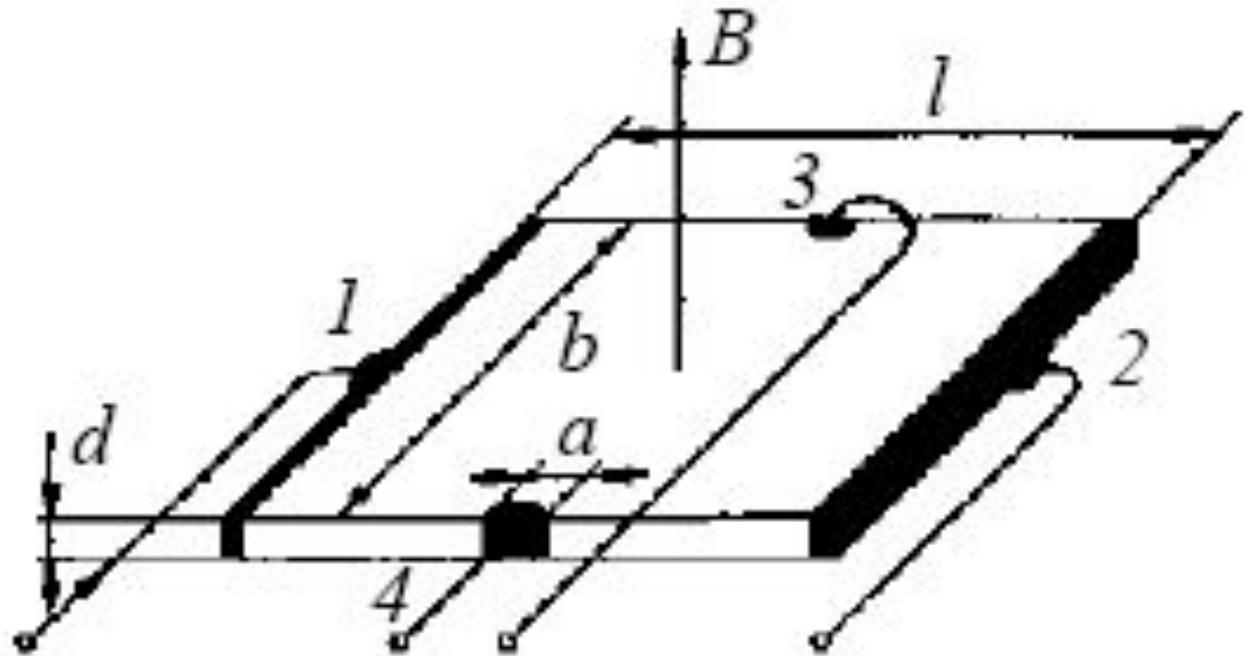
## Эффект Холла

Если пластину из проводникового или полупроводникового материала, вдоль которой протекает электрический ток, расположить в однородном магнитном поле таким образом, чтобы вектор индукции был перпендикулярен направлению тока, то между точками поверхности пластинки, расположенными на прямой перпендикулярной как линиям тока, так и вектору магнитной индукции возникает разность потенциалов.

## Эффект Эттингсгаузена

Возникновение поперечной разности температур между гранями пластины, которая помещена в магнитное поле и через которую протекает электрический ток называется эффектом Эттингсгаузена.

Разница температур приведёт к появлению термо-э.д.с. эффекта Эттингсгаузена, знак которой, как и знак э. д. с. Холла, зависит от направления тока, магнитного поля и знака носителей заряда.



1, 2 - широкие токовые электроды;  
 3, 4 - холловские электроды;  
 $l, b, d$  - длина, ширина, толщина;  
 $B$  - индукция поперечного магнитного поля.

Тогда 
$$E_x = R_x \frac{I_x B}{d} \cos \alpha [B],$$

где  $R_x$  - постоянная Холла;  $I_x$  - сила тока;  
 $\alpha$  - угол между  $B$  и нормалью.

Для проводников из чистых металлов зависимость их электрического сопротивления от температуры имеет вид:

- в области температур от  $-200^{\circ}\text{C}$  до  $0^{\circ}\text{C}$ :

$$R_t = R_0 [1 + At + Bt^2 + Ct(t - 100)t^3]$$

- от  $0^{\circ}\text{C}$  до  $630^{\circ}\text{C}$ :

$$R_t = R_0 [1 + At + Bt^2]$$

где  $R_t$ ,  $R_0$  – сопротивление проводника при температуре  $t$  и  $0^{\circ}\text{C}$ ;

$A$ ,  $B$ ,  $C$  – коэффициенты;  $t$  – температура,  $^{\circ}\text{C}$ .

- от  $0^{\circ}\text{C}$  до  $180^{\circ}\text{C}$  зависимость  $R$  от  $t^{\circ}$  описывается приближенной формулой:

$$R_t = R_0 [1 + \alpha t]$$

где  $\alpha$  – температурный коэффициент сопротивления материала проводника (ТКС).

Для проводников из чистого металла  $\alpha \approx 6 \cdot 10^{-3} \dots 4 \cdot 10^{-3}$  град $^{-1}$ .

Различают проволочные и полупроводниковые ТС

## Проволочные ТС



ЧЭ проволочного ТС

ЧЭ представляет собой тонкую проволоку из чистого металла. Промышленностью выпускаются платиновые, никелевые и медные ТС.

## Полупроводниковые ТС (термисторы)

ЧЭ представляют собой бусинки, диски или стержни из полупроводникового материала.

Термисторы обычно имеют сопротивление от единиц до сотен килоом; их ТКС в рабочем диапазоне температур на порядок больше, чем у проволочных термометров. В качестве материалов для рабочего тела термисторов используют смеси оксидов никеля, марганца, меди, кобальта, которые смешивают со связующим веществом, придают ему требуемую форму и спекают при высокой температуре.

## Тензочувствительные преобразователи (тензорезисторы)

В основе работы тензорезисторов лежит свойство металлов и полупроводников изменять свое электрическое сопротивление под действием приложенных к ним сил.

В пределах упругих деформаций относительное изменение сопротивления проволоки связано с ее относительным удлинением соотношением:

$$\Delta R/R = K_T \Delta l/l$$

где  $l, R$  – начальные длина и сопротивление проволоки;

$\Delta l, \Delta R$  – приращение длины и сопротивления;

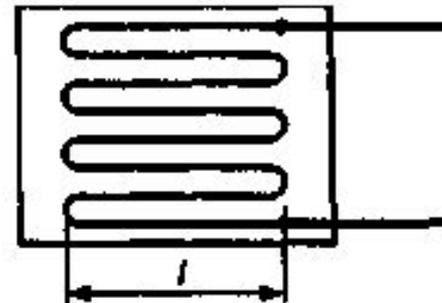
$K_T$  – коэффициент тензочувствительности.

Для металлических проволок из различных металлов  $K_T = 1...3,5$

Различают проволочные и полупроводниковые  
тензорезисторы

## Проволочные тензорезисторы

Наиболее употребительным материалом для изготовления проволочных тензорезисторов является константановая проволока диаметром 20 ... 30 мкм.

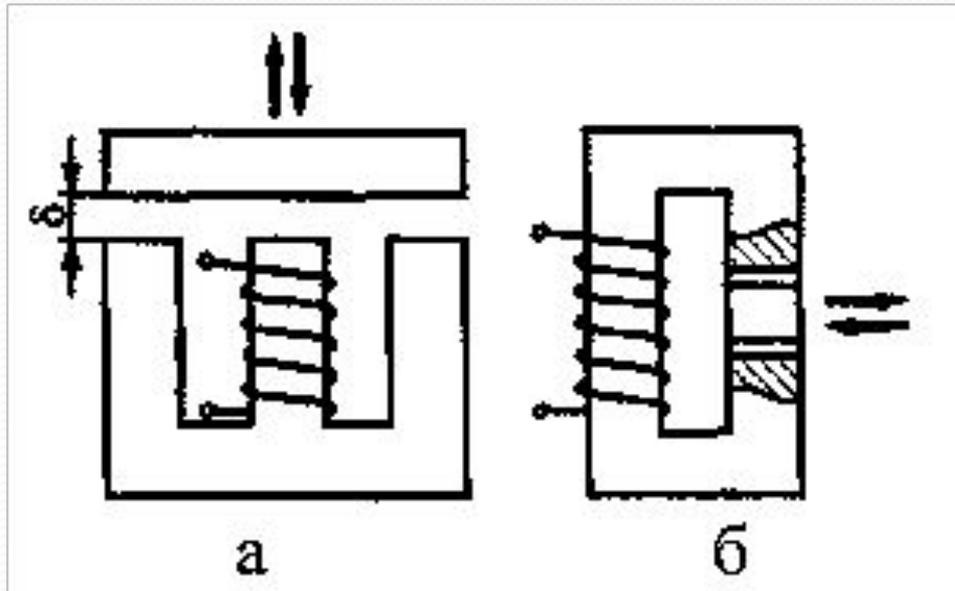


Решетка на подложке

Основными характеристиками тензорезисторов являются :  
номинальное сопротивление  $R$ , база  $l$  и коэффициент тензочувствительности  $K_T$ . Промышленностью выпускается широкий ассортимент тензорезисторов с величиной базы от 5 до 30 мм, номинальными сопротивлениями от 50 до 2000 Ом, с коэффициентом тензочувствительности  $2 \pm 0,2$ .

## Полупроводниковые тензорезисторы

Наиболее сильно тензоэффект выражен у германия, кремния и др. Основным отличием полупроводниковых тензорезисторов от проволочных является большое (до 50 %) изменение сопротивления при деформации благодаря большой величине коэффициента тензочувствительности.



Индуктивные  
преобразователи  
перемещений

Для получения возможно большей индуктивности магнитопровод катушки и якорь выполняются из ферромагнитных материалов. При перемещении якоря (связанного, например, со щупом измерительного устройства) изменяется индуктивность катушки и, следовательно, изменяется ток, протекающий в обмотке.

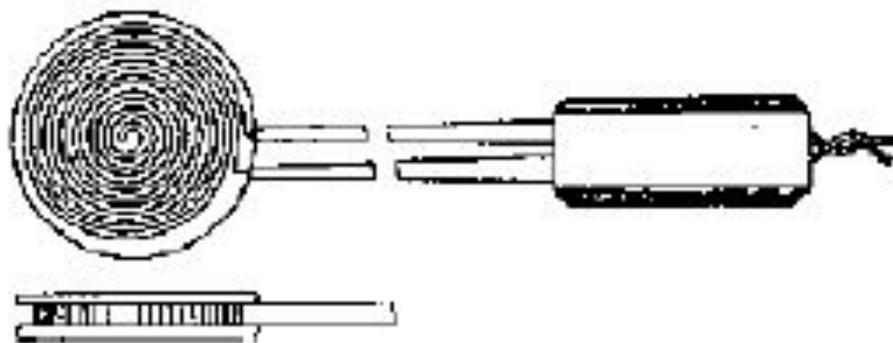
Принцип работы основан на использовании гальваномагнитных эффектов, сущность которых заключается в изменении электрических параметров преобразователей под воздействием преобразуемого магнитного поля, в частности, в изменении электрического сопротивления (*эффект Гаусса*).

Такие ИП называются ***магниторезисторными преобразователями*** (параметрические ИП ).

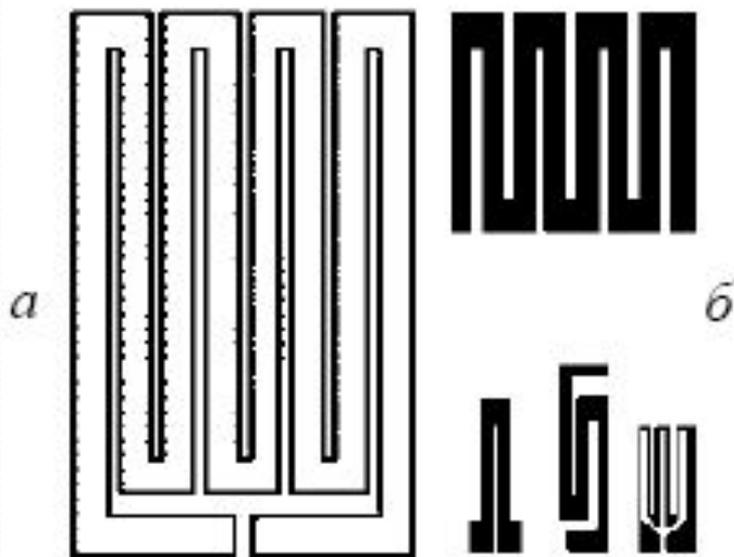
## Эффект Гаусса

Явление изменения сопротивления проводников и полупроводников, помещенных в магнитное поле, называют магниторезистивным эффектом

К наиболее изученным и используемым магниторезистивным преобразователям относятся *магниторезисторы, магнитодиоды, биполярные и полевые магнитотранзисторы* преобразователи с повышенными областями рекомбинации (*гальваномагниторекомбинационные преобразователи*).



Магниторезистор из висмутовой спирали



Плоские плёночные магниторезисторы

Одним из основных направлений развития первичных измерительных преобразователей является повышение степени их интеграции со схемами обработки сигналов измерительной информации .

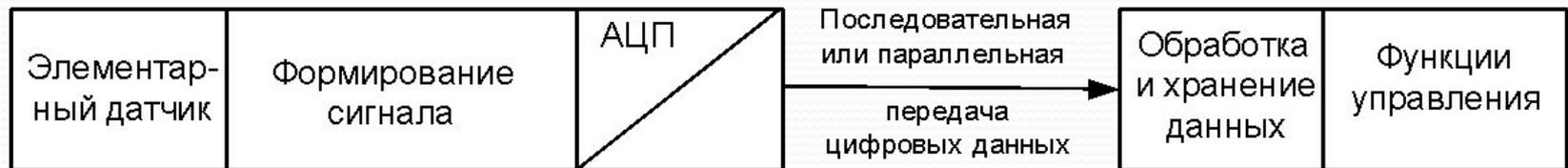
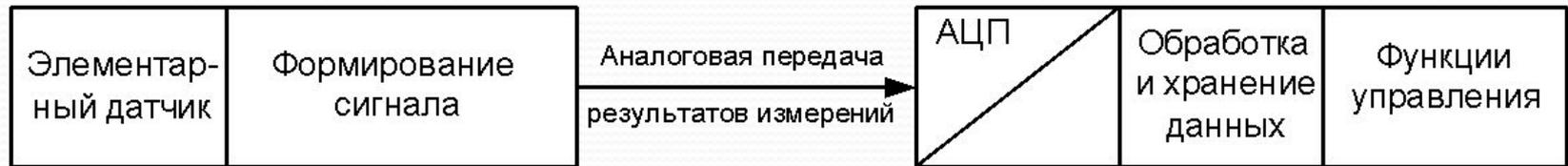
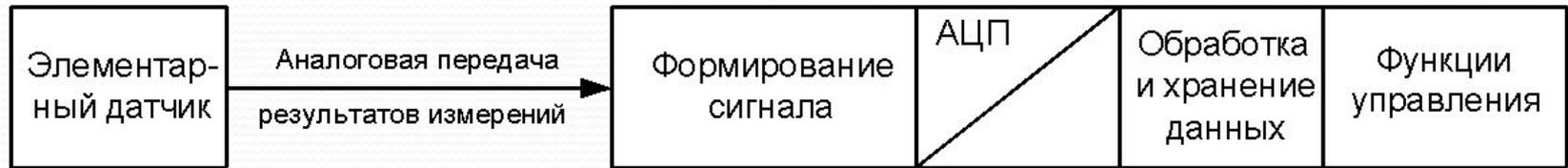
Комбинацию интегрированных первичных измерительных преобразователей с микропроцессорами называют **интеллектуальными датчиками**.

Сигнал измерительной информации обрабатывается в микропроцессоре таким образом, что на его выходе образуется величина, которую можно использовать для управления исполнительными органами.

# Степени интеграции первичных измерительных преобразователей со схемами обработки сигналов измерительной информации

Функции датчика

Функции системы управления



# Вопрос №2

Общевойсковые средства  
измерений

По виду измеряемой физической величины  
общевойсковые СИ классифицируют :

Радиоизмерительные (электронные) СИ

СИ электрических и магнитных величин

СИ температуры; СИ давления

СИ расхода жидкости и газов

СИ параметров движения и массы

СИ линейных и угловых величин

СИ состава и свойств жидкостей и газов

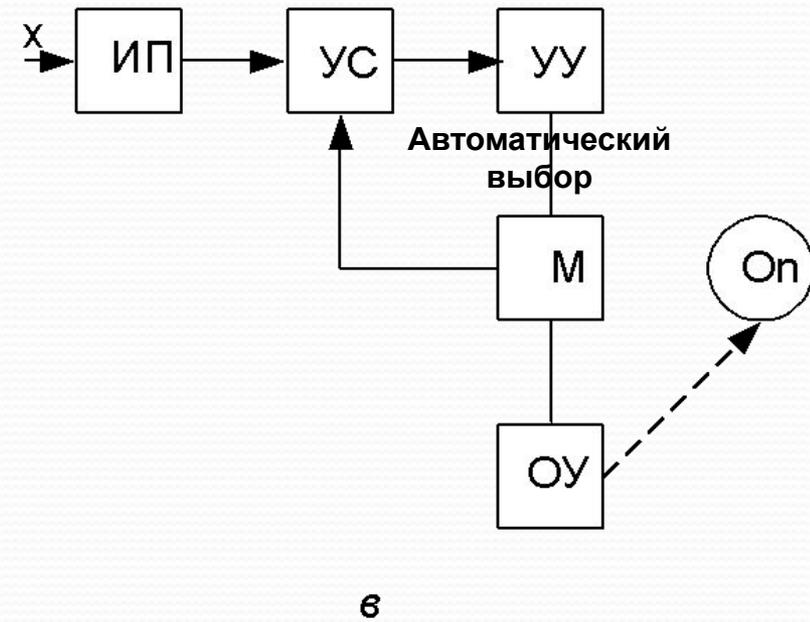
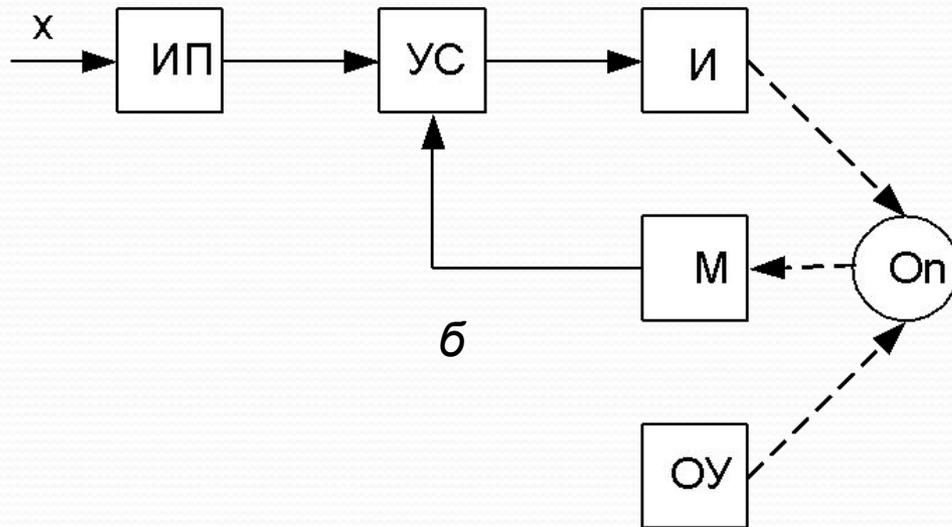
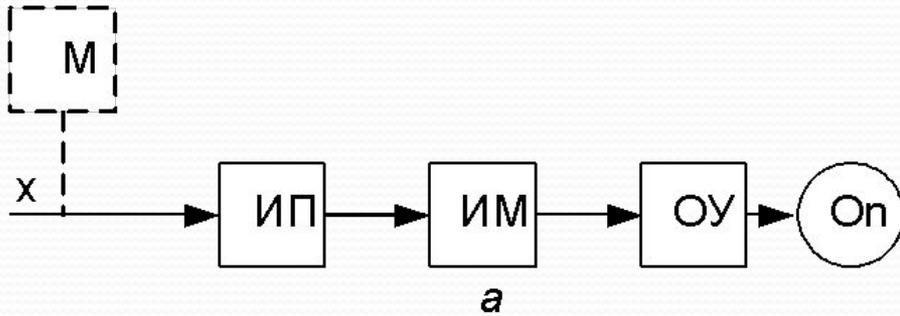
СИ параметров ионизирующих излучений

СИ метеорологических величин

Их делят на **цифровые** и **аналоговые**

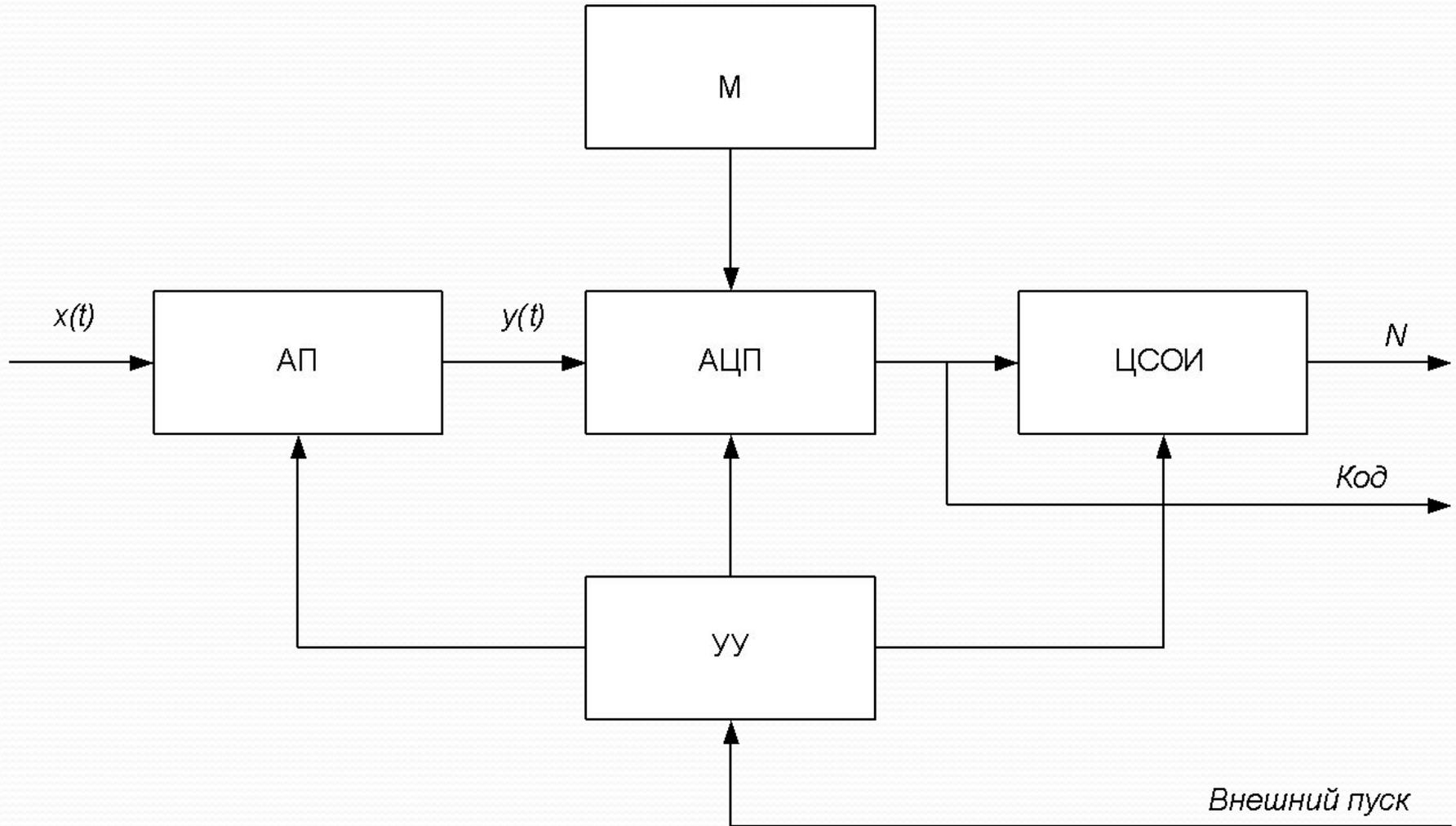
# Структурные схемы аналоговых измерительных приборов:

*а* – прямого действия; *б* – сравнения;  
*в* – автоматического сравнения



$Оп$  - оператор;  $ОУ$  - отсчётное устройство;  $ИМ$  - измерительный механизм;  
 $М$  - мера;  $УС$  - устройство сравнения;  $И$  - индикатор

# Обобщенная структурная схема цифрового измерительного прибора



**АП** - аналоговый преобразователь ; **М** - мера ; **ЦСОИ** - цифровое средство отображения информации ; **УУ** - устройство управления