

Державна служба України з надзвичайних ситуацій
Національний університет цивільного захисту України
Кафедра автоматичних систем безпеки та інформаційних технологій

ЗАТВЕРДЖУЮ
Начальник кафедри АСБтаІТ
Роман ШЕВЧЕНКО

Навчальна дисципліна
**СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ
НЕБЕЗПЕЧНИХ ФАКТОРІВ**

Лекція № 7

Загальні відомості та принципи побудови засобів для вимірювання технологічних параметрів. Методи та погрішності вимірювання. Принципи виміру температури.

Лекцію розробив:
Доцент кафедри АСБтаІТ

Вячеслав ДУРЄЄВ

ХАРКІВ 2024

Зміст лекції

- 1. Вступ
- 2. Методи вимірювань
- 3. Погрішність виміру
- 4. Клас точності вимірника
- 5. Вимірювальні прилади
- 6. Методи вимірювання температури

- **1. ВСТУП**

- Дисципліни, що забезпечують:
вища математика, теоретична механіка,
теорія механізмів і деталей машин,
технічна термодинаміка і теплопередача,
гідравліка, електротехніка, інформатика.
- Дисципліни, що забезпечуються:
сучасні системи пожежної автоматики,
засоби автоматичного протипожежного
захисту, пожежна і виробнича автоматика

В результаті вивчення дисципліни необхідно:

- **ЗНАТИ:**
- основні поняття пожежної автоматики;
- принципи дії, характеристики та особливості конструктивного виконання елементів систем пожежної автоматики;
- структура, принципи керування типових пожежних автоматичних систем
- методи розрахунку характеристик лінійних моделей пожежних автоматичних систем.

В результаті вивчення дисципліни необхідно:

- **УМІТИ:**
- Користуватися вимірювальним обладнанням;
- Визначати параметри технологічного процесу: температура, тиск, розподіл, рівень, склад;
- Визначати параметри обладнання: погрішності роботи, чутливість, клас приладу

2. МЕТОДИ ВИМІРЮВАНЬ

Виміряти фізичну величину – означає порівняти її з відповідною одиницею системи виміру.

Вимір у виробництві - це перетворення вимірюваного параметра в зручний для подальшого використання сигнал і порівняння його з аналогічним нормованим сигналом, еквівалентним одиниці системи виміру.

- **Вимір технологічних параметрів необхідний для управління технологічними процесами і забезпечення безпеки виробництва.**

Вимірювальний ланцюг:



ДАТ- датчик (первинний перетворювач), формує сигнал, пропорційний вимірюваній величині;

ПП – проміжний перетворювач, перетворить сигнал датчика в уніфікований сигнал, зручний для дистанційної передачі і виміру;

ВП – вимірювальний прилад (кінцевий перетворювач), перетворить уніфікований проміжний сигнал в зручну для спостереження або реєстрації форму.

Виміри бувають:

1.Прямі - безпосередньо оцінюється фізична величина.

7 основних одиниць виміру (системи СІ):

- довжина — метр; (метр — шлях, що пройде світло в вакуумі за $1/299792458$ сек)
- маса — кілограм;
- час — секунда;
- сила струму — ампер;
- температура — Кельвін (Цельсій);
- сила світла — кандела;
- кількість речовини — моль.

Виміри бувають:

2. Непрямі - фізична величина оцінюється шляхом обчислення по відомих залежностях за результатами виміру інших величин.

Похідні одиниці вимірів (системи СІ):

сила – Ньютон [$\text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^{-2}$];

тиск – Паскаль [$\text{Н} \cdot \text{м}^{-2}$];

робота – Джоуль [$\text{Н} \cdot \text{м}$];

потужність – Ватт; [$\text{Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^{-1}$]

МЕТОДИ ВИМІРЮВАНЬ

1. Метод безпосередньої оцінки.

В цьому випадку вимірюваний параметр безпосередньо оцінюється за свідченнями вимірювального ланцюга.



ВН-6 Ц13У

2. Метод урівноваження (диференціальний, різницевий).

В цьому випадку здійснюється вимір не самого параметра, а різниці між параметром і компенсуючою мірою. Даний метод дозволяє застосовувати прилади з меншою шкалою і, отже, зменшити погрішність виміру.



3. Погрішність виміру

Погрішність- виміру - відхилення результату виміру від дійсного значення вимірюваного параметра.

Види погрешностей виміру:

Основна погрешність – це погрешність вимірювального ланцюга в нормальних (стандартних) умовах.

Додаткова (систематична) погрешність - зміна основній погрешності при зміні умов експлуатації (при зміні тиску, температури, вологості і ін.).

Випадкові погрешності змінюються випадковим чином при багатократних вимірах одного і того ж параметра. Вони принципово не можуть бути враховані або усунені при вимірах.

Грубі погрешності виникають унаслідок неправильної експлуатації пристроїв вимірювального ланцюга. Такі погрешності можуть бути виявлені і усунені.

Абсолютна погрішність – це різниця між виміряним x_u і дійсним x значенням параметра:

$$\Delta x = |x_B - x|$$

Відносна погрішність – відношення абсолютної погрішності до дійсного значення вимірюваного параметра.

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

Основною метрологічною характеристикою вимірника-перетворювача є приведена погрішність.

Приведена погрішність - визначається як відношення абсолютної погрішності до діапазону виміру x_N :

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

4. Клас точності вимірника

Під **класом точності** розуміється максимально допустима приведена погрішність, у нормальних умовах, виражена у відсотках.

Гостом встановлені **стандартні класи точності** вимірників перетворювачів :
0,005; 0,02; 0,05; 0,1; 0,25; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0.

Клас точності не може служити показником точності виміру, він тільки показує граничне значення основній приведеній погрішності.
Для конкретних вимірів необхідно вказувати не лише клас точності приладів, але і діапазон вимірів.

Приклад: для виміру напруги 220В у мережі змінного струму, є два вольтметри з однаковим класом точності 1,5.

Їх діапазони виміру: 300 та 1000В.

Визначити найбільшу абсолютну і відносну погрішності при вимірах:

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

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

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

Чутливість вимірювального перетворювача характеризує його здатність вимірювати малі сигнали.

При зменшенні величини вимірюваного сигналу відносна погрішність виміру збільшується.

При відносній погрішності 100% прилад не придатний для вимірів.

Поріг чутливості - мінімальне значення вимірюваної величини, при якій відносна погрішність складає 100%.

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

Приклад: є два вольтметри з однаковим класом точності 1,5 та різними діапазонами виміру: 300 і 1000В.

Визначити: чутливість кожного приладу:

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

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

ПОГРІШНІСТЬ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ЛАНЦЮГА

Погрішність виміру складного вимірювального ланцюга оцінюється по погрішностях складових елементів.

Якщо вважати що погрішності всіх перетворювачів одного знаку, то результуюча погрішність буде максимальною і дорівнює сумі погрішностей всіх перетворювачів:

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

На практиці частіше застосовують так звану **квадратичну погрішність**, що враховує незалежний і випадковий характер складових погрішностей:

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

Висновки:

1. Вимірювальний ланцюг має бути складений з перетворювачів близьких класів.
2. Для зменшення погрішності вимірювального ланцюга необхідно зменшувати погрішність складових її перетворювачів.

5. Вимірювальні прилади

Вимірювальні прилади призначені для перетворення сигналів первинних або проміжних перетворювачів у відхилення стрілки або пера самописця.

По метрологічному призначенню прилади діляться на:
- технічні; - лабораторні; - зразкові.

5. Вимірювальні прилади

Вимірювальні прилади призначені для перетворення сигналів первинних або проміжних перетворювачів у відхилення стрілки або пера самописця.

По метрологічному призначенню прилади діляться

на: - технічні; - лабораторні; - зразкові.

Клас точності	0,25-2,5	0,05-0,2	0,005-0,05
---------------	----------	----------	------------

Технічні прилади (клас точності 0,25-2,5)
призначені для роботи у виробничих умовах.

Вони мають бути недорогими і надійними.

У свідчення таких приладів не вносять поправки на погрішності виміру.

Лабораторні прилади (клас точності 0,05-0,2) призначені для точних вимірів в лабораторних умовах і для перевірки технічних приладів.

Для підвищення точності виміру в свідчення вводяться поправки, що враховують систематичні погрішності.

6.

МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

Одиниці виміру температури:

1 градус Кельвіна, К

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

1 градус Фаренгейта, $^{\circ}\text{F} = 0,55555556\text{К}$

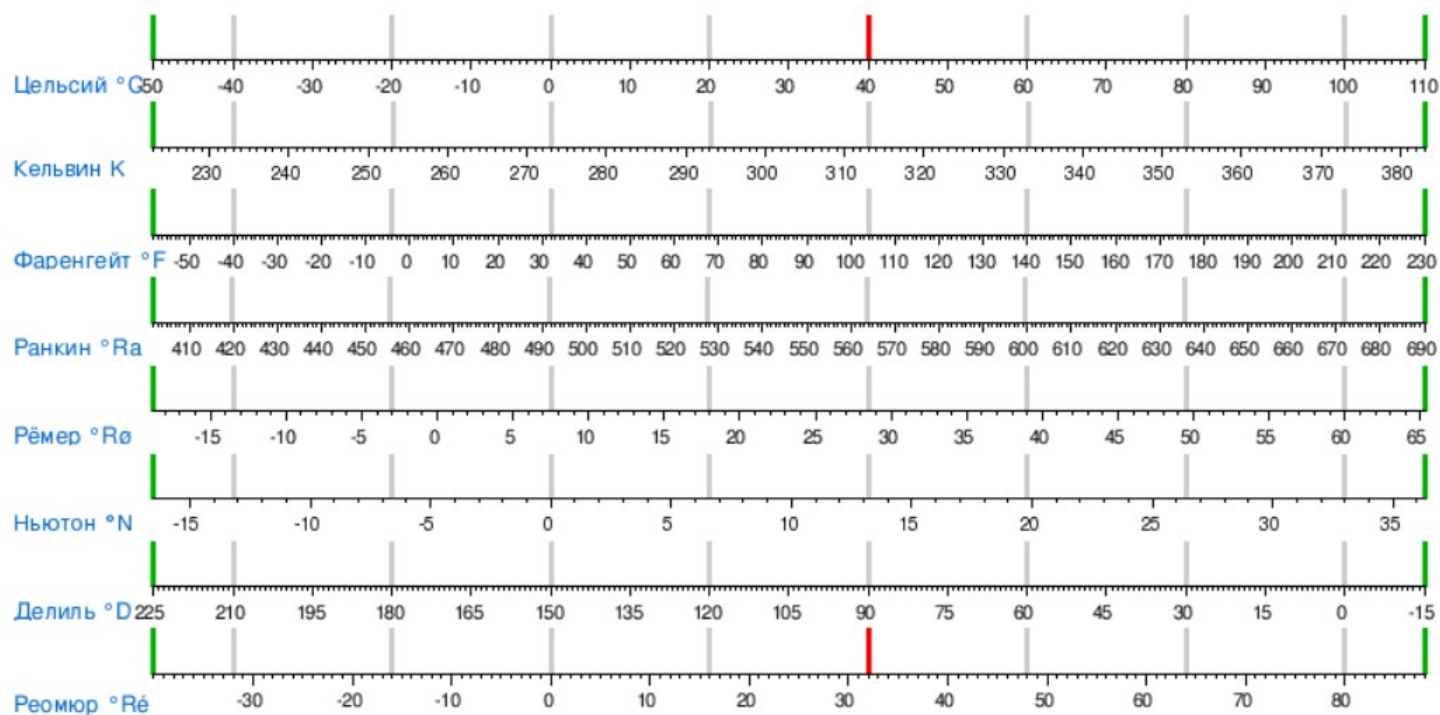
Fahrenheit to Celsius formula

$$F = C \cdot \frac{9}{5} + 32$$

Celsius to Fahrenheit formula

$$C = (F - 32) \cdot \frac{5}{9}$$

	◆ Кельвин ◆	Градус Цельсия ◆	Градус Фаренгейта ◆
Абсолютный ноль	0 K	-273,15 °C	-459,67 °F
Температура кипения жидкого азота	77,4 K	-195,8 °C ^[7]	-320,3 °F
Сублимация (переход из твёрдого состояния в газообразное) сухого льда	195,1 K	-78 °C	-108,4 °F
Точка пересечения шкал Цельсия и Фаренгейта	233,15 K	-40 °C	-40 °F
Температура плавления льда	273,1499 K	-0,0001 °C ^[8]	31,99982 °F
Тройная точка воды	273,16 K	0,01 °C	32,018 °F
Нормальная температура человеческого тела ^[9]	310 K	36,6 °C	97,9 °F
Температура кипения воды при давлении в 1 атмосферу (101,325 кПа)	373,1339 K	99,9839 °C ^[8]	211,971 °F



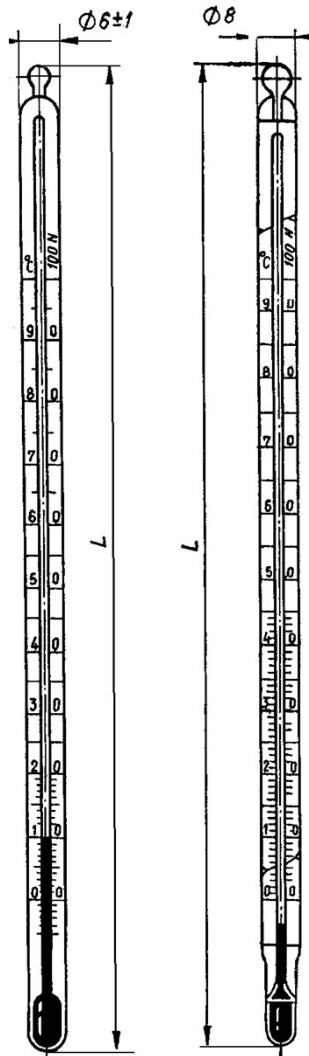
$$40\text{ °C} = 313,15\text{ K} = 104\text{ °F} = 563,67\text{ °Ra} = 28,5\text{ °Rø} = 13,2\text{ °N} = 90\text{ °D} = 32\text{ °R}$$

2.1. КОНТАКТНІ ВИМІРЮВАЧІ ТЕМПЕРАТУРИ

2.1.1. ТЕРМОМЕТРИ РОЗШИРЕННЯ

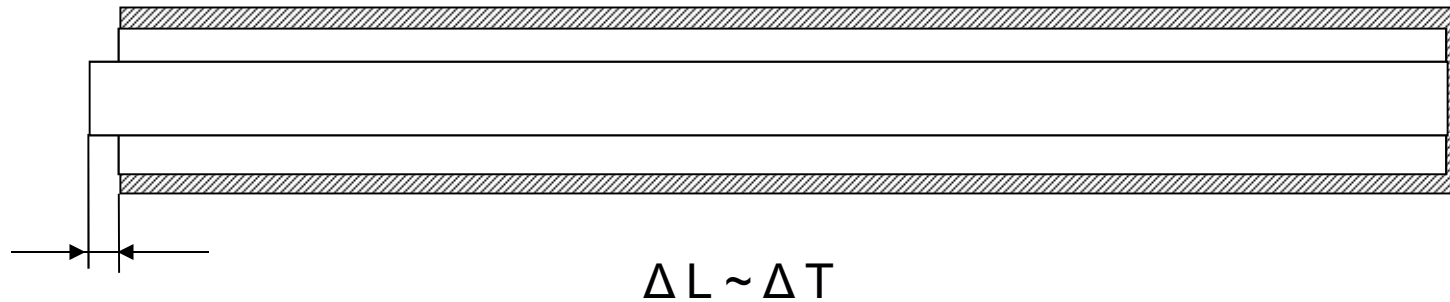
СКЛЯННІ РІДИННІ ТЕРМОМЕТРИ

У рідинних вимірниках температури використовується залежність об'єму рідини від температури (спирт, ртуть, лігроїн)



ДИЛАТОМЕТРИЧНІ ТЕРМОМЕТРИ

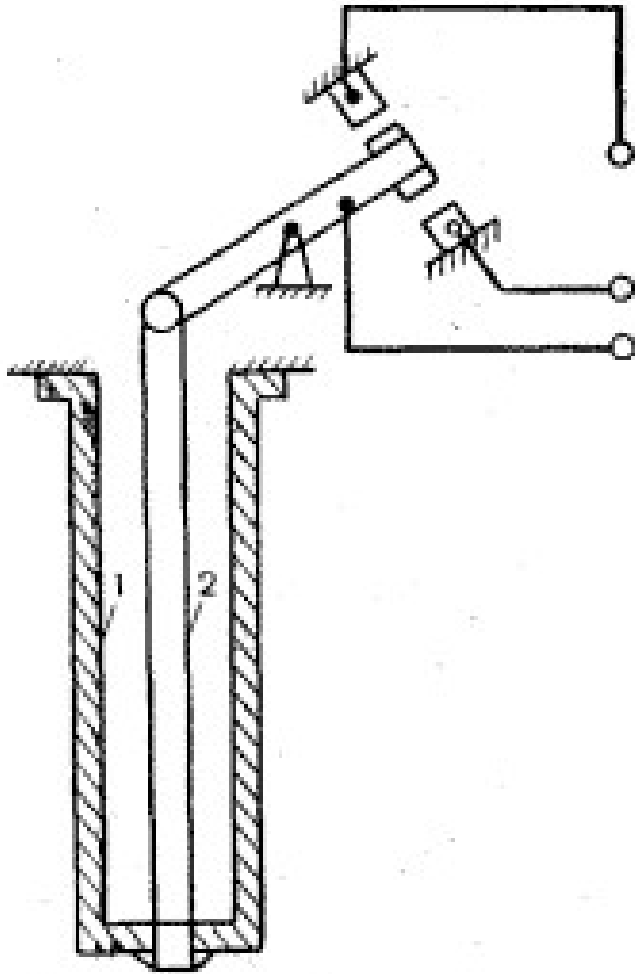
Всі матеріали розширюються при збільшенні температури. При цьому коефіцієнт лінійного розширення залежить природи матеріалу.



Якщо узяти два стрижні однакової довжини в нормальних умовах, то при зміні температури довжина стрижнів буде змінюватися.

Знаючи коефіцієнт лінійного розширення використовуваних матеріалів і різницю в довжині стрижнів можна обчислити вимірювану температуру.

ДИЛАТОМЕТРИЧНІ ТЕРМОМЕТРИ

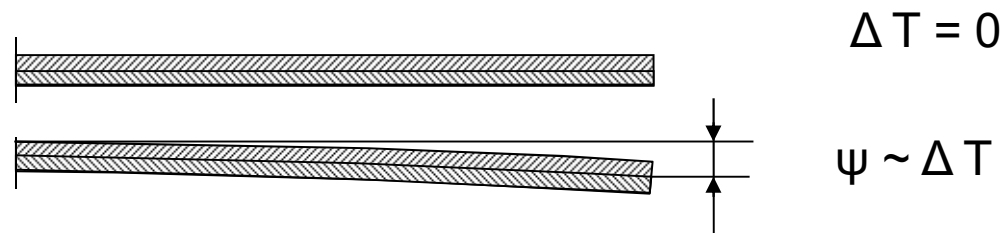


1- трубка з металу з великим коефіцієнтом температурного розширення;

2 - стержень з металу з малим коефіцієнтом температурного розширення (з інвару).

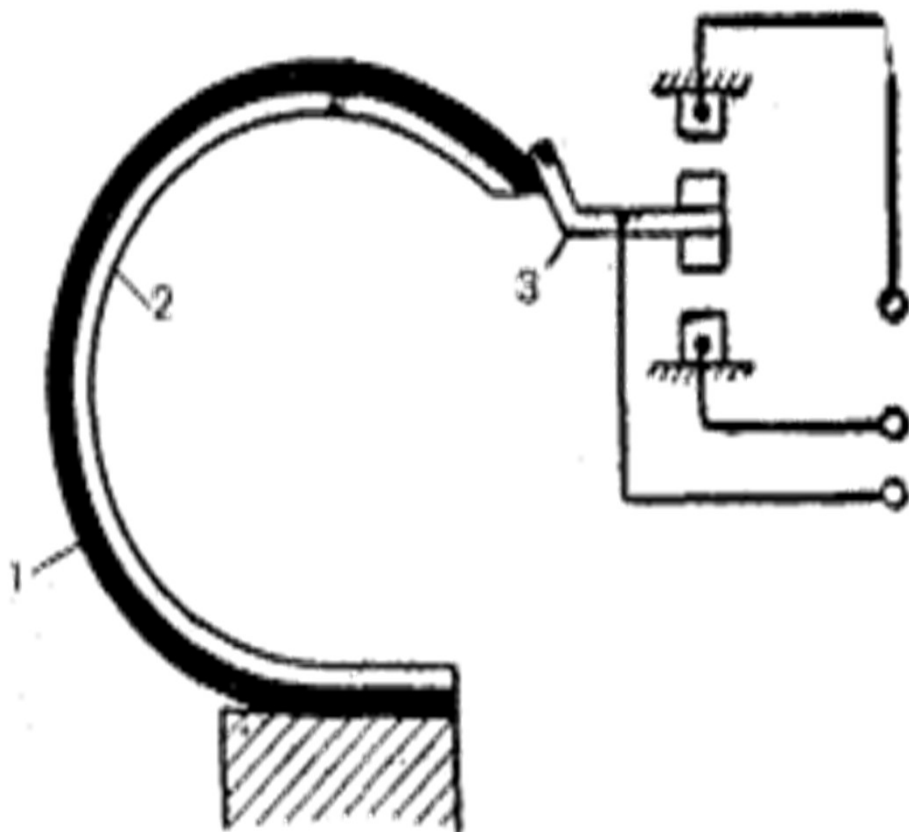
БІМЕТАЛЕВІ ТЕРМОМЕТРИ

Якщо різні пластини спаяти між собою, то при збільшенні температури система згинатиметься у бік пластини з меншим коефіцієнтом лінійного розширення.



Дилатометричні і біметалічні датчики температури можуть застосовуватися в різного роду термореле, для замикання контактів досягши заданого рівня температури.

БІМЕТАЛЕВІ ТЕРМОМЕТРИ



1,2 - штаби (полоски)
металів з різним
коефіцієнтом
температурного
розширення;

3—тримач рухомого
контакту

2.1.2. МАНОМЕТРИЧНІ ТЕРМОМЕТРИ

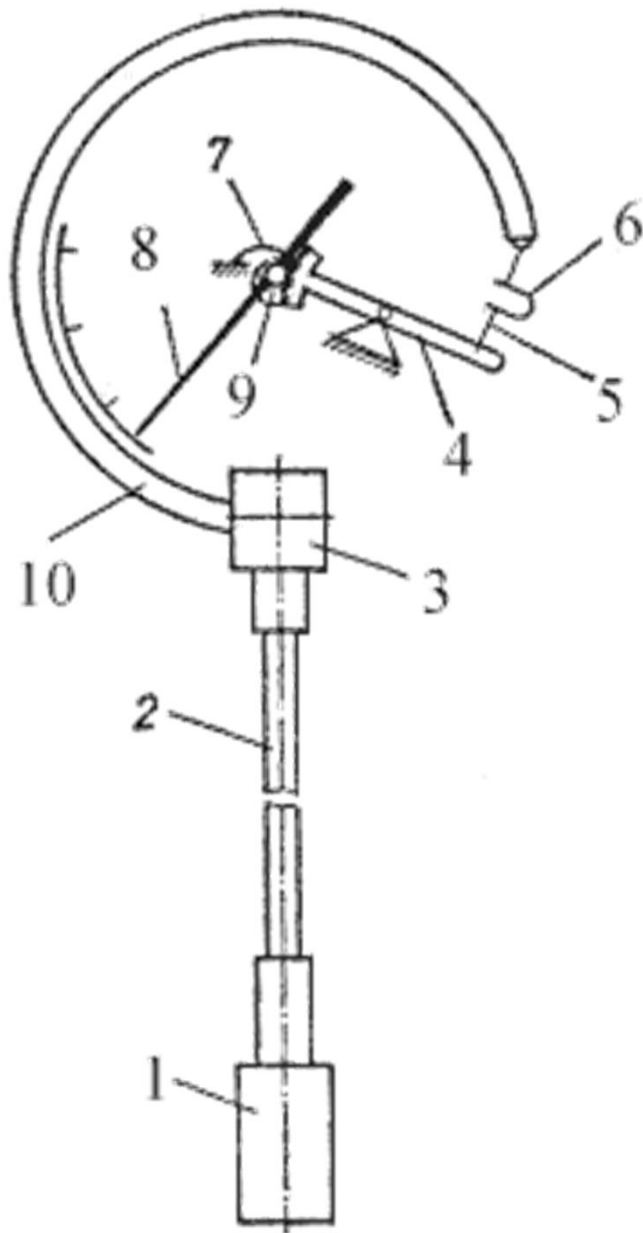
У манометричних вимірниках температури використовується залежність тиску газу від температури



$$P_T = P_0 \cdot (1 + \beta T)$$

$\beta = 1/273$ - температурний коефіцієнт розширення газу

МАНОМЕТРИЧНІ ТЕРМОМЕТРИ



1—термобалон;

2 – капіляр;

3 – утримувач;

4 – сектор;

5 – поводок;

6 – компенсатор;

7 – спіральний волосок;

8 – вказуюча стрілка;

9 – трубка;

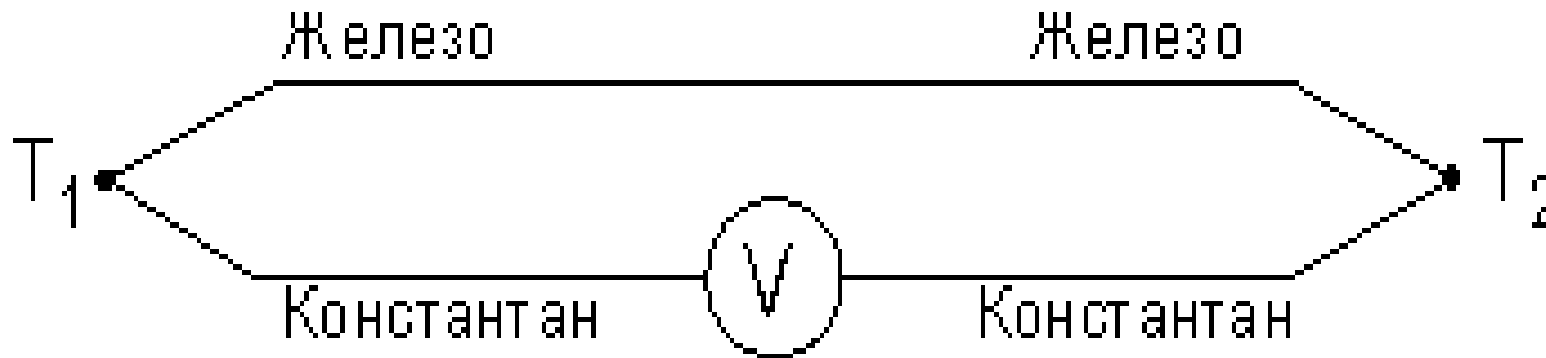
10 – манометрична пружина

МАНОМЕТРИЧНІ ТЕРМОМЕТРИ

Тип термометру	Діапазон вимірів, °C	Робоча речовина	Довжина капіляру, м
Газові ТГП, ТГС, ТГ	-150 ÷ 600	азот, аргон	0,6 – 60
Рідинні ТПЖ, ТЖС, ТЖ	-150 ÷ 300	пропіловий спирт, метаксилол, ртуть, поліметилсилоксанова рідина	до 10
Конденсаційні ТКП, ТПП	-50 ÷ 300	пропілен (C ₃ H ₆), фреон– 22 (CHF ₂ Cl), хлористій метил (CH ₃ Cl), ацетон (C ₃ H ₆ O)	до 25

2.1.3. ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНІ ТЕРМОМЕТРИ

Принцип дії термопар заснований на ефекті Зєєбека (1824г) – здатність спаїв різнорідних металів створювати електрорушійну силу



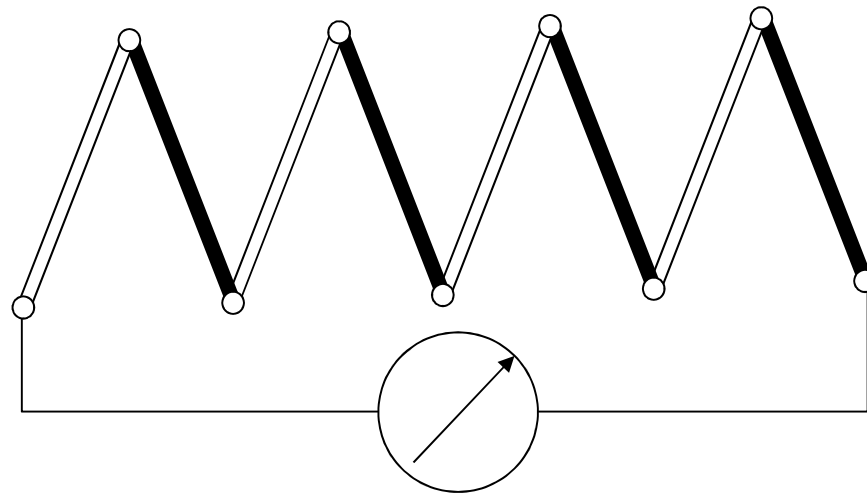
Якщо температури спаїв розрізняються, то в ланцюзі з'являється електрорушійна сила:

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

S - коефіцієнт Зєєбека.

Для підвищення потужності вихідного сигналу можуть використовуватися декілька термопар включених послідовно.

Такий комплект з термопар називається батареєю.



Батарея термопар

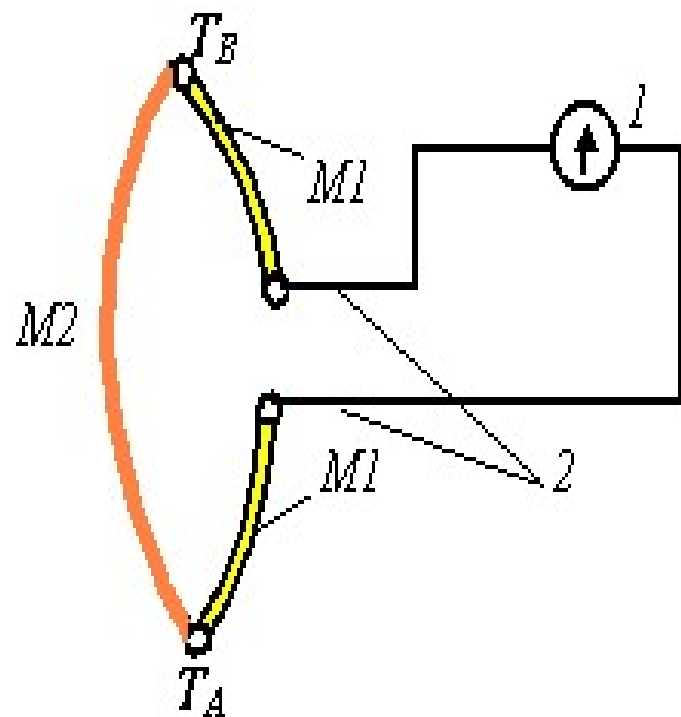


Схема включення ТП
з термостатованим
контактом

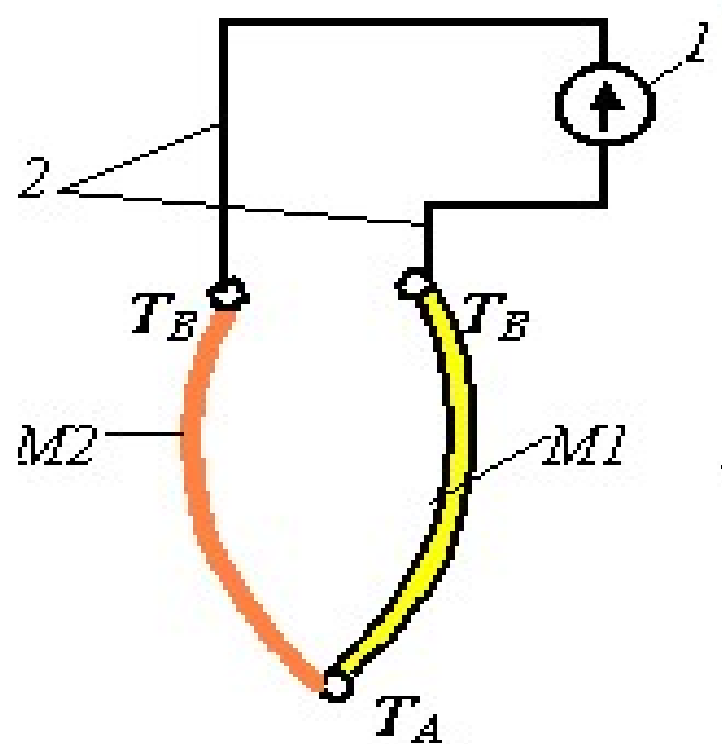
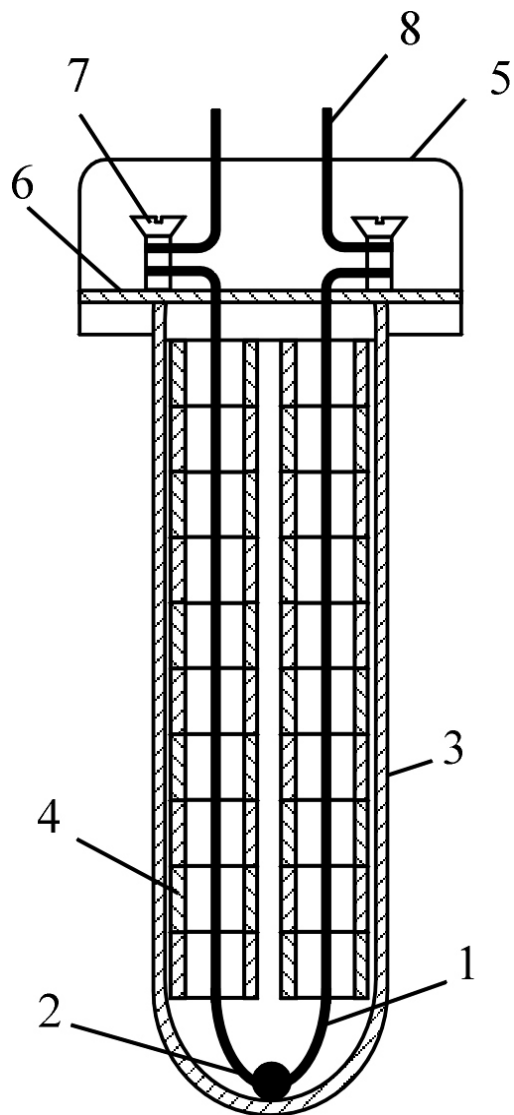


Схема включення ТП
з нетермостатованим
контактом



- 1-Термоелектроди;
- 2- Спай;
- 3- Захисний чохол;
- 4- Ізоляційні намиста;
- 5- Головка термометру;
- 6- Колодка;
- 7- Затиски;
- 8- Термоелектроди і сполучні проводи.

Тип термопар	Діапазон вимірів, °С	Матеріал
ХА	–300 ÷ 1300	хромель–алюмель
ХК	–50 ÷ 800	хромель – копель
ПП	0 ÷ 1600	платинородий – платина
ПР	0 ÷ 1800	платинородієві
ВР	0 ÷ 2500	вольфрамренієві

Хромель: Ni (89÷91)% + Cr (8,7÷10)%
примеси: Si, Cu, Mn, Co

Алюмель: Ni (93÷96)% + Al (1,8÷2,5)% +
+ Mn (1,8÷2,2)% + +Si (0,8÷1,2)%

Копель: Ni (42,5÷44)% + Fe 0,15 % +
+Mn (0,1÷1,0)% + решта Cu

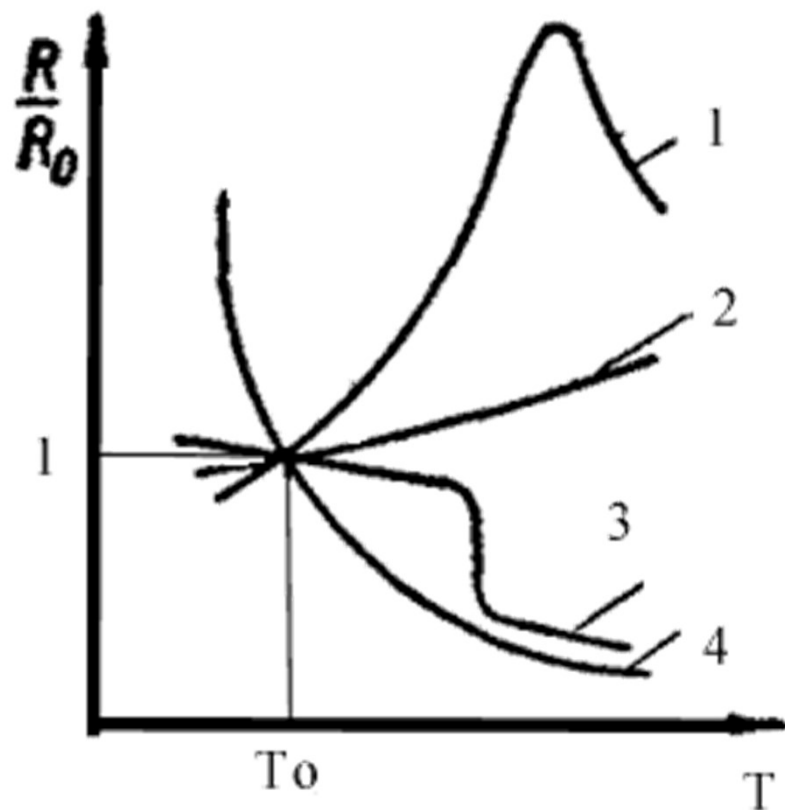
Переваги термопар:

- великий температурний діапазон виміру;
- вимір високих температур до 1800—2200 °С.

Недоліки:

- точність більше 1 °С важко досягти;
- на свідчення впливає температура вільних кінців, на яку необхідно вносити поправку.

2.1.4. ТЕРМОМЕТРИ ОПОРУ

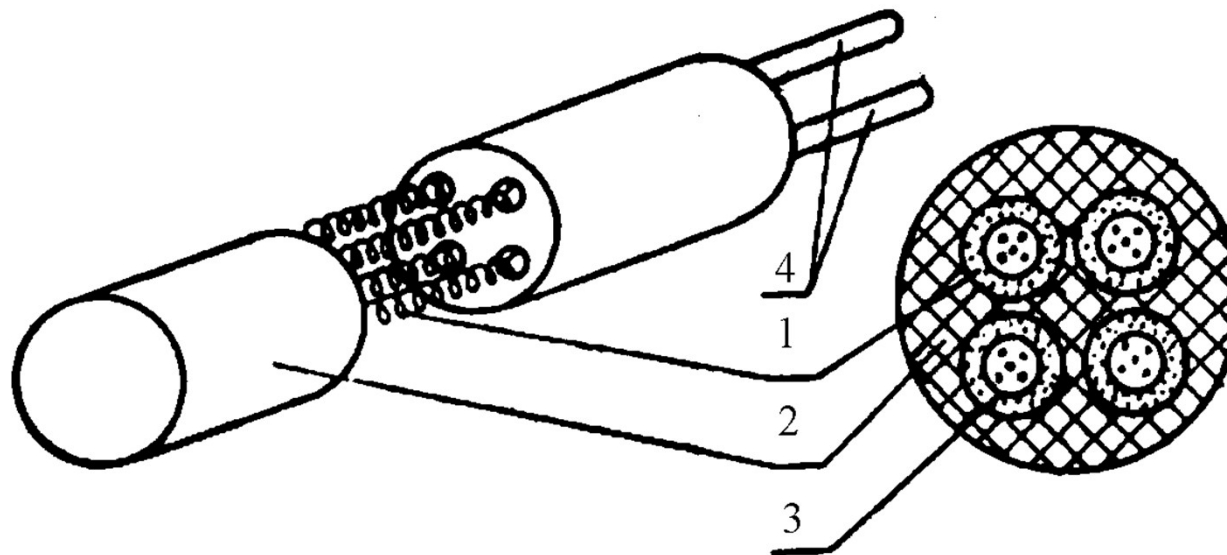


1 - позистори

2 - метали

3 - електроліти

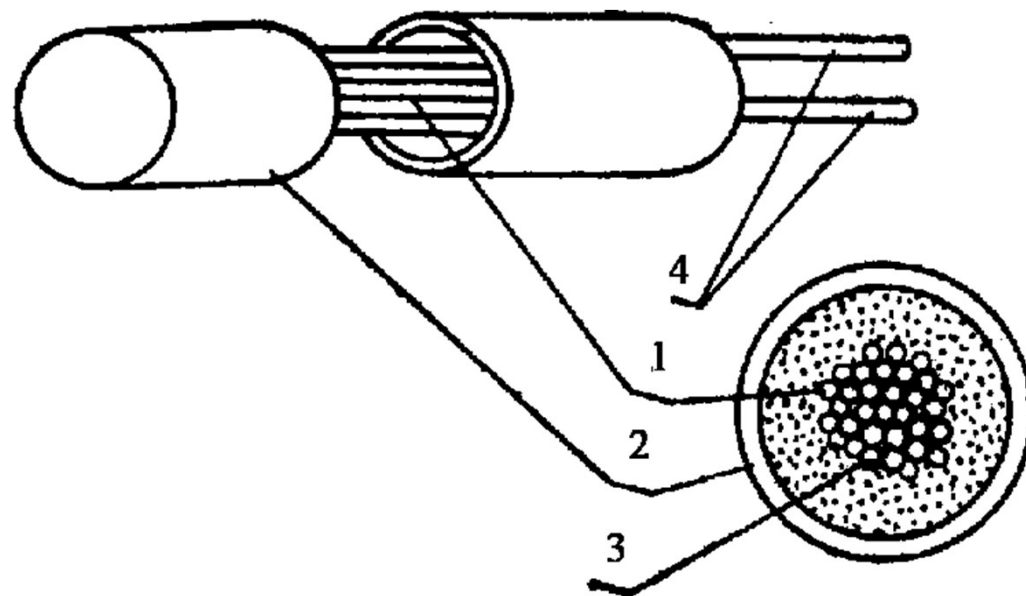
4 - термістори



Платиновый чувливий элемент:

1 - спираль; 2 - каркас; 3 - порошок;

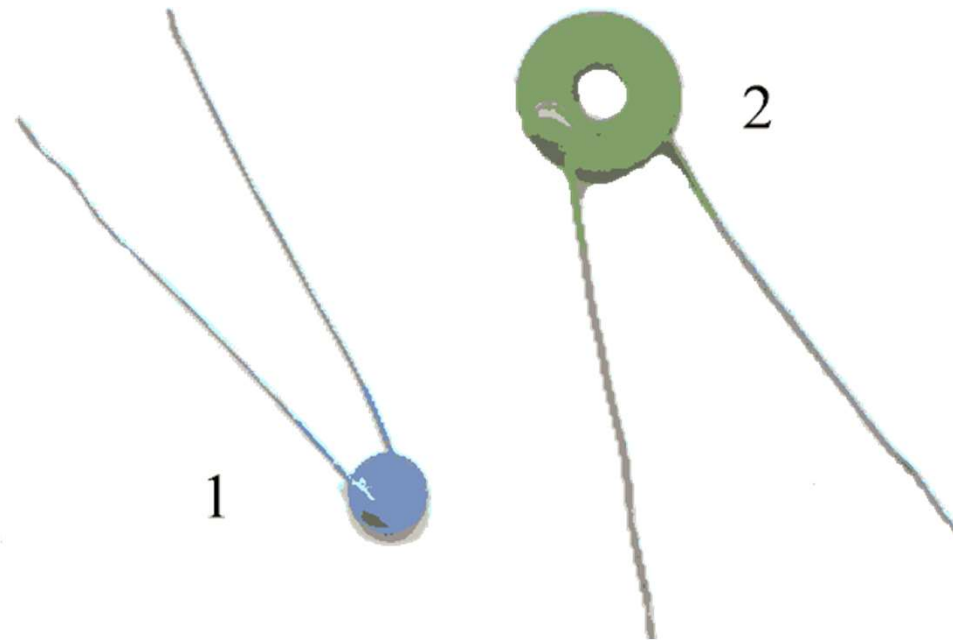
4 - контакты



Мідний чутливий елемент:

1 - моток; 2 - металева гільза; 3 - порошок;

4 - контакти



1 - позистори (позитивний ТКО)

2 - термістори (негативний ТКО)

2.2. НЕКОНТАКТНІ ВИМІРЮВАЧІ ТЕМПЕРАТУРИ

Для виміру температури **безконтактним методом**, застосовують **пірометри**

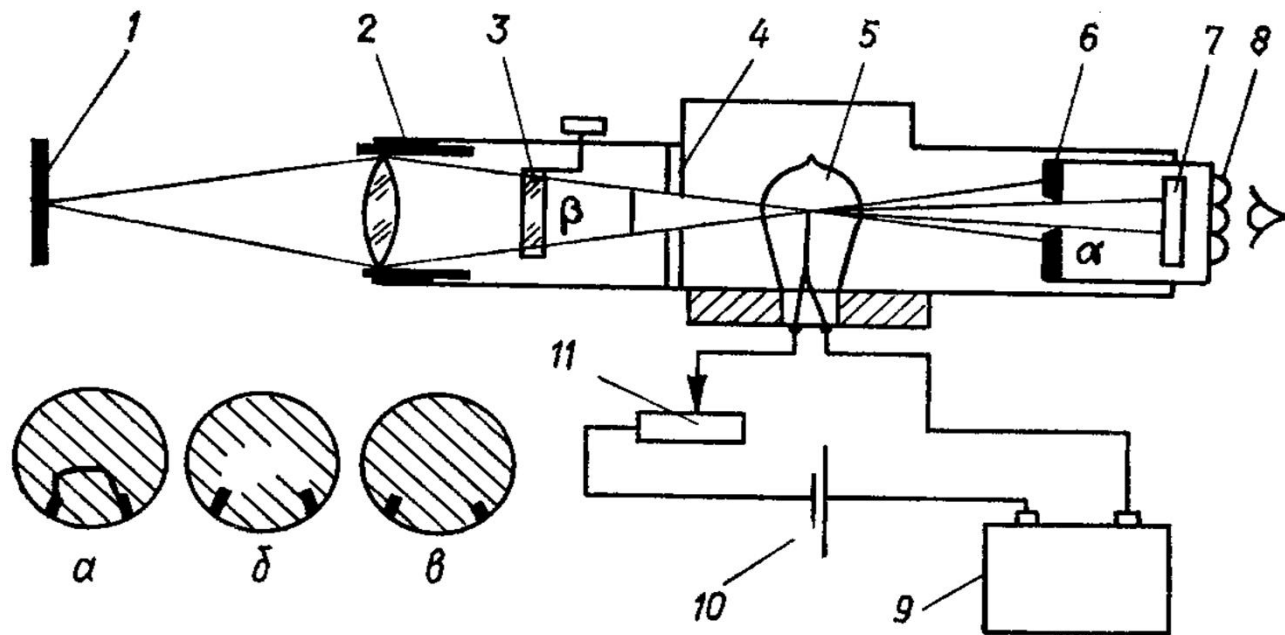
для виміру температури тіл, нагрітих вище 600 °С (для виміру температури при виплавці металів в печах і домнах).

За принципом дії, пірометри поділяються на:

- яскісні;
- радіаційні;
- колірні.

2.2.1. ЯРКІСНІ ПІРОМЕТРИ (ОПТИЧНІ)

Через оптичну систему порівнюють яскравість свічення об'єкту і еталону (вольфрамовій ниті). При збігу яскравості (нитка зникає на тлі об'єкту) вважають, що температура об'єкту і еталону однакова.



1- випромінювач, 2- лінза об'єктиву, 3- поглинаюче скло, 4,6- діафрагма, 5- пирометрична лампа, 7- червоний фільтр, 8- окуляр, 9- показуючий прилад, 10- джерело струму, 11- реостат.

Оптичний пірометр Промінь М-1



2.2.2. РАДІАЦІЙНІ ПІРОМЕТРИ

Тепловий потік, що поступає через лінзу приладу, потрапляє на термометр опору, термопару і вимірюється потужність теплового випромінювання, яка перераховується в температуру.



ПВ-6



4ПМ1

Зразкові прилади

(Клас точності 0,005-0,05)

призначені для перевірки лабораторних і технічних приладів.

Висновки

На лекції розглянуто: актуальність вивчення дисципліни, наведено методи вимірювань, погрішність виміру, клас точності вимірника, вимірювальні прилади

Завдання на самопідготовку

1. Автоматика для запобігання вибухам і пожежам. Посібник./ Дерев'янко О.А. та інш. – Харків: АЦЗУ, 2006.–279с. С. 58-225, 272 - 276.

<http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/19667>