

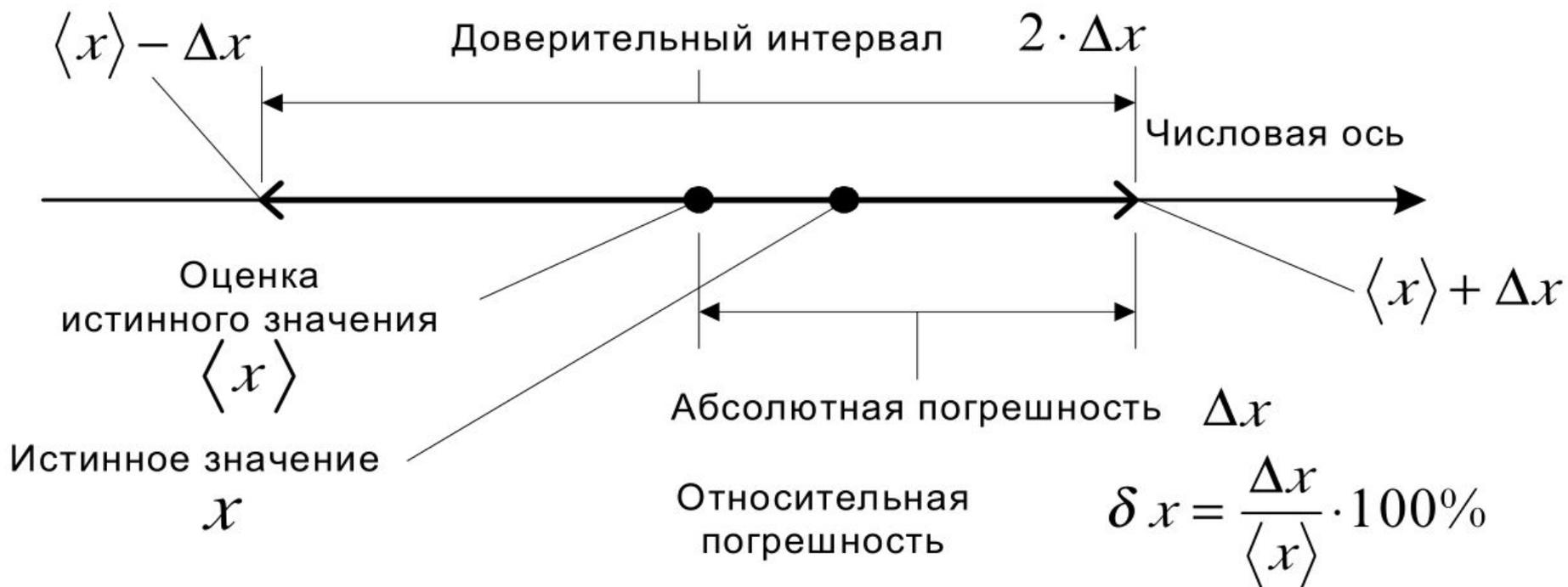


**ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**
ИШ ФОРМИРУЕМ
БУДУЩЕЕ

Тема 1

Введение. Типы измерений. Понятие о погрешности

1. Шишмарев, Владимир Юрьевич. Технические измерения и приборы : учеб. для студентов вузов, обучающихся по направлению подгот. "Автоматизир. технологии и пр-ва" / В. Ю. Шишмарев. - Москва : Академия, 2012. - 383 с.
2. Технологические измерения и приборы / В. Д. Таланов [и др.]; под ред. А. С. Ключева. - 2-е изд. , перераб. и доп.. - М. : [б. и.], 2002. - 209 с.
3. Миронов, Э. Г. Погрешности измерений [Текст]: учеб. пособие / Э. Г. Миронов; науч. ред. Н. Н. Белоусов; УГТУ-УПИ. – Екатеринбург, 1994. – 84 с.
4. Широков, Алексей Алексеевич. Системы управления химико-технологическими процессами. Схемы и примеры автоматизации [Электронный ресурс] : метод. указания к курсовым работам / ВятГУ, БФ, каф. БТ ; А. А. Широков. - Киров : [б. и.], 2009
5. Широков, Алексей Алексеевич. Системы управления химико-технологическими процессами [Электронный ресурс] метод. указания к курсовым работам: / А. А. Широков ; ВятГУ, БФ, каф. БТ. - Киров : [б. и.], 2009



- Прямые измерения:
 - ✓ метод непосредственной оценки;
 - ✓ дифференциальный (разностный) метод;
 - ✓ метод противопоставлений;
 - ✓ нулевой (компенсационный) метод.
- Косвенные измерения.
- Совместные измерения.
- Совокупные измерения.

- По источнику возникновения:
 - ✓ метода;
 - ✓ инструментальная;
 - ✓ субъективная.
- От условия проведения измерения:
 - ✓ основная;
 - ✓ дополнительная.
- По характеру проявления:
 - ✓ систематическая;
 - ✓ случайная;
 - ✓ грубая (промах).

- От временного характера измеряемой величины:
 - ✓ статическая
 - ✓ динамическая.
- По способу выражения:
 - ✓ абсолютная;
 - ✓ относительная;
 - ✓ приведенная.

□ Абсолютная погрешность:

$$\Delta = X - X_0$$

$$\Delta = X - X_{\text{д}}$$

□ Относительная погрешность:

$$\delta = \frac{\Delta}{X_0} \cdot 100\%$$

$$\delta = \frac{X - X_{\text{д}}}{X_{\text{д}}} \cdot 100\%$$

□ Приведенная погрешность:

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_N} \cdot 100\%$$

- Для приборов с односторонней шкалой:

$$X_N = X_{100\%}$$

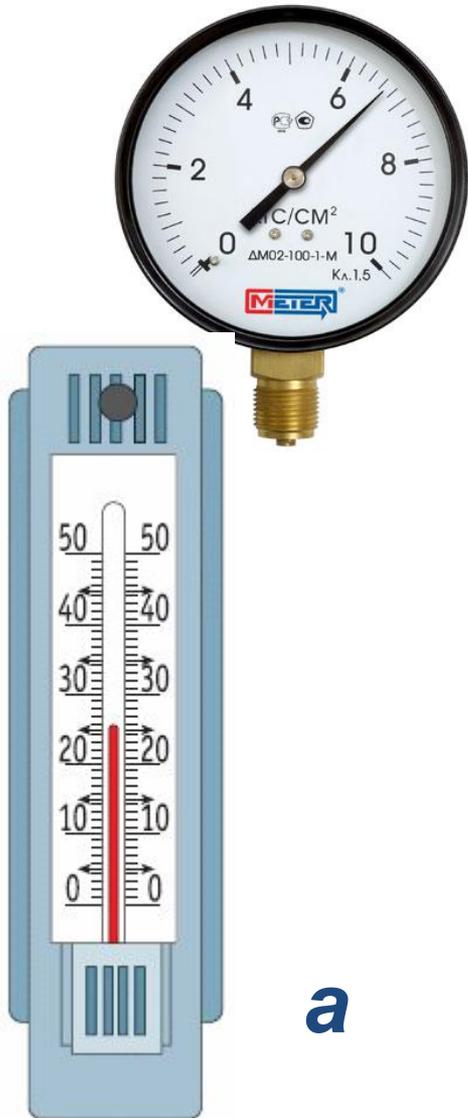
- Для приборов с двусторонней шкалой:

$$X_N = X_{100\%} + X_{0\%}$$

- Для приборов с безнулевой шкалой:

$$X_N = X_{100\%} - X_{0\%}$$

Шкалы приборов: а – односторонняя; б – двусторонняя; в - безнулевая



Обозначение классов точности по ГОСТ 8.401-80 «Классы точности средств измерений»

Форма выражения погрешности	Пределы допускаемой основной погрешности	Пределы допускаемой основной погрешности, %	Обозначение класса точности	
			в документации	на средствах измерений
Приведенная по п. 2.3.2	По формуле (3): - если нормирующее значение выражено в единицах величины на входе (выходе) средств измерений (пп. 2.3.3 - 2.3.5); - если нормирующее значение принято равным длине шкалы или ее части (п. 2.3.6)	$\gamma = \pm 1,5$	Класс точности 1,5	1,5
		$\gamma = \pm 0,5$	Класс точности 0,5	0,5 ▽
Относительная по п. 2.3.8	По формуле (4)	$\delta = \pm 0,5$	Класс точности 0,5	0,5 ○
	По формуле (5)	$\delta = \pm \left[0,02 + 0,01 \left(\left \frac{X_x}{x} \right \right) - 1 \right]$	Класс точности 0,02/0,01	0,02/0,01
Абсолютная по п. 2.3.1	По формуле (1) или (2)		Класс точности М	М
Относительная по пп. 2.3.8 и 3.1.1			Класс точности С	С

Международная рекомендация № 34 «Обозначение классов точности средств измерений»

Форма выражения погрешности	Пункт рекомендации	Класс точности или предел погрешности (примеры)	Обозначение класса точности (для данного примера).
Абсолютная	2.2	Класс М	М
Приведенная, если нормирующее значение выражено в единицах измеряемой величины	2.3.2 а, б, г, д	$\gamma = \pm 1.5\%$	1.5
Приведенная, если нормирующее значение принято равным длине шкалы	2.3.2 в	$\gamma = \pm 0.5 \%$	0.5
Относительная постоянная	2.4.2	$\delta = \pm 0.5 \%$	0.5
Относительная, возрастающая с уменьшением измеряемой величины	2.4.2	$\delta = \pm \left[0.02 + 0.01 \left(\frac{x_k}{x} - 1 \right) \right] \%$	0.02/0.01



**ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**
ИШ ФОРМИРУЕМ
БУДУЩЕЕ

Тема 2

Средства измерений и ИХ ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

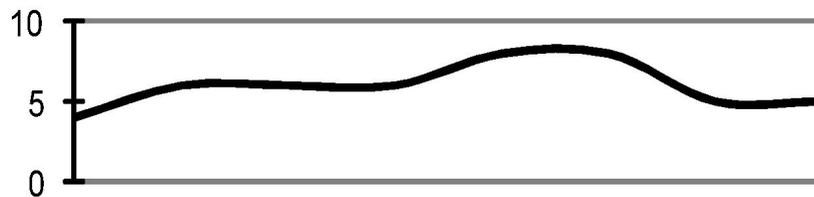


Средства измерений представляют собой совокупность технических средств, используемых при различных измерениях и имеющих нормированные метрологические свойства, т.е. отвечающих требованиям метрологии в части единиц и точности измерений, надежности и воспроизводимости получаемых результатов, а также требованиям к их размерам и конструкции.

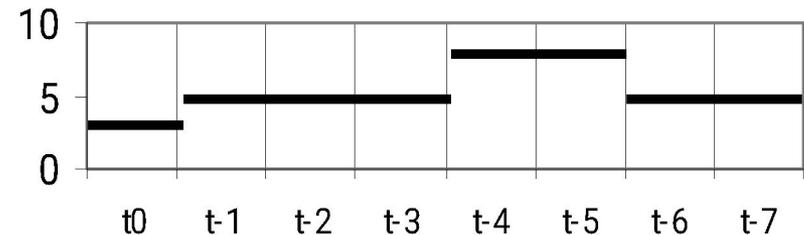
- мера;
- измерительные приборы;
- измерительные преобразователи;
- измерительные установки;
- информационно-измерительные системы.

- ✓ **Аналоговые** - это приборы, показания которых являются непрерывной функцией.
- ✓ **Цифровые** - это приборы, показания которых являются дискретными и представляются в цифровой форме.

Непрерывный сигнал



Дискретный сигнал





*Аналоговый
прибор*

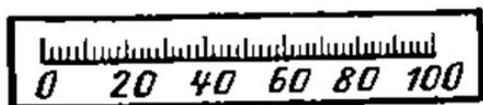


*Цифровой
прибор*

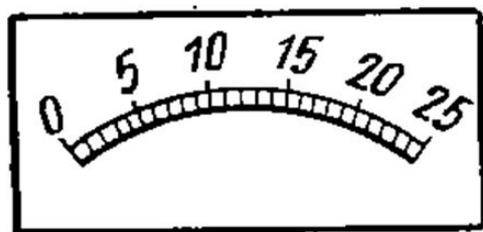
Измерительные приборы:

- ✓ показывающие;
- ✓ самопишущие;
- ✓ комбинированные;
- ✓ суммирующие и интегрирующие.

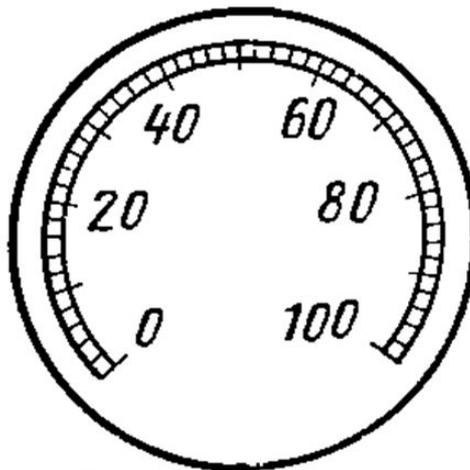
Шкалы: а – прямолинейная; б – дуговая;
в – круглая равномерная; г – профильная;
д – барабанная; е – круговая неравномерная



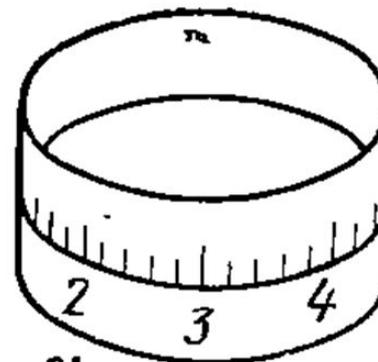
а)



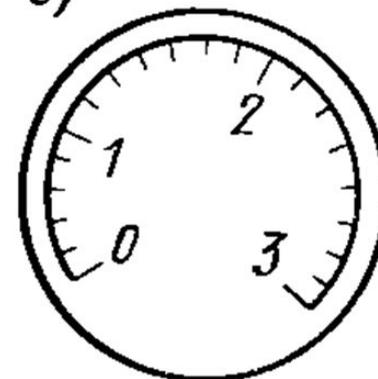
б)



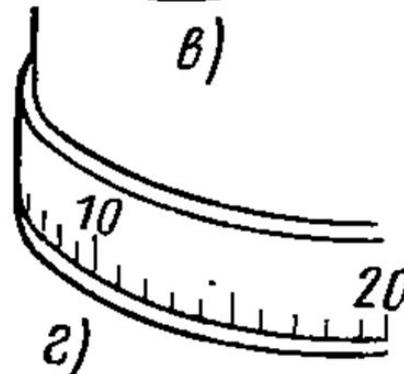
в)



д)



е)



г)

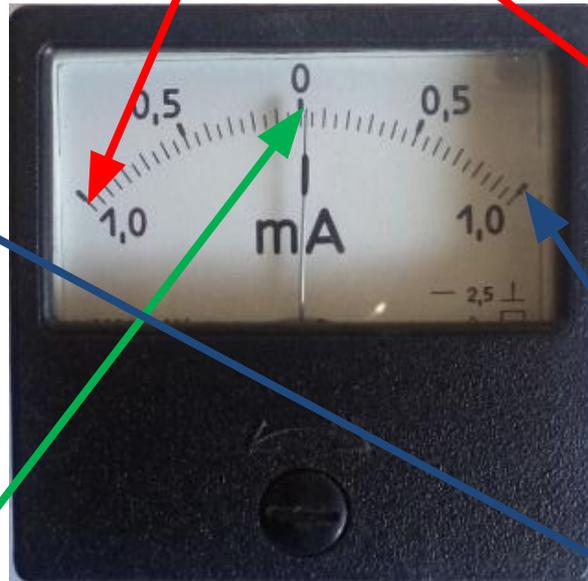
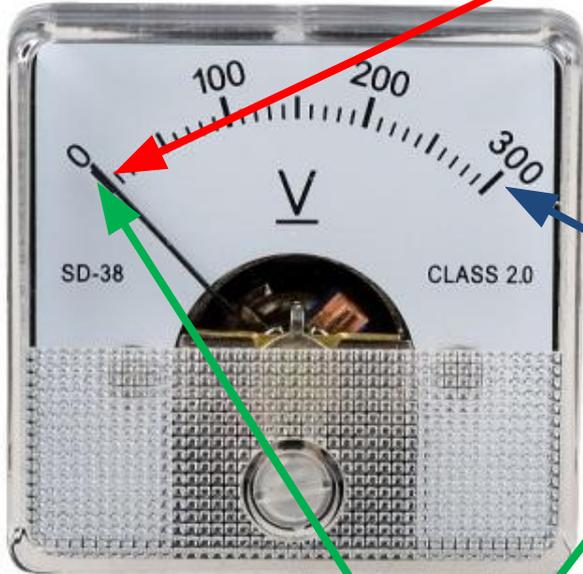
Шкалы приборов: а – односторонняя; б – двусторонняя; в – безнулевая

Начало шкалы

а

б

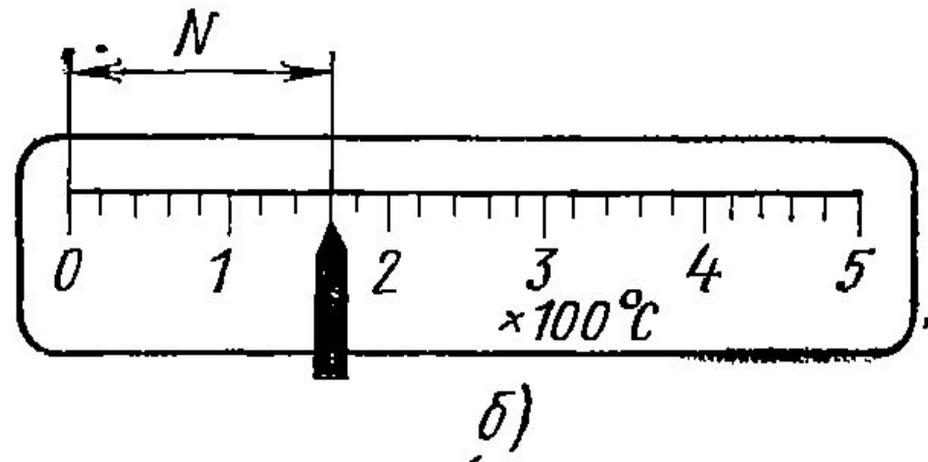
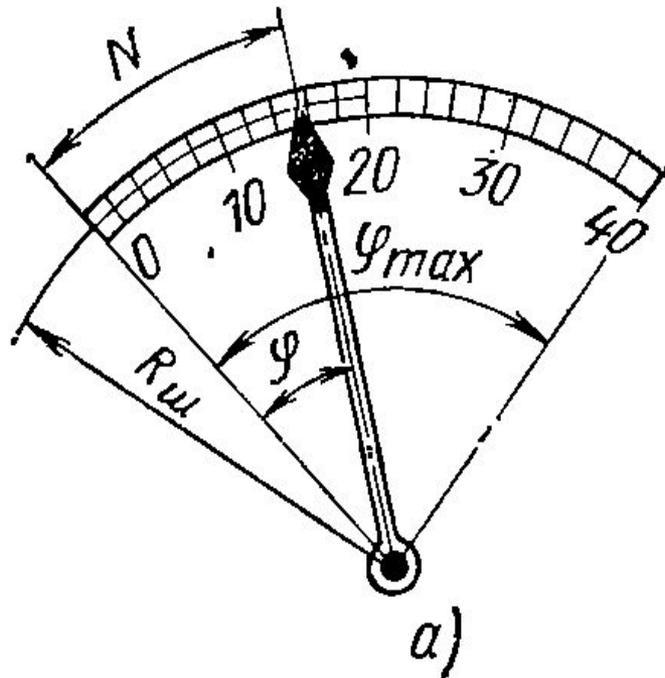
в



Ноль шкалы

Конец шкалы

Отсчетные устройства со шкалой: а – дуговой; б – прямоугольной

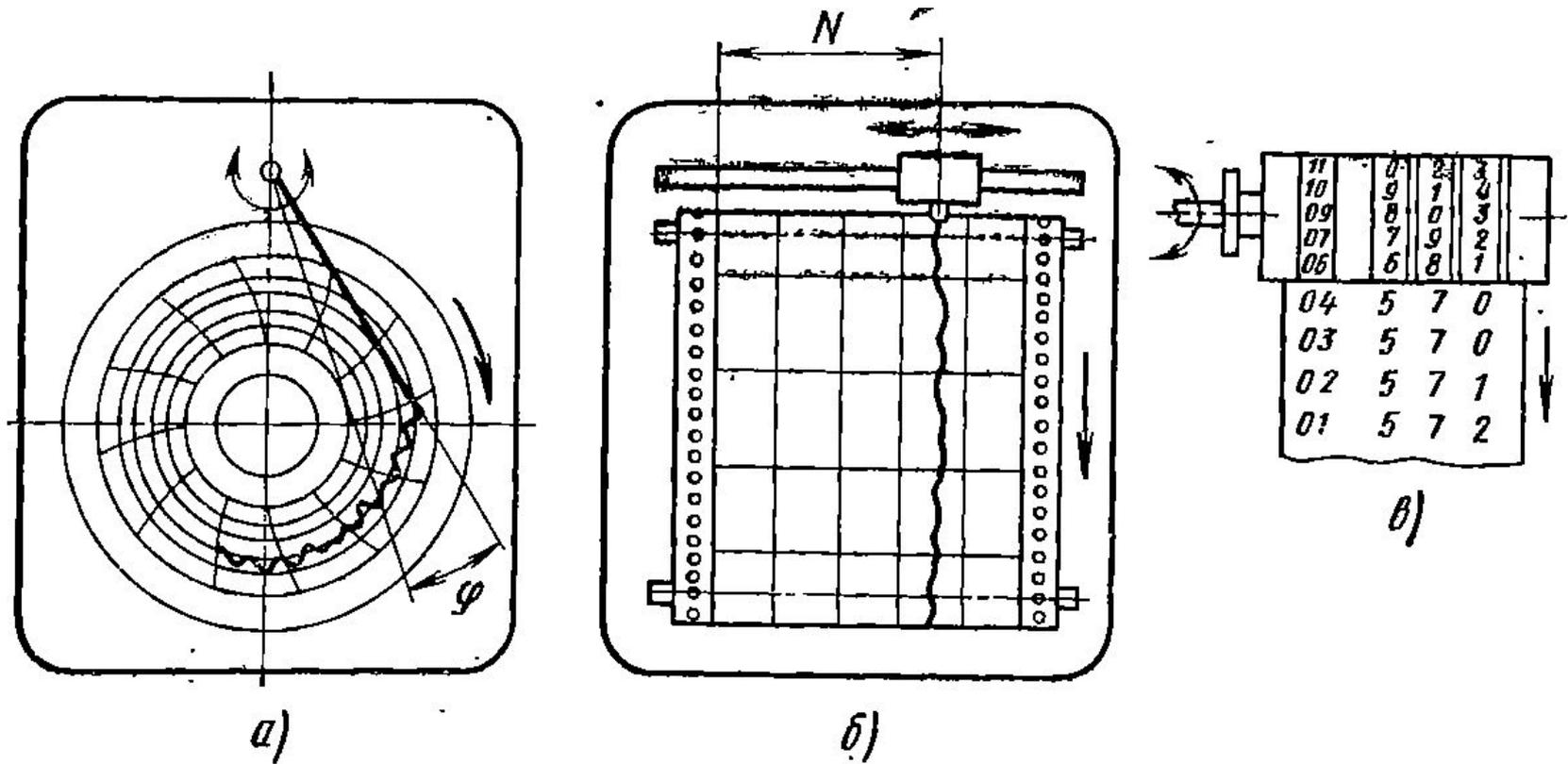


$$q = f(\varphi)$$

$$N = \varphi \cdot R_{ш}$$

$$q = f_1(N)$$

Самопишущие приборы: а – с записью в полярных координатах на дисковой диаграмме; б – с записью в прямоугольных координатах на ленточной диаграмме; в – с печатающим устройством



- ✓ рабочие средства измерения;
- ✓ образцовые средства измерения;
- ✓ ЭТАЛОНЫ.

- ✓ диапазон измерений;
- ✓ точность средств измерений;
- ✓ цена деления;
- ✓ разрешающая способность измерительного прибора;
- ✓ время установления;
- ✓ стабильность средства измерений;
- ✓ габаритные размеры, масса, потребляемая мощность.

- ✓ Пределы измерений прибора должны охватывать все необходимые значения измеряемой величины.
- ✓ Класс точности измерительного прибора должен соответствовать решаемой при измерении задаче.
- ✓ Измерительный прибор не должен влиять на работу измеряемого объекта.
- ✓ Измерительные приборы должны удовлетворять требованиям эргономики и техники безопасности.



**ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**
ИШ ФОРМИРУЕМ
БУДУЩЕЕ

Тема 3

Методы и приборы измерения давления

Елькин Олег Валентинович, к.х.н., доцент
кафедры ТЭП

Из \ В	атм	мм рт.ст.	м вод.ст.	кгс/см ²	бар	Па	КПа	МПа
1 атм		760,0	10,332	1,033	1,0132	101,325x10 ³	101,325	0,1013
1 мм рт.ст.	1,316x10 ⁻³		13,595x10 ⁻³	1,359x10 ⁻³	1,333x10 ⁻³	133,322	0,1333	0,1333x10 ⁻³
1 м вод.ст.	96,78x10 ⁻³	73,556		0,1	98,07x10 ⁻³	9,807x10 ³	9,807	9,807x10 ⁻³
1 кгс/см²	0,9678	735,561	10,0		0,9807	98,066x10 ³	98,066	98,066x10 ⁻³
1 бар	0,9869	750,064	10,1972	1,0197		100x10 ³	100	0,1
1 Па	9,869x10 ⁻⁶	7,501x10 ⁻³	101,972x10 ⁻⁶	10,1972x10 ⁻⁶	10x10 ⁻⁶		10 ⁻³	10 ⁻⁶
1 КПа	9,869x10 ⁻³	7,501	101,972x10 ⁻³	10,197x10 ⁻³	10x10 ⁻³	10 ³		10 ⁻³
1 МПа	9,869	7,501x10 ³	101,972	10,197	10	10 ⁶	10 ³	

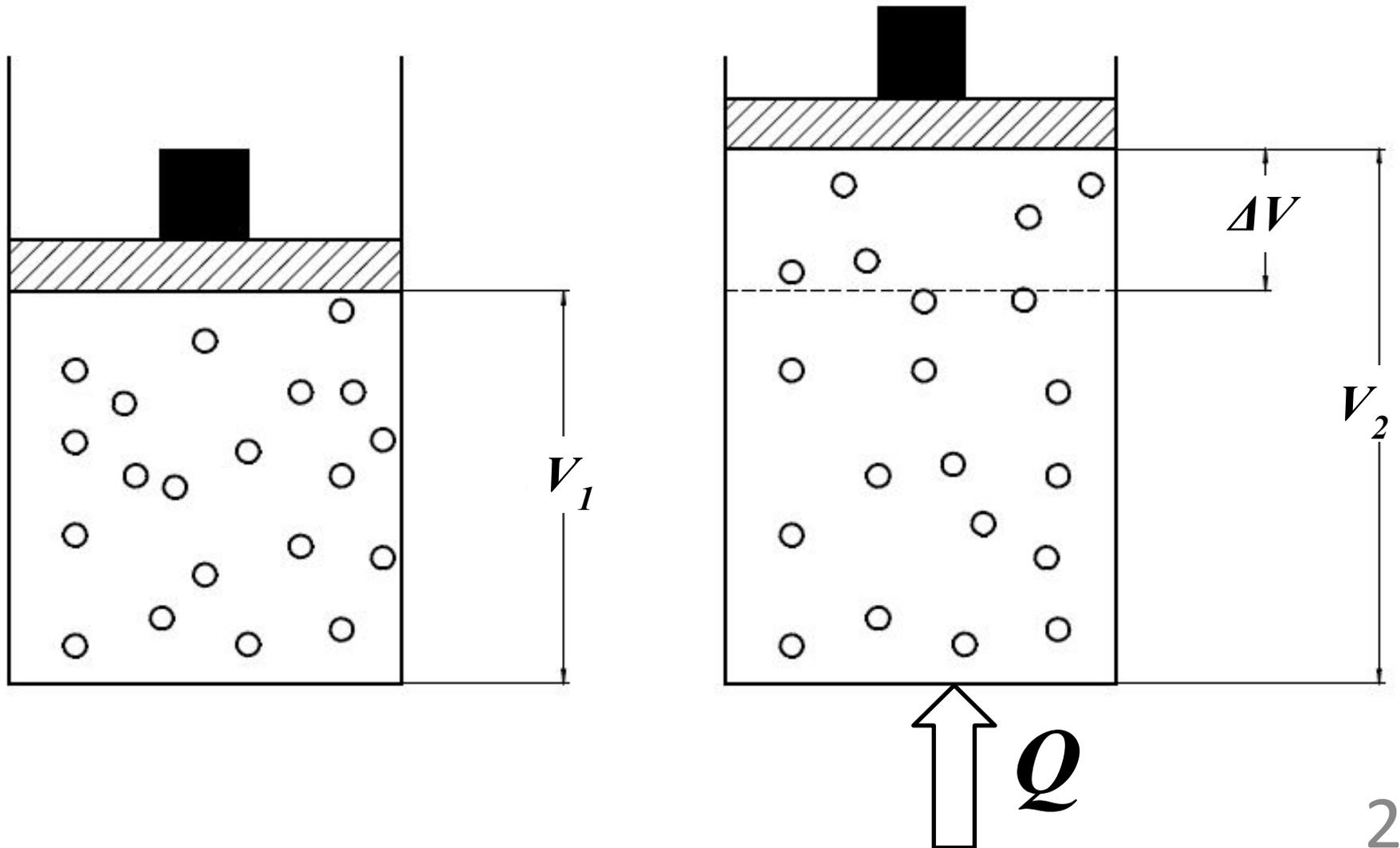
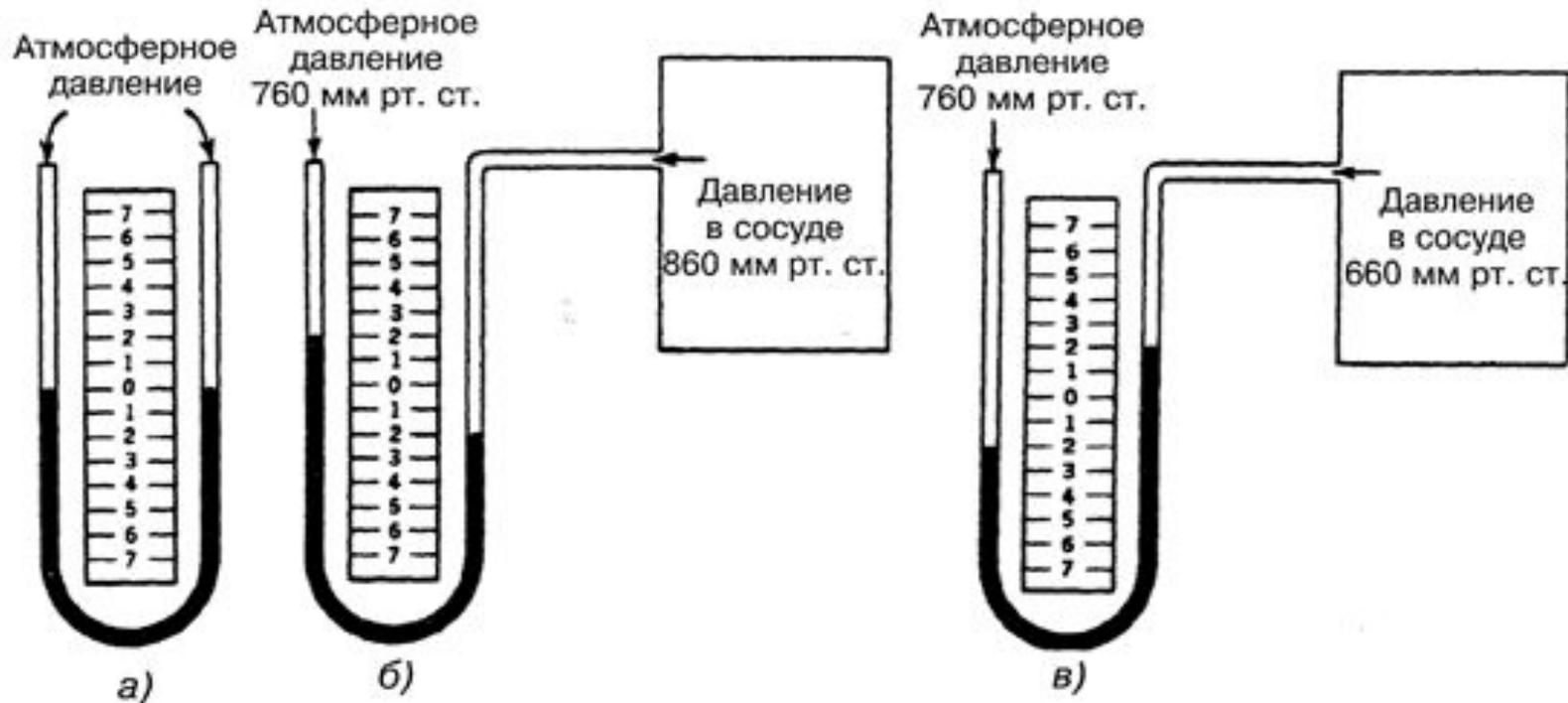


Схема для измерения давления:

а – атмосферное давление; б – избыточное давление; в – жение



$$P_{изб} = P_{абс} - P_{бар}$$

Избыточное давление

$$P_{абс} > P_{бар}$$

Давление разряжения

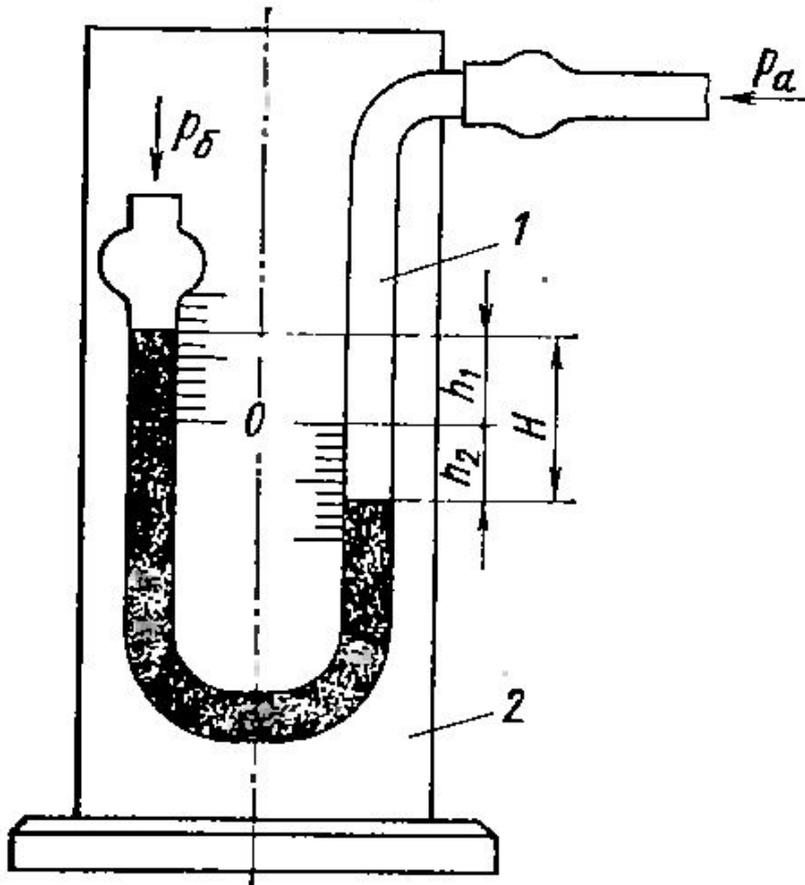
$$P_{абс} < P_{бар}$$

Классификация приборов для измерения давления по принципу действия

1.	Жидкостные	Основаны на уравнивании давления столбом жидкости
2.	Пружинные	Давление измеряется по величине деформации упругого элемента
3.	Электрические	Основаны на преобразовании давления в какую-либо электрическую величину, либо на измерении электрических свойств материала под действием давления

1.	Манометры	Для измерения избыточного давления
2.	Вакуумметры	Для измерения давления разряжения
3.	Мановакуумметры	Для измерения как избыточного, так и давления разряжения
4.	Напоромеры	Для измерения малых избыточных давлений (до 40 кПа)
5.	Тягомеры	Для измерения малых давлений разряжения (до минус 40 кПа)
6.	Тягонапоромеры	Для измерения малых избыточных давлений и разряжений
7.	Дифманометры	Для измерения разности давлений
8.	Барометры	Для измерения барометрического давления

1 – U-образная трубка; 2 – Основание со шкалой



$$P_1 = \rho \cdot g \cdot h_1$$

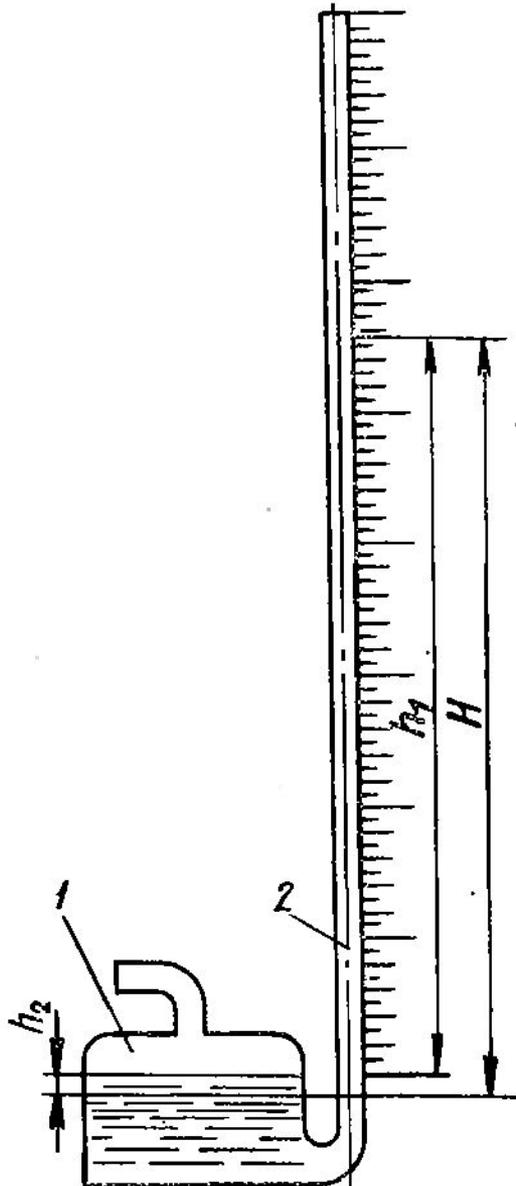
$$P_2 = \rho \cdot g \cdot (-h_2)$$

$$\Delta P = P_1 - P_2$$

$$H = h_1 + h_2$$

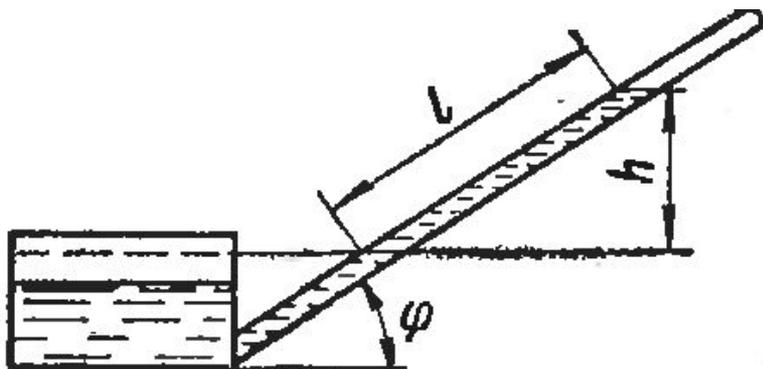
Чашечный манометр:

1 – сосуд; 2 – стеклянная трубка



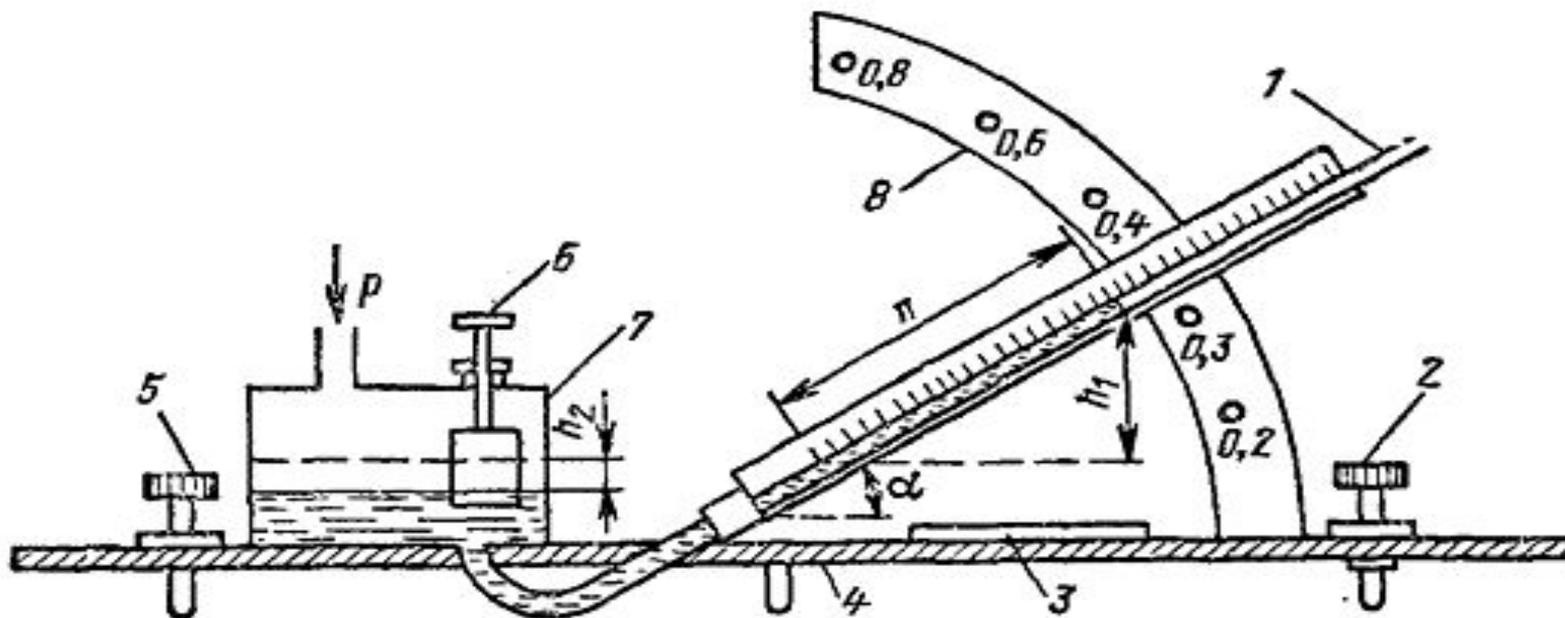
$$P = \rho \cdot g \cdot (h_2 + H)$$

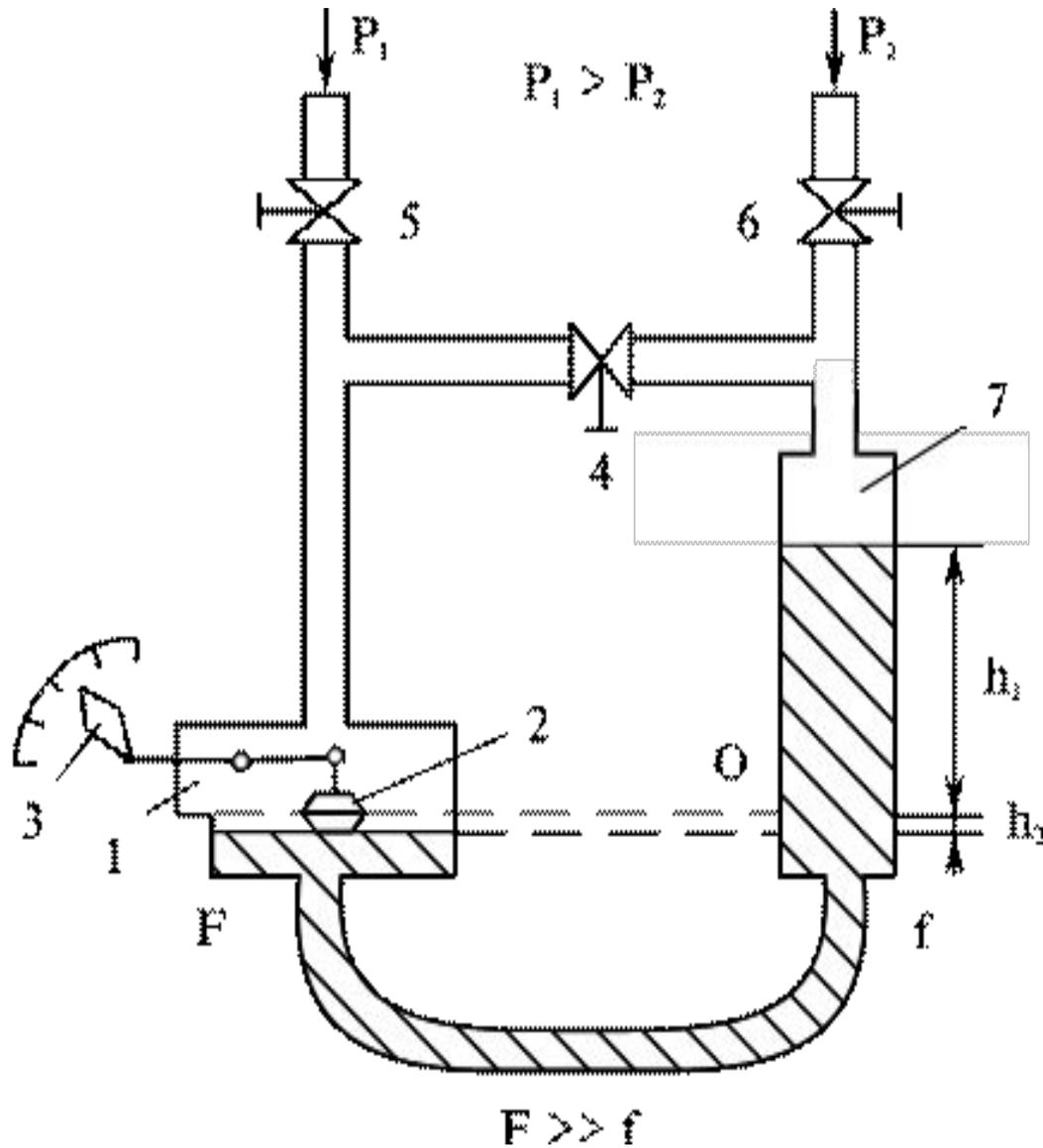
..Ликроманометр: 1 – измерительная трубка; 2, 5 – винты; 3 – уровень; 4 – основание; 6 – вытеснитель; 7 – сосуд; 8 – приспособление для фиксации угла наклона



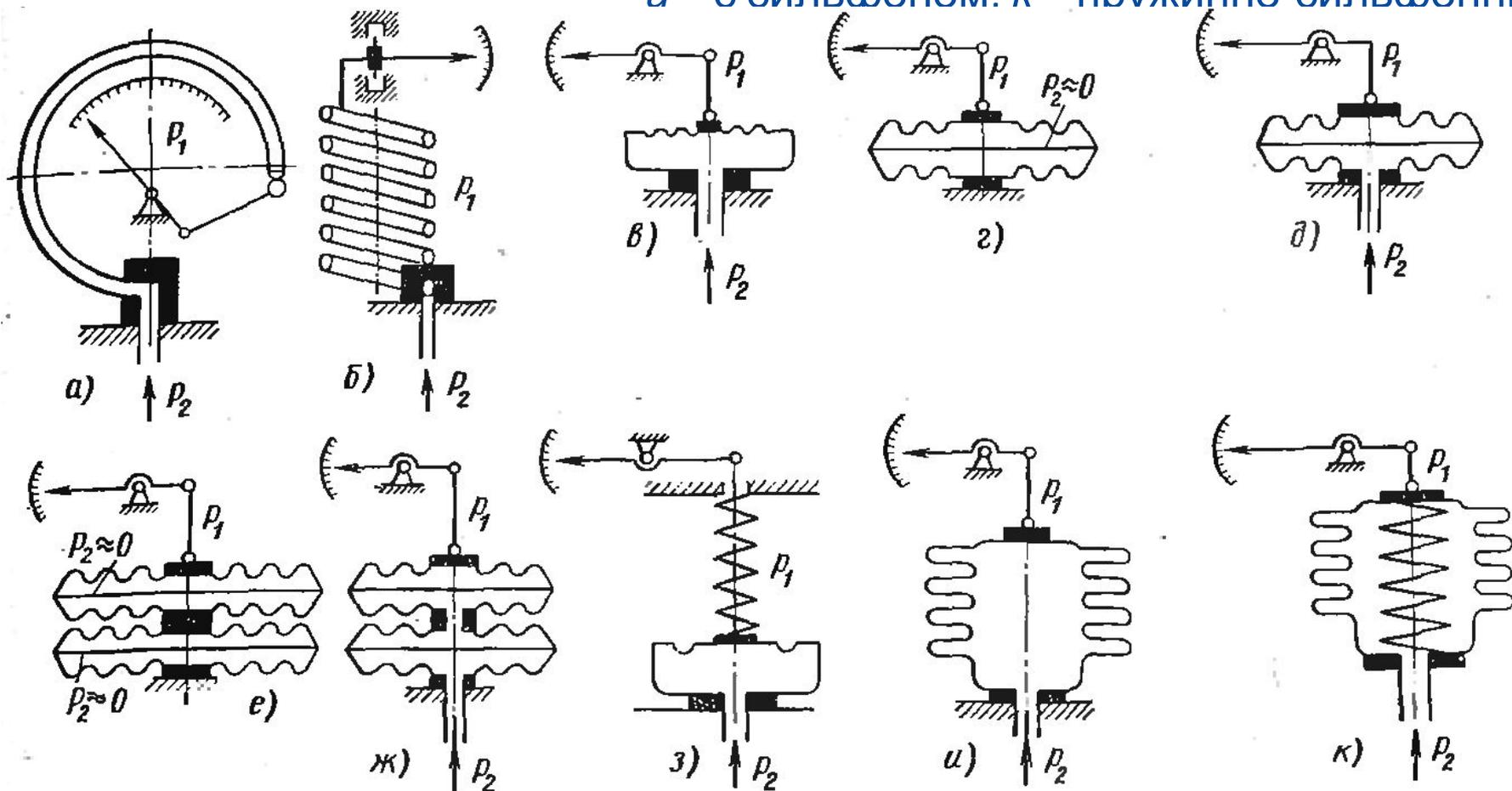
$$h = l \cdot \sin (\varphi)$$

$$P = \rho \cdot g \cdot h$$

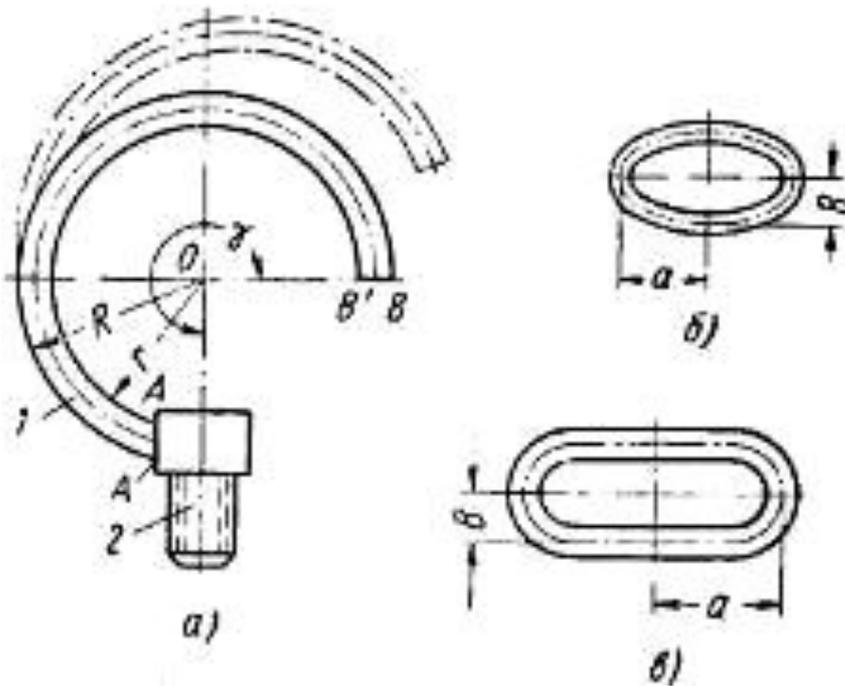




Пружинные приборы: а, б – с трубчатой пружиной; в – с мембраной; г, д, е, ж – анероидная или манометрическая коробка (блок коробок); з – пружинно-мембранные с гибкой мембраной; и – с сифоном. к – пружинно-сифонные



...анометр с одновитковой трубчатой пружиной: а – схема трубчатой пружины; б – эллиптической сечение; в – плоскоовальное сечение



1 – трубка; 2 – держатель

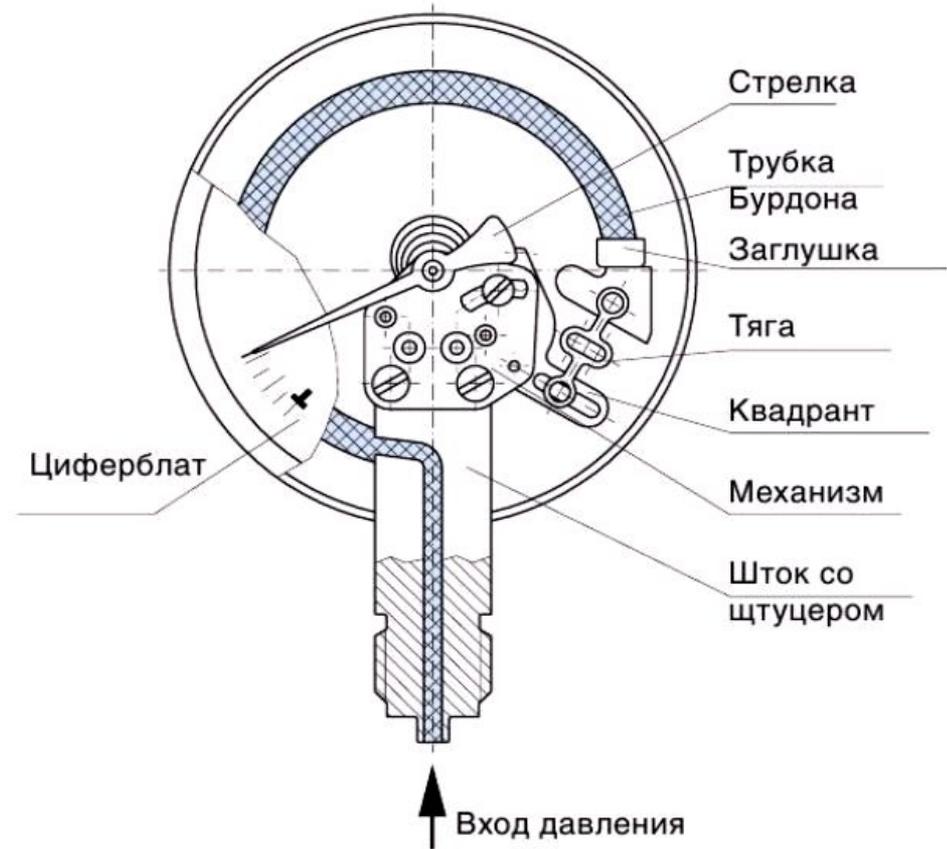
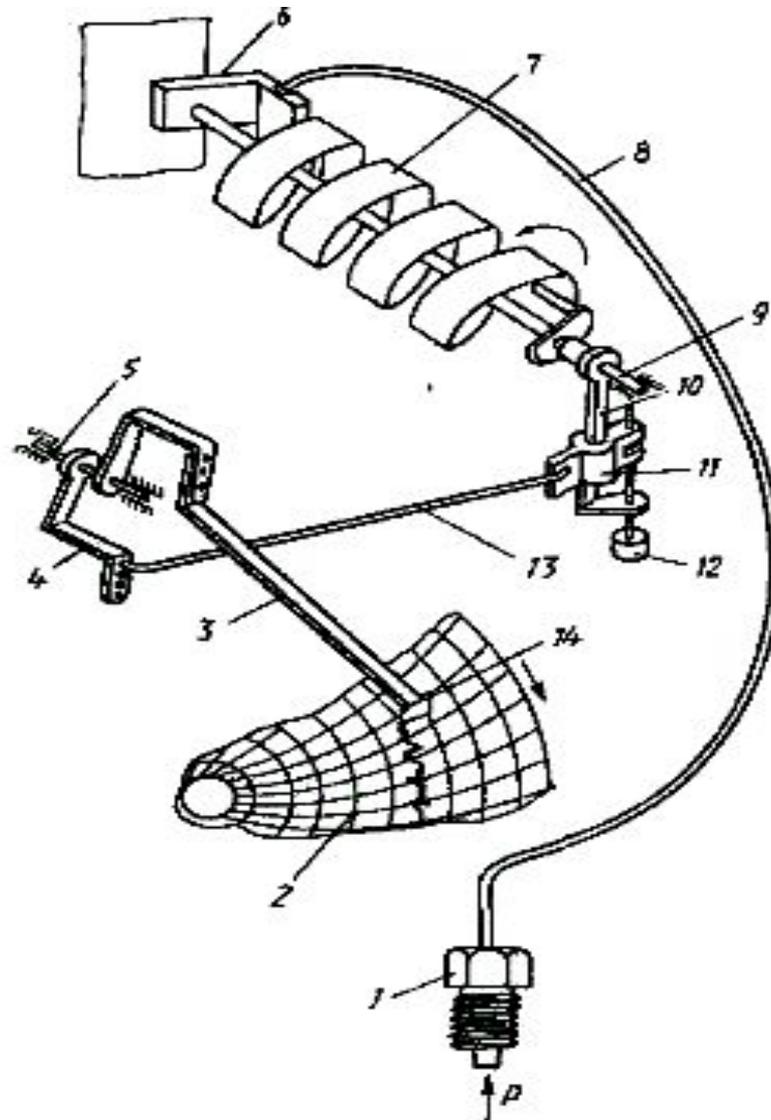


Схема самопишущего манометра с многовитковой трубчатой пружиной



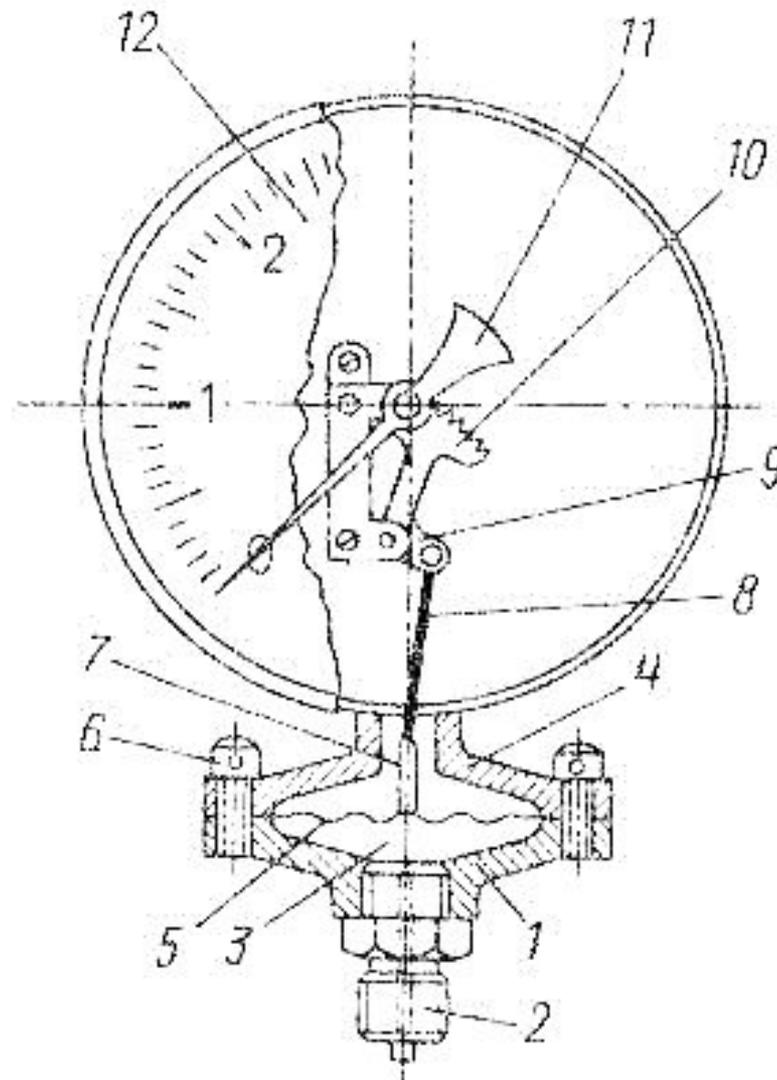


Схема самопишущего сильфонного манометра

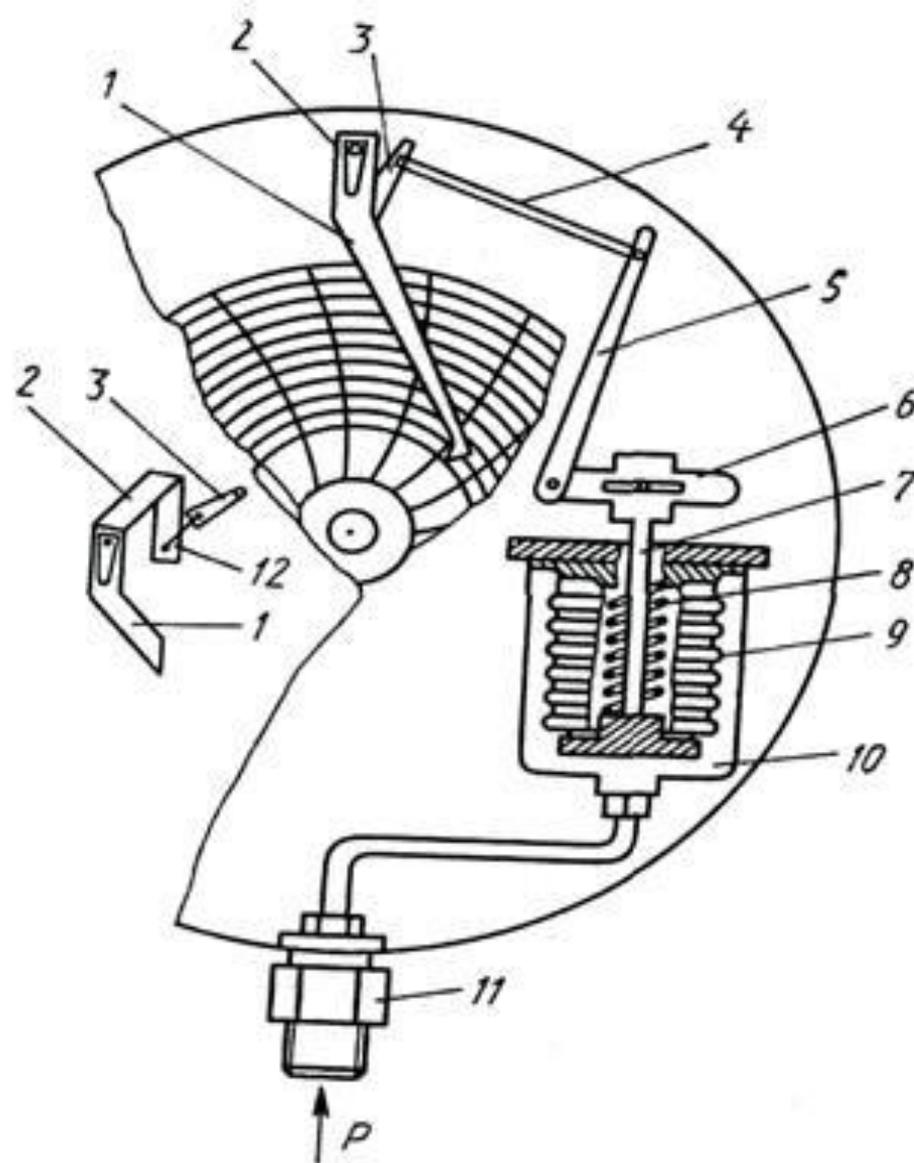
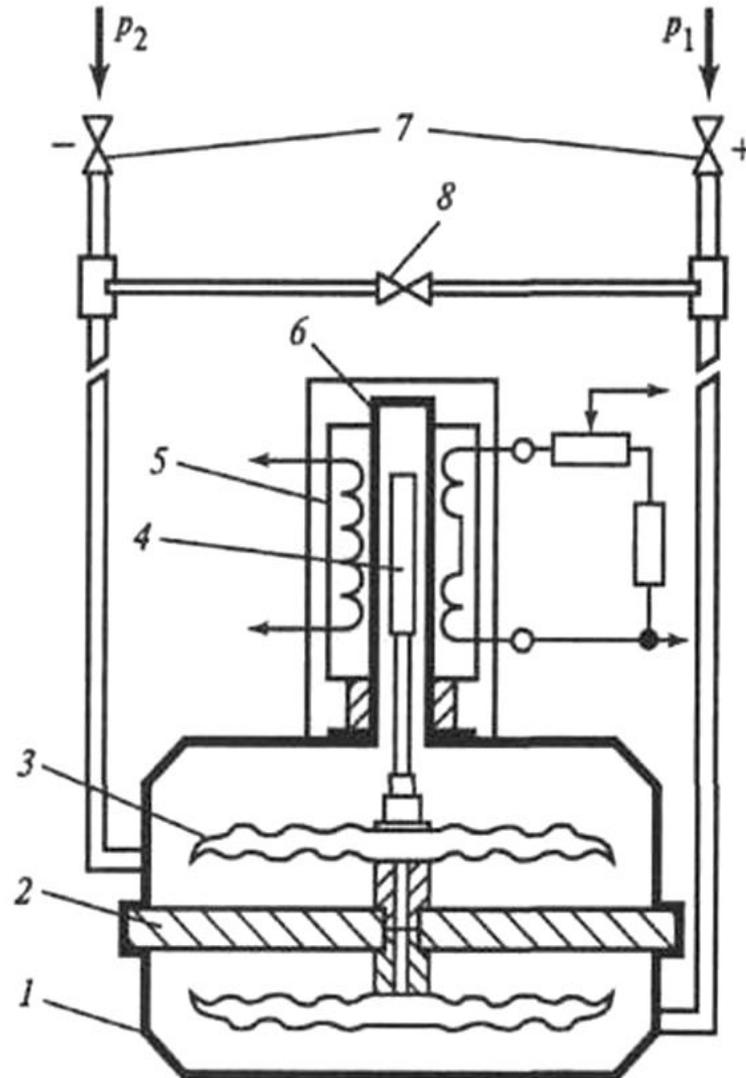
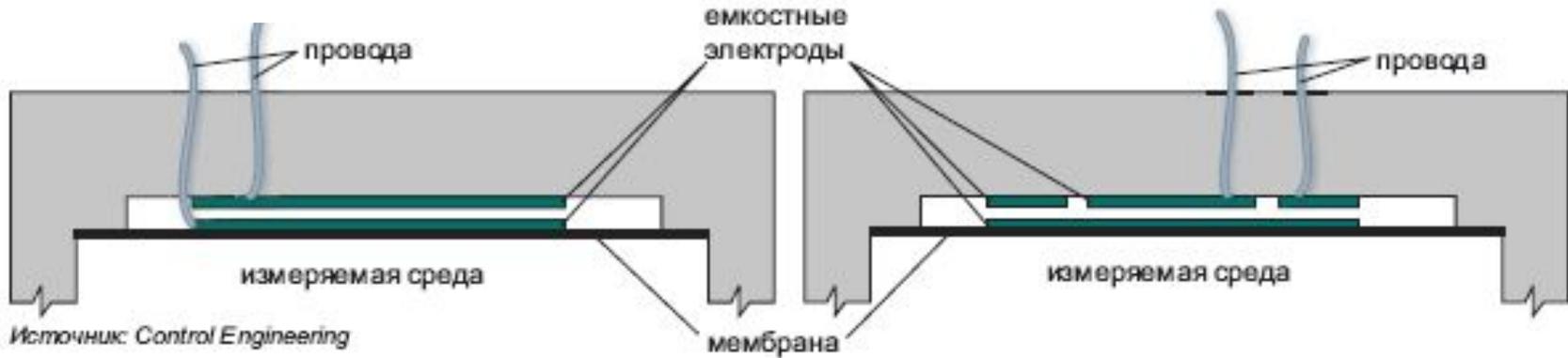


Схема мембранного дифманометра ДМ

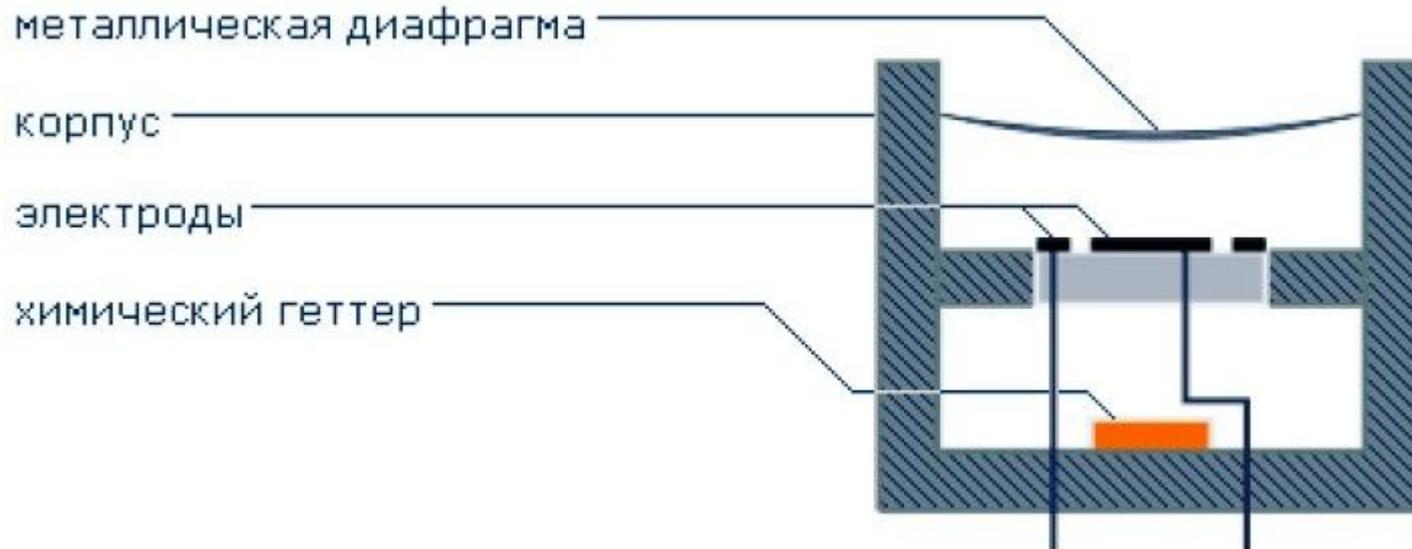


а – керамический; б – с металлической мембраной

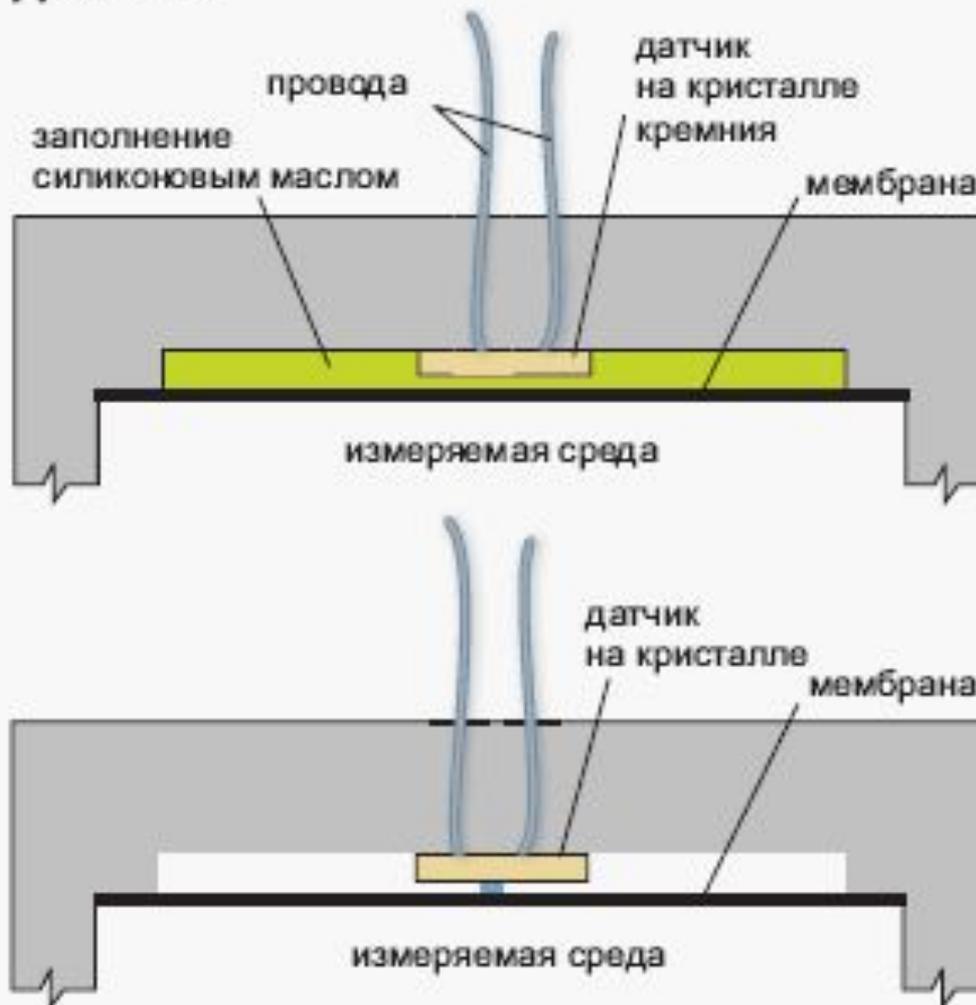
а



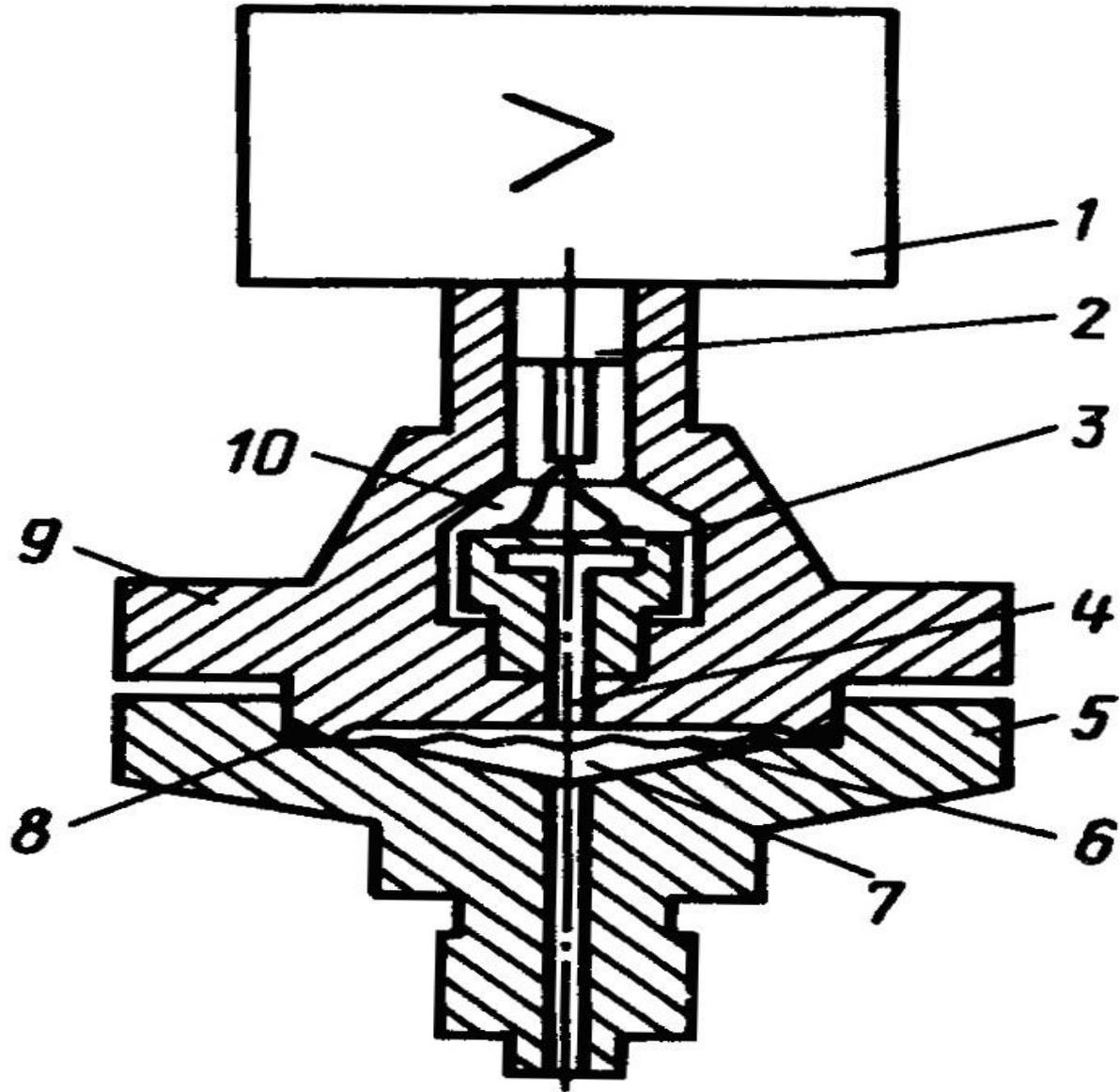
б



Пьезоэлектрический/резистивный датчик



Источник: Control Engineering



Тема 4

Методы и приборы для измерения температуры

метилкарбитол /
керосин



ТСЖ-Т
(-35... +150 °С)



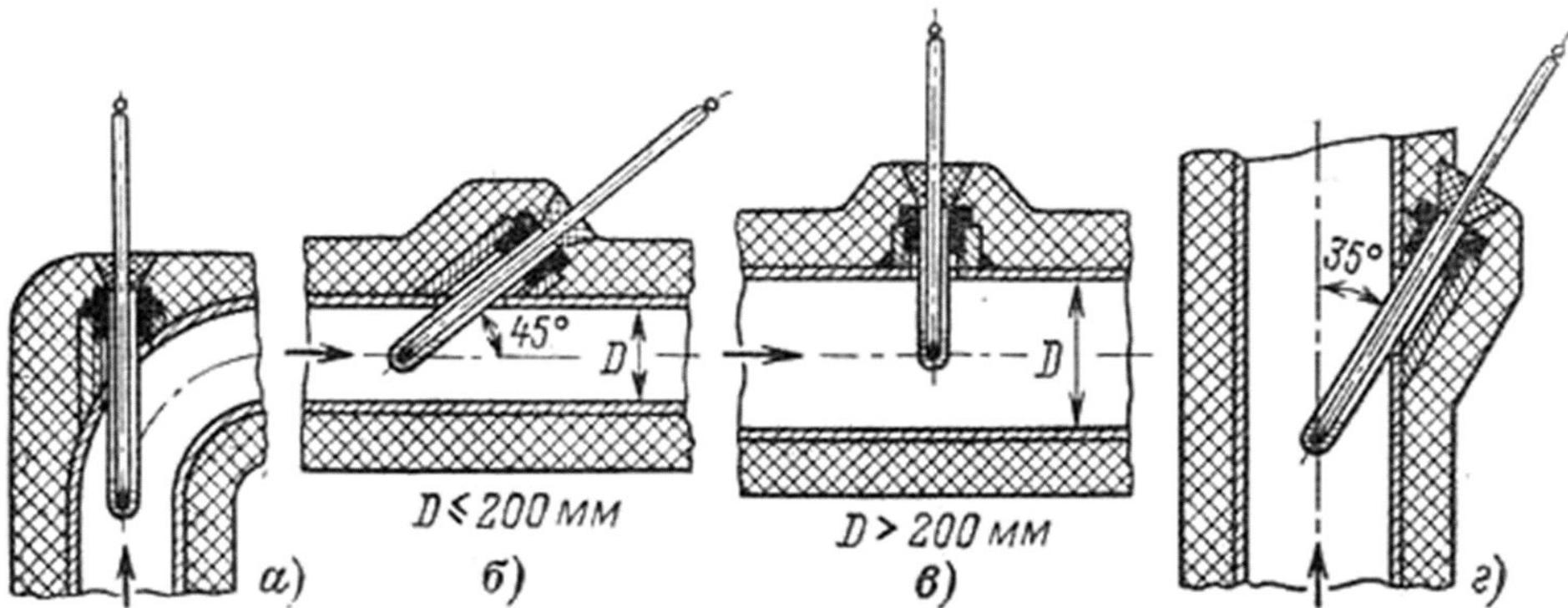
ТТ К, ТТ-МК, ТТЖ
(-35... +160 °С)

ртуть
Б

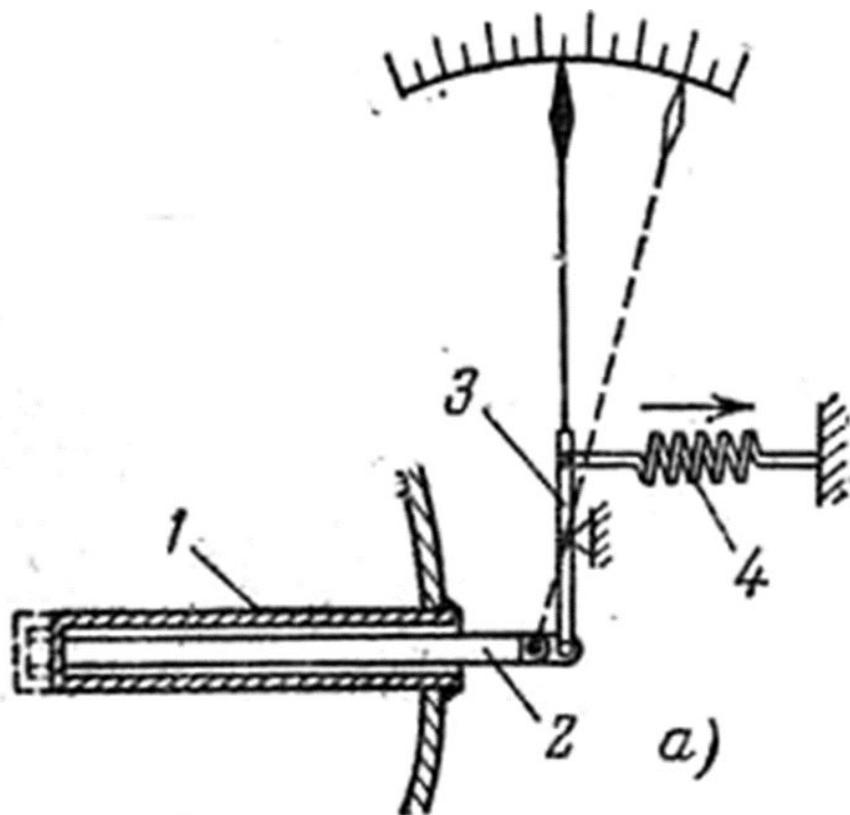


ТТ
(-35... +450
°С)

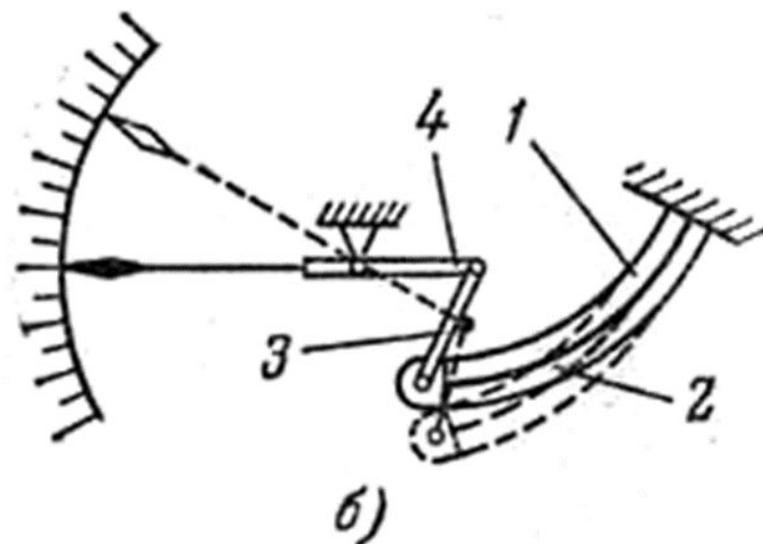
Установка ртутного термометра в защитной гильзе: а – вдоль оси трубопровода; б – наклонно к оси горизонтального трубопровода; в – нормально к оси горизонтального трубопровода; г – на вертикальном трубопроводе



Дилатометрические термометры: а – стержневой; б - пластичный



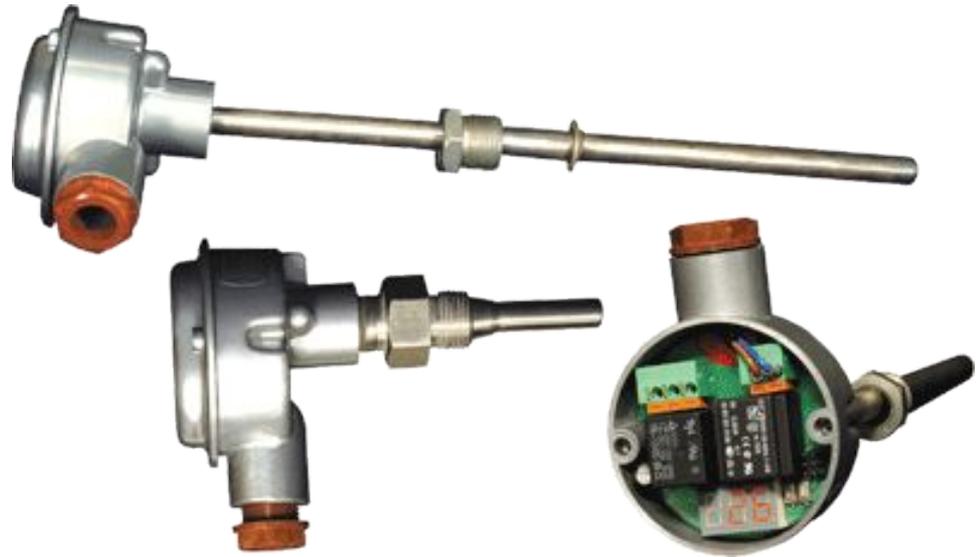
1 – трубка из материала с большим коэффициентом линейного расширения;
2 – стержень из материала с малым коэффициентом линейного расширения;
3 – рычаг; 4 – пружина



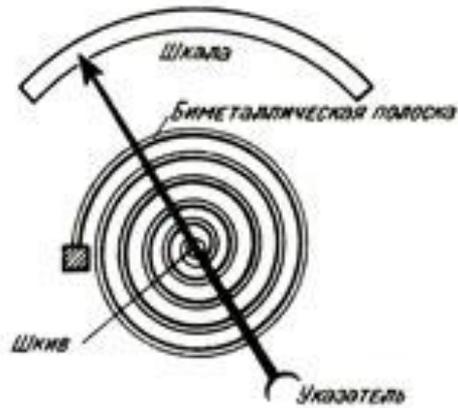
1 – полоска из материала с большим коэффициентом линейного расширения; 2 – полоска из материала с малым коэффициентом линейного расширения; 3 – тяга; 4 – рычаг



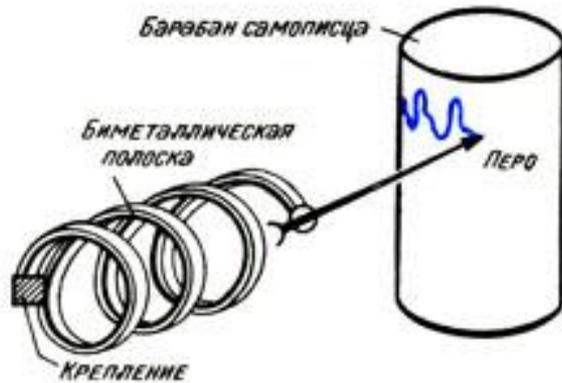
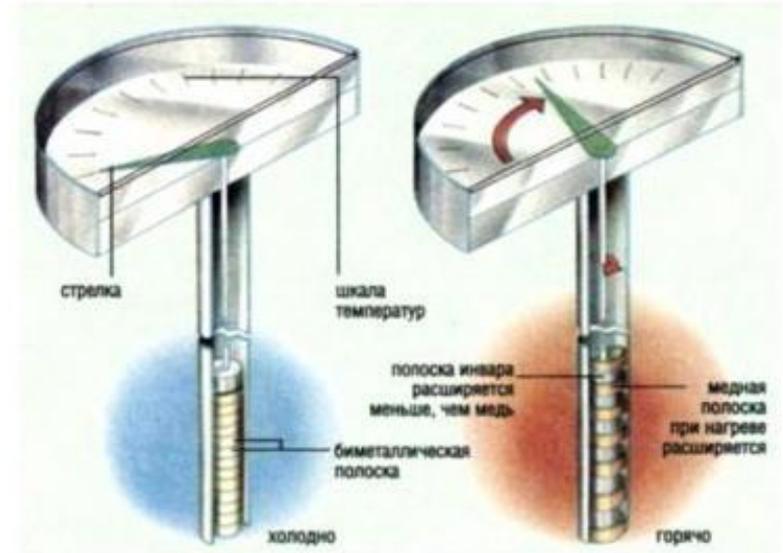
ТУДЭ



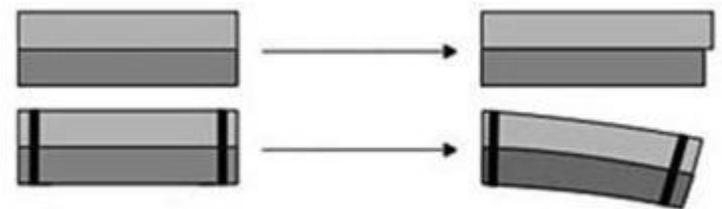
ДРМ-Т



Плоская спираль



Винтовая спираль





Осевое подключение

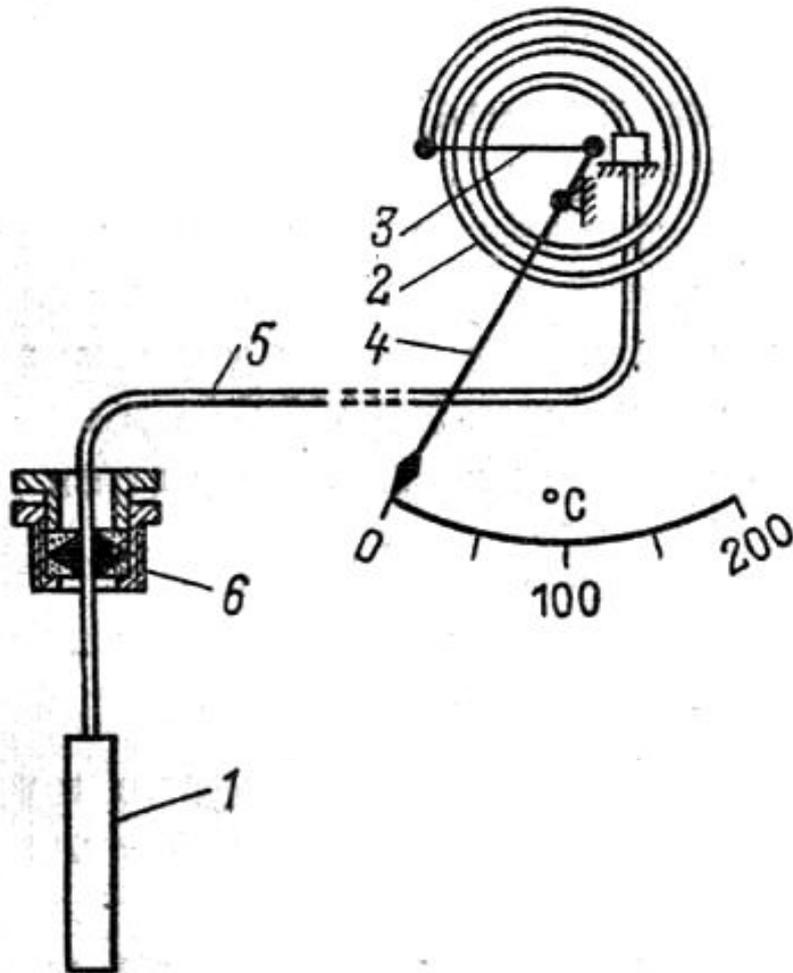


Радиальное
подключение

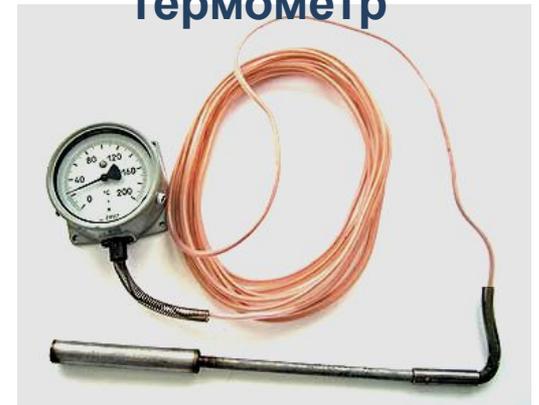


Универсальное
подключение

Манометрический термометр: 1 – термобаллон; 2 – манометрическая трубчатая пружина; 3 – тяга; 4 – указательная стрелка; 5 – капилляр; 6 – съемный штуцер

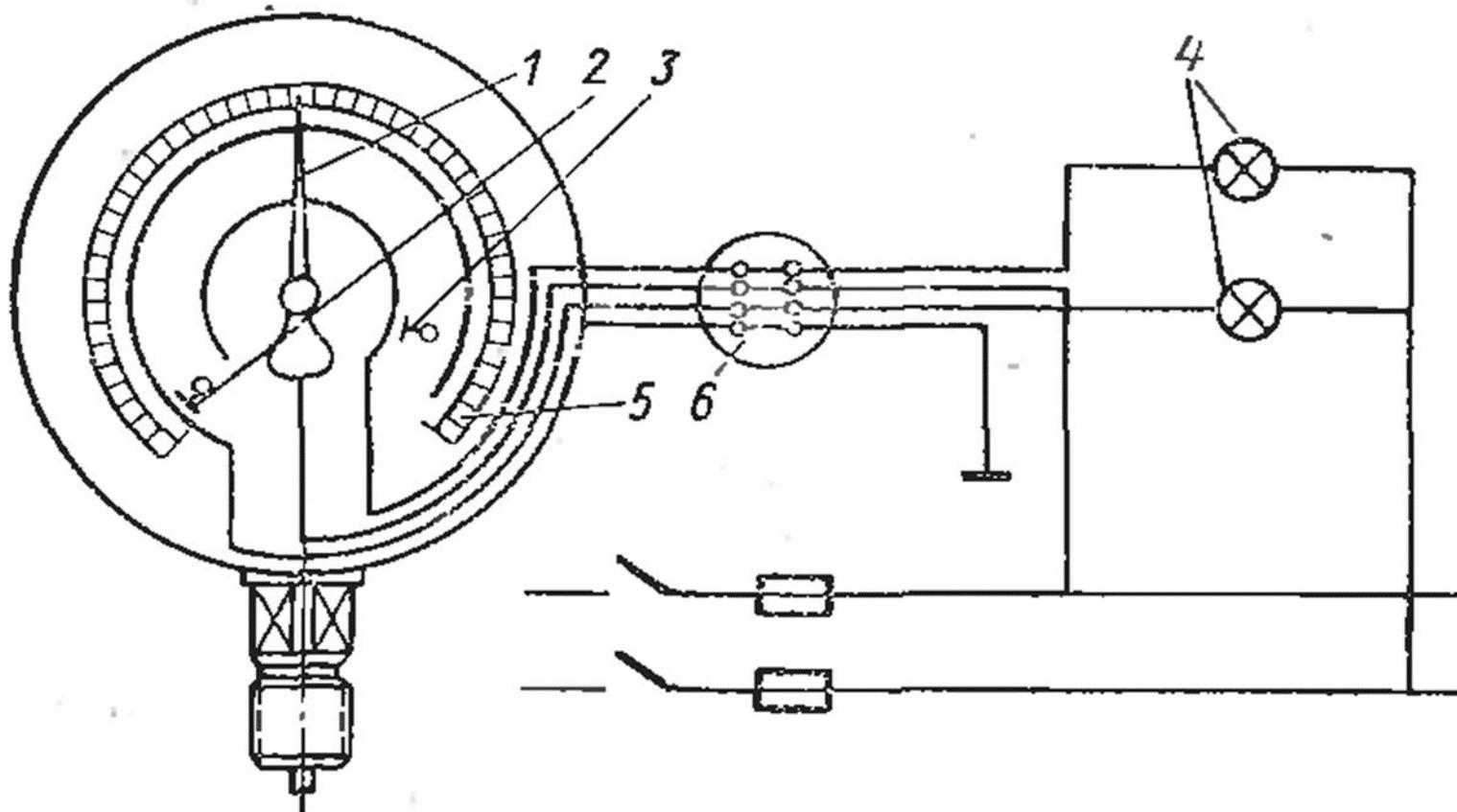


Манометрический термометр



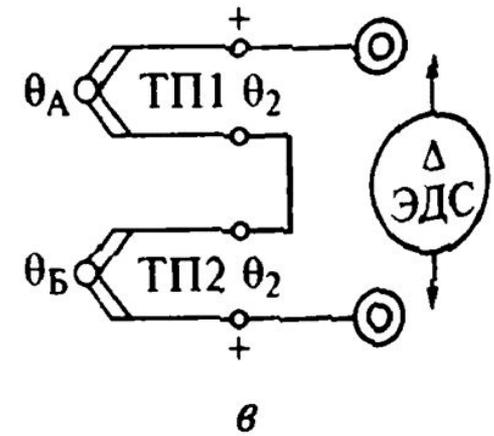
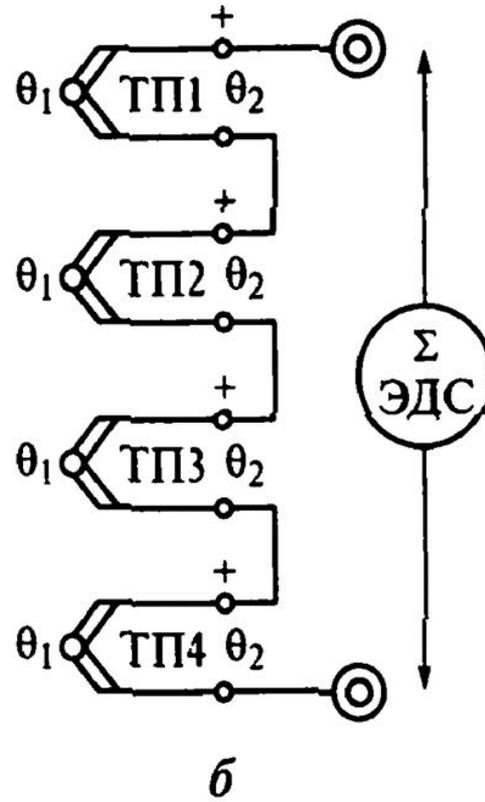
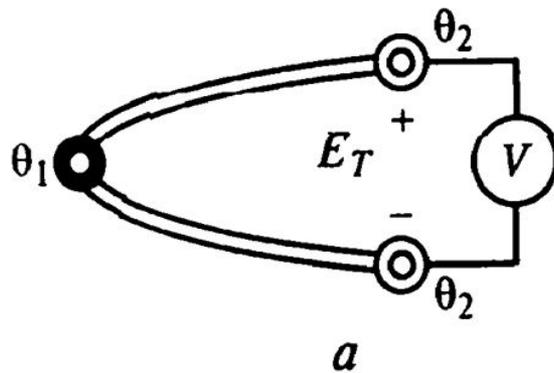
Конденсационный термометр

Электрическая схема контактного термометра: 1 – стрелка термометра с электроконтактом; 2 – контакт минимальной температуры; 3 – контакт максимальной температуры; 4 – сигнальные лампы; 5 – шкала; 6 – ключи

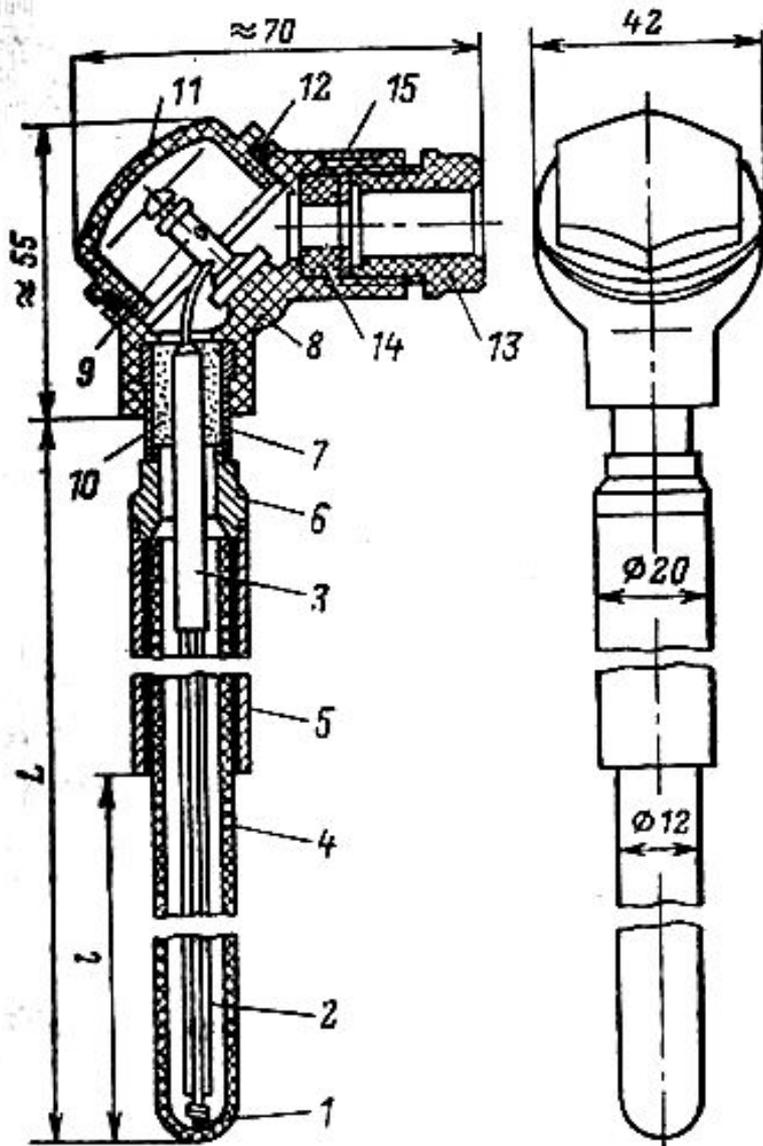


Электрические термометры:

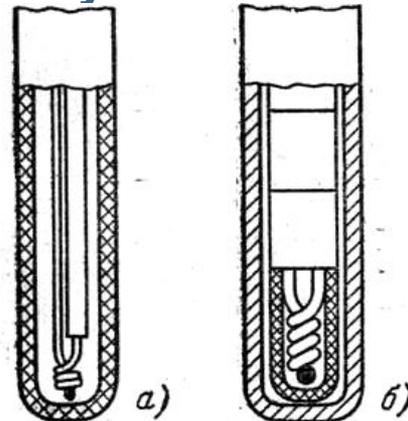
а – возникновение термоЭДС; б – термобатарея;
в – дифференциальная термопара



Электрические термометры



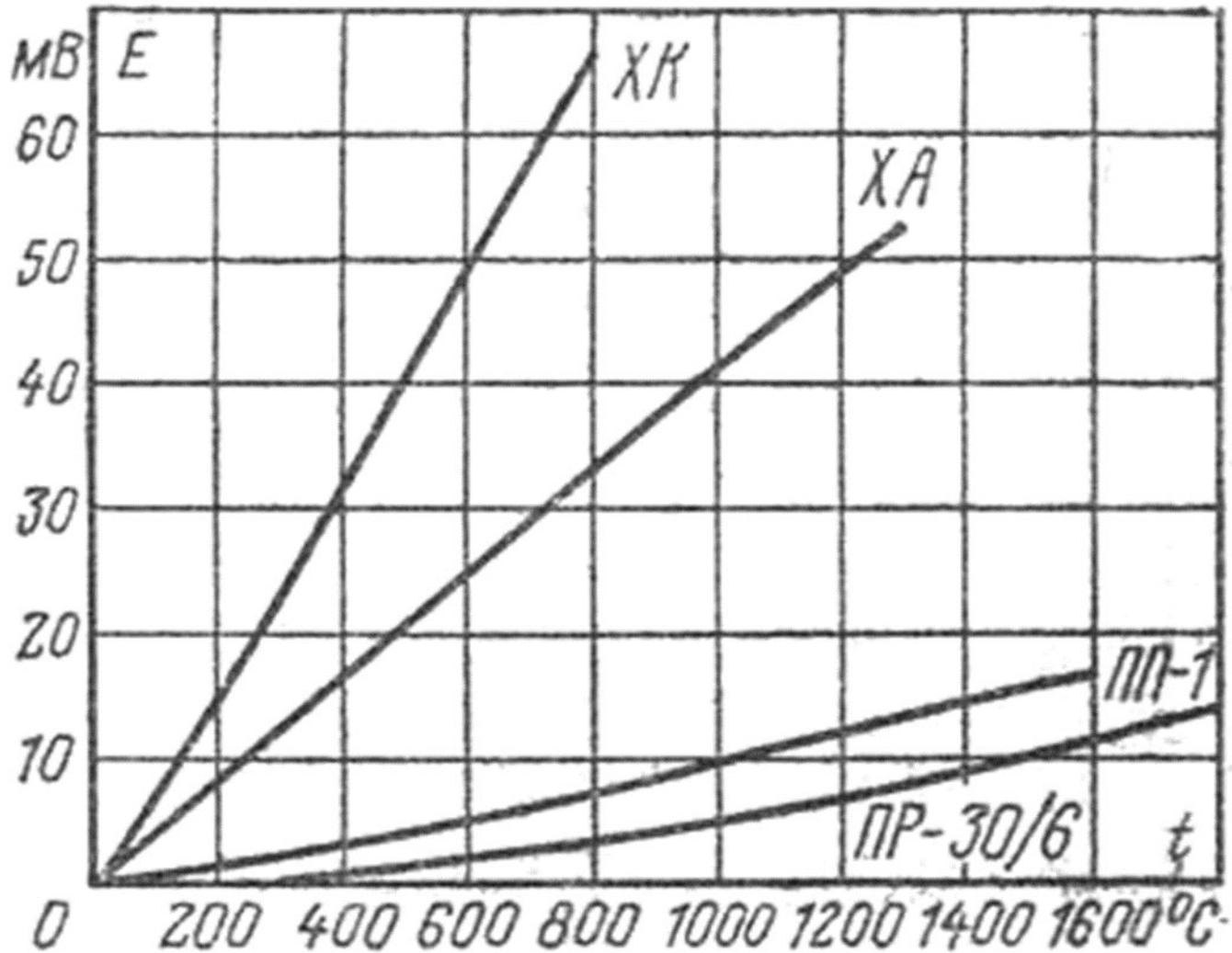
- 1 – рабочий конец;
- 2, 3 – фарфоровые трубки;
- 4 – защитный чехол (алунд);
- 5 – металлическая трубка;
- 6, 7 – стальные футлукы;
- 8 – корпус;
- 9 – зажимы;
- 10 – уплотняющая герметизирующая мастика;
- 11 – съемная крышка;
- 12 – прокладка для уплотнения крышки;
- 13 – штуцер;
- 14 – уплотнение штуцера



а – с тонкими термоэлектродами; б – с толстыми термоэлектродами

Название	Состав	ТЭДС, мВ (при $t_0 = 0^\circ\text{C}$ и $t_1 = 100^\circ\text{C}$)	Максимальный темпер.предел, $^\circ\text{C}$
Хромель	10% Cr + 90 % Ni	+2,95	1000
Платинородий	90 % Pt + 10 % Rh	+0,86	1300
Медь	Cu	+0,76	350
Платина	Pt	0	1300
Алюмель	95 % Ni + 5 % Al	-1,2	1000
Копель	56 % Cu + 44 % Ni	-4	600
Константан	60 % Cu + 40 % Ni	-3,4	600

Наименование	Тип	Градуировочная характеристика	Диапазон измерений при длительном применении, °С	Допускаемая конечная температура при кратковременном применении, °С	Средняя термо-э. д. с., мВ, на 100 °С разности температур
Платинородий-платиновый (10% родия)	ТПП	ПП-1	0—1300	1600	1,04
Платинородиевый (30 и 6% родия)	ТПР	ПР-30/6	300—1600	1800	0,90
Хромель-алюмелевый	ТХА	ХА	—200—1000	1300	4,03
Хромель-копелевый	ТХК	ХК	—200—600	800	8,30





Зависимость сопротивления от температуры

