

## ЛЕКЦІЯ 4

Розділ 1. Теоретичні основи вимірювань та вимірювальні засоби

Тема 1.2: Засоби вимірювальної техніки

### Лекція 4. Сучасні технічні засоби наукових досліджень у галузі пожежної безпеки

#### План

1. Прилади для вимірювання температури.
2. Прилади для вимірювання теплового потоку.

#### 1. Прилади для вимірювання температури.

*Температурою* називають величину, що характеризує тепловий стан тіла. Відповідно до кінетичної теорії температуру визначають як міру кінетичної енергії поступального руху молекул. Звідси температурою називають умовну статистичну величину, прямо пропорційну середньої кінетичної енергії молекул тіла.

*Тепло* є енергія, обумовлена різницею температур між тілом чи системою і навколишнім середовищем.

Безпосередньо температуру виміряти неможливо. Про її зміну судять по зміні інших фізичних властивостей тіл (об'єму, тиску, електричного опору, інтенсивності випромінювання та ін.), пов'язаних з температурою певними закономірностями. Тому методи вимірювання температури є по суті методами вимірювання зазначених вище термометричних властивостей.

***Класифікація приладів для вимірювання температури.*** Прилади для вимірювання температури розділяються залежно від використовуваних ними фізичних властивостей речовин на наступні групи з діапазоном показань:

- Термометри розширення ( $-190\dots+650^{\circ}\text{C}$ ) засновані на властивості тіл змінювати під дією температури свій об'єм.
- Манометричні термометри ( $-160\dots+600^{\circ}\text{C}$ ) працюють за принципом зміни тиску рідини, газу або пари з рідиною в замкнутому об'ємі при нагріванні або охолодженні цих речовин.
- Термометри опору ( $-200\dots+650^{\circ}\text{C}$ ) засновані на властивості металевих провідників змінювати залежно від нагрівання їхній електричний опір.
- Термоелектричні термометри ( $-50\dots+1800^{\circ}\text{C}$ ) побудовані на властивості різномірних металів і сплавів утворювати в парі (спаї) термоелектрорушійну силу, що залежить від температури спаю.
- Пірометри ( $-30\dots+6000^{\circ}\text{C}$ ) працюють за принципом вимірювання випромінюваної нагрітими тілами енергії, що залежить від температури цих тіл.

***Термометри розширення.*** Фізична властивість тіл змінювати свій об'єм залежно від нагрівання широко використовується для вимірювання температури. На цьому принципі заснований пристрій рідинних скляних і дилатометричних термометрів, які з'явилися дуже давно і послужили для створення перших температурних шкал.

В рідинних термометрах, побудованих на принципі теплового розширення рідини в скляному резервуарі, як робочі речовини використовуються ртуть і органічні рідини — етиловий спирт, толуол і ін. Найбільш широке застосування одержали ртутні термометри, що мають у порівнянні з термометрами, заповненими органічними рідинами, істотні переваги: великий діапазон вимірювання температури, при якому ртуть залишається рідкою, незмочення скла ртуттю, можливість заповнення термометра хімічно чистою ртуттю через легкість її одержання та ін.

Термометри з органічними рідинами здебільшого придатні лише для

вимірювання низьких температур у межах до  $100^{\circ}\text{C}$ .

**Дилатометричні термометри.** До дилатометричних термометрів відносяться стрижневі і пластинчастий (біметалічний) термометри, дія яких засноване на відносному подовженні під впливом температури двох твердих тіл, що мають різні температурні коефіцієнти лінійного розширення.

Стрижневий термометр (рис.1, а) має закрити з одного кінця трубку 1, що поміщується у вимірювальне середовище і виготовлену з матеріалу з більшим коефіцієнтом лінійного розширення. У трубку вставлений стрижень 2, що притискається до її дна важелем 3, з'єднаним із пружиною 4. Стрижень виготовлений з матеріалу з малим коефіцієнтом розширення. При зміні температури трубка змінює свою довжину, що приводить до переміщення в ній стрижня, що зберігає майже постійні розміри і з'єданого за допомогою важеля 3 із вказівною стрілкою приладу.

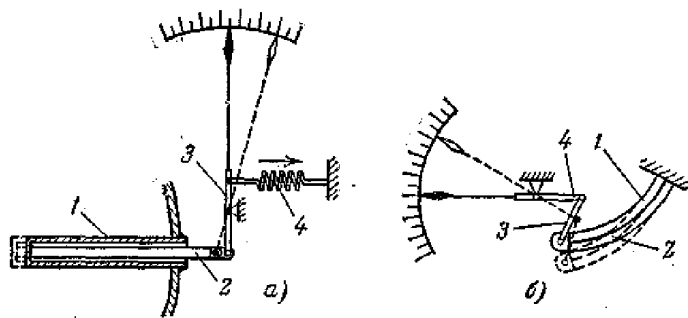


Рисунок 1 - Дилатометричні термометри: а – стрижневий; б – пластинчастий.

Пластинчастий термометр (рис.1, б) складається із двох вигнутих і спаяних між собою по краях металевих смужок, з яких смужка 1 має великий коефіцієнт лінійного розширення, а смужка 2 — малий. Отримана пластинка міняє залежно від температури ступінь свого вигину, величина якого за допомогою тяги 3, важеля 4 і з'єднаної з ним стрілки вказується по шкалі приладу. При збільшенні температури пластинка вигинається убік металу з меншим коефіцієнтом лінійного розширення.

Дилатометричні термометри не одержали поширення як самостійні прилади, а використовуються головним чином як чутливі елементи в сигналізаторах температури. Крім того, пластинчасті термометри іноді застосовуються для компенсації впливу змінної температури навколишнього повітря на показання інших приладів, у які вони вбудовуються.

**Манометричні термометри.** Дія манометричних термометрів заснована на залежності тиску рідини, газу або пари з рідиною в замкнутому об'ємі (термосистемі) від температури. Зазначені термометри є промисловими що показують і самописними приладами, призначеними для вимірювання температури в діапазоні до  $600^{\circ}\text{C}$ . Залежно від робочої речовини, яка використовується в термосистемі, манометричні термометри розділяються на газові, рідинні і конденсаційні (мають як робочу речовину органічні рідини з низькою температурою кипіння: хлористий метил, ацетон і фреон). Вибір робочої речовини виконується виходячи із заданого діапазону показань і умов вимірювання.

Схема манометричного термометра, що показує, приведена на рис.2.

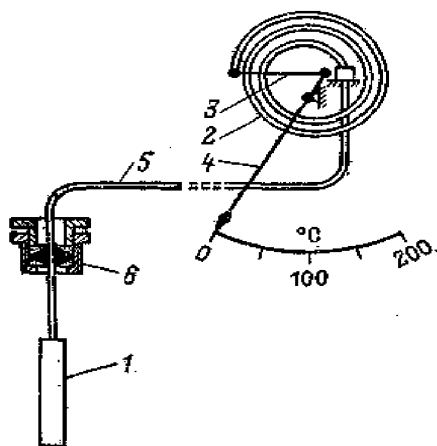


Рисунок 2 - Схема манометричного термометра, що показує

Термосистема приладу, заповнена робочою речовиною, складається з термобалону 1, що занурюється у вимірювальне середовище, манометричної трубчастої пружини 2, що діє за допомогою тяги 3 на вказівну стрілку 4, і

капіляра 5, що з'єднує пружину з термобалоном.

Термобалон являє собою металеву трубку, закриту з одного кінця, а з іншого з'єднану з капіляром. За допомогою знімного штуцера 6 з різьбленням і сальником термобалон установлюється в трубопроводах, баках і т.п. Можлива установка його і у захисній гільзі. При нагріванні термобалона збільшення тиску робочої речовини передається через капіляр трубчастій пружині і приводить до розкручування останньої доти, поки діюче на неї зусилля, пропорційне різниці тисків у системі і навколишнім повітрі, не зрівноважиться силою її пружної деформації.

***Термоелектричні термометри.*** Дія термоелектричних термометрів заснована на властивості металів і сплавів створювати термоелектрорушійну силу (термо-ЕРС), що залежить від температури місця з'єднання (спаю) кінців двох різнорідних провідників (термоелектродів), що утворюють чутливий елемент термометра — термопару. Маючи у своєму розпорядженні закон зміни термо-ЕРС термометра від температури і визначаючи значення термо-ЕРС електровимірjuвальним приладом, можна знайти шукане значення температури в місці вимірювання.

Термоелектричний термометр, що складається із двох спаяних і ізолюваних по довжині термоелектродів, захисного чохла і головки із затискачами для підключення сполучної лінії, є первинним вимірювальним перетворювачем. Як вторинні прилади, що працюють із термоелектричними термометрами, застосовуються магнітоелектричні мілівольтметри і потенціометри.

Термоелектричні термометри широко застосовуються в енергетичних установках для вимірювання температури перегрітої пари, димових газів, металу труб котлоагрегатів і т.п. Позитивними властивостями їх є: великий діапазон вимірювання, висока чутливість, незначна інерційність, відсутність стороннього джерела електричного струму і легкість здійснення дистанційної передачі показань.

Для одержання порівняно високих значень термо-ЕРС вибір термоелектродів проводиться таким чином, щоб у парі із платиною один з них створював позитивну, а інший негативну термо-ЕРС.

Термоелектричні термометри, що одержали практичне застосування, розділяються по матеріалам термоелектродів на дві групи: зі благородних (платина, платиновородій) і неблагородних металів або сплавів (хром-алюмель, хромель-копеловий сплав). Термометри типів ТПП і ТПР із термоелектродами із благородних металів і сплавів застосовуються головним чином для вимірювання температури вище 1000°C, тому що вони мають велику термостійкість. Незважаючи на відносно малі значення що розвиває термо-ЕРС термометри типу ТПП завдяки винятковій сталості термоелектричних властивостей і великому діапазону вимірювання одержали широке поширення головним чином як лабораторні, зразкові і еталонні.

Випускаються одинарні (з одним чутливим елементом) і подвійні (із двома чутливими елементами) термоелектричні термометри різних типів.

Подвійні термометри застосовуються для вимірювання температури в тому самому місці одночасно двома вторинними приладами, установленими в різних пунктах спостереження. Вони містять два однакових чутливих елементи, з'єднаних у загальні арматури. Термоелектроди ізольовані одне від одного і знаходяться у захисному чохлі.

На рис.3 показаний устрій термометра типу ТПП. Термоелектроди, що утворюють робочий кінець (спай) 1, ізольовані по довжині порцеляновими трубками 2 і 3 і поміщені в захисний чохол 4, розрахований на атмосферний тиск. Для додання чохла додаткової міцності неробоча частина його вставлена в сталеву трубку 5. За допомогою сталевих втулок 6 і 7 захисний чохол з'єднаний з корпусом 8, у якому закріплені два затискачі 9 із припаяними до них термоелектродами, ущільненими мастикою 10. Корпус закритий знімною кришкою 11 на різьбленні, ущільненим прокладкою 12.

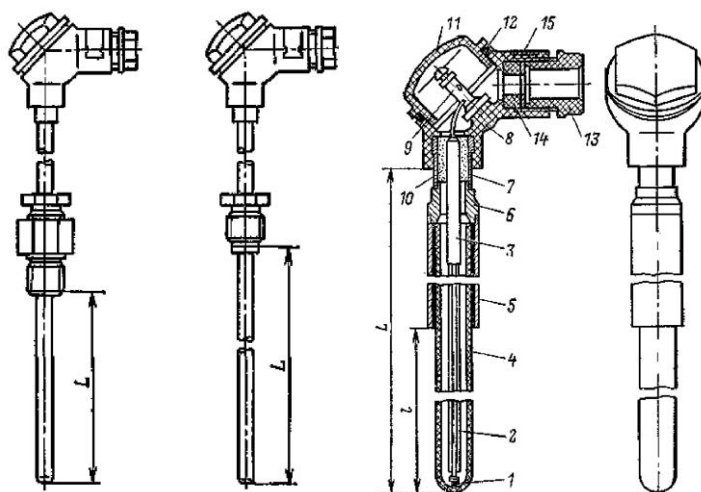


Рисунок 3 - Термоелектричний термометр типу ТПП (А) и ТХА (Б)

Для введення в корпус зовнішніх сполучних проводів служить штуцер 13 з ущільненням 14. На поверхні закріплена металева табличка 15, на якій зазначені: тип термометра, допускаємий тиск і кінцеву температуру вимірюваного середовища, матеріал захисного чохла, дата виготовлення термометра і марка підприємства-виробника.

На точність вимірювання термоелектричним термометром великий вплив роблять спосіб установки і правильність проведення перевірки термометра і вторинного приладу.

Одним з основних вимог, які рекомендуються при установці термоелектричного термометра, є досягнення мінімального витoku тепла по його арматурах. Для цього термометр можливо глибше занурюють у вимірювальне середовище, що приводить до збільшення теплосприймаючої поверхні, і розташовується в місцях з великою швидкістю потоку, що поліпшує умови теплообміну.

**Термометри опору.** Для вимірювання температури широке застосування отримали термометри опору, дія яких заснована на зміні електричного опору металевих провідників залежно від температури. Метали, як відомо, збільшують при нагріванні свій опір. Отже, знаючи

залежність опору провідника від температури і визначаючи цей опір за допомогою електровимірювального приладу, можна судити про температуру провідника.

Застосовуються технічні (промислові), зразкові і еталонні платинові термометри опору.

Термометр опору, чутливий елемент якого складається з тонкого спірального дроту (обмотки), ізольованого і поміщеного в металевий захисний чохол з головкою для підключення сполучних проводів, є первинним вимірювальним перетворювачем, які живляться від стороннього джерела струму.

Як вторинні прилади, що працюють із термометрами опору, застосовуються врівноважені і неуврівноважені вимірювальні мости і магнітоелектричні логометри.

Кінцева межа вимірів дротових термометрів опору, обумовлена стійкістю їх при нагріванні, дорівнює  $650^{\circ}\text{C}$ .

Достоїнствами термометрів опору є: висока точність вимірювання, можливість одержання приладів з безнульовою шкалою на вузький діапазон температур, легкість здійснення автоматичного запису і дистанційної передачі показань і можливість приєднання до одного вторинного приладу за допомогою перемикача декількох однотипних термометрів. До недоліків цих приладів ставиться потреба в стороннім джерелі струму.

**Пірометри.** Пірометри застосовуються для вимірювання температури тіл у діапазоні  $-30 \dots 6000^{\circ}\text{C}$ . Дія цих приладів заснована на залежності теплового випромінювання нагрітих тіл від їхньої температури і фізико-хімічних властивостей. На відміну від термометрів первинний перетворювач пірометра не підпадає під вплив високої температури і не змінює температурне поле, тому що перебуває поза вимірювальним середовищем.

З підвищенням температури нагрітого тіла інтенсивність його теплового випромінювання у вигляді електромагнітних хвиль різної довжини



швидко зростає. При нагріванні до  $500^{\circ}\text{C}$  тіло випромінює невидимі інфрачервоні промені великої довжини хвилі, однак подальше збільшення температури викликає появу видимих променів меншої довжини, завдяки яким тіло починає світитися. Спочатку розпечене тіло має темно-червоні кольори, що у міру росту температури і появи променів, що поступово зменшуються за довжиною хвилі, переходить у червоний, жовтогарячий, жовтий і, нарешті, білі кольори, що складається з комплексу променів різної довжини хвилі.

Одночасно зі збільшенням температури нагрітого тіла і зміною його кольору сильно зростає інтенсивність часткового (монохроматичного або одноколірного) випромінювання (яскравість) для даної ефективної довжини хвилі, а також помітно збільшується інтенсивність сумарного випромінювання (радіація) тілом енергії, що дозволяє використовувати ці властивості для вимірювання температури нагрітих тіл.

Різні фізичні тіла, що нагріті до однієї і тієї ж температури, мають неоднакові часткову і сумарну інтенсивності випромінювання і мають різні коефіцієнти поглинання, що представляють собою відношення енергії, поглиненої тілом, до енергії, що падає на тіло.

Найбільшу здатність випромінювання і поглинання енергії має так називане абсолютно чорне тіло, у природі не існуюче, що представляє собою уявлюваний ідеальний випромінювач. Це тіло поглинає всі падаючі на нього промені, тобто має коефіцієнт поглинання, що дорівнює одиниці, і має найбільшу інтенсивність випромінювання. Фізичні тіла мають здатність відбивати частину падаючих на них променів і, отже, завжди мають коефіцієнт поглинання менше одиниці. Інтенсивність випромінювання і коефіцієнт поглинання при даній температурі залежать від складу речовини і стану його поверхні. Тіло, що має темну і шорсткувату поверхню, ближче по своїх властивостях до чорного тіла, чим тіло зі світлою і полірованою поверхнею.

У цьому зв'язку шкалу пірометра доводиться градуювати по випромінюванню чорного тіла. Тому що випромінювальна здатність реальних тіл менше, ніж чорних тіл, то показання пірометра будуть відповідати не дійсній температурі реального тіла, а дають умовну температуру або, у цьому випадку, так названу температуру яскравості. Пірометри, що вимірюють температуру яскравості по спектральній яскравості у видимій частині спектра, називають оптичними (квазімонохроматичні) візуальними пірометрами і фотоелектричними.

Прилади, що вимірюють температуру за значенням відносини енергетичних яскравостей у двох спектральних інтервалах, називають кольорними пірометрами або пірометрами спектрального відношення.

Оптичні пірометри широко застосовуються в лабораторних і виробничих умовах для вимірювання температур вище  $800^{\circ}\text{C}$ . Принцип дії оптичних пірометрів заснований на порівнянні спектральної яскравості тіла зі спектральною яскравістю градуйованого джерела випромінювання. Як чутливий елемент, що визначає збіг спектральних яскравостей у візуальних оптичних пірометрах, служать очі людини. Найпоширенішим є оптичний пірометр зі зникаючою ниткою, схема якого наведена на рис. 4, а. Для вимірювання температури об'єктів приладу направляється на об'єкт вимірювання ОИ так, щоб спостерігач на його тлі побачив в окулярі 7 нитку оптичної лампи 4.

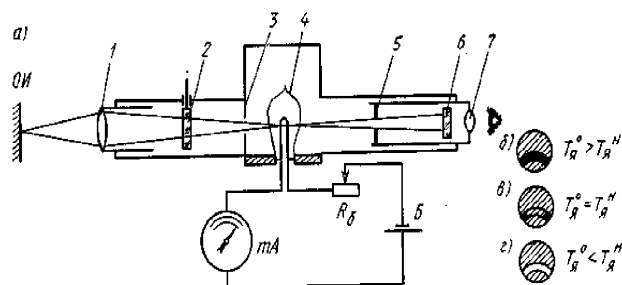


Рисунок 4. Схема оптичного пірометра

Порівняння спектральних яскравостей об'єкта вимірювання і нитки лампи 4 здійснюються звичайно при довжині хвилі рівної  $0,65\text{ мкм}$ , для чого

перед окуляром установлений червоний світлофільтр 6. Вибір червоного світлофільтра обумовлений тим, що око людини сприймає через цей фільтр тільки частину спектра його пропущення, що наближається до монохроматичного променя. Крім того, застосування червоного світлофільтра дозволяє знизити нижню межу вимірювання пірометра.

Спостерігаючи за зображенням нитки лампи на тлі об'єкта вимірювання (світлий фон — темна нитка (рис.4, б); темний фон — світла нитка (рис.4, г)) за допомогою реостата змінюють силу струму, що йде від батареї Б до нитки лампи, доти, поки яскравість нитки не стане рівною видимій яскравості об'єкта вимірювання. При досягненні зазначеної рівності нитка «зникає» на фоні зображення об'єкта вимірювання (рис.4, в). У цей момент по шкалі міліамперметра, попередньо градірованого в значеннях температури яскравості нитки лампи, визначають яскравісну температуру об'єкта. По обмірюваній яскравісній температурі і відповідних вираженнях розраховують істинну температуру об'єкта.

Звичайно в оптичних пірометрах є дві шкали, однією з яких користуються при не встановленому поглинаючому світлофільтрі, наприклад від 800 до 1200°C, а другий — при встановленому світлофільтрі від 1200 до 2000°C. Існуючі в цей час оптичні пірометри призначені для вимірювання температур в інтервалі від 800 до 6000°C и мають різні модифікації з різними межами вимірювання. Клас точності оптичних пірометрів 1,5-4,0.

На точність вимірювання температури оптичними пірометрами впливають ступінь відхилення властивостей випромінювача від властивостей чорного тіла, а також поглинання променів проміжним середовищем, через яку проводиться спостереження. На результатах вимірювання впливають наявність у навколишнім повітрі пилу, диму і великого змісту двоокису вуглецю. Крім того, усяке забруднення оптичної системи пірометрів також веде до збільшення похибки вимірювання.

Достоїнствами оптичних пірометрів є порівняно висока точність

вимірювання, компактність приладу і простота роботи з ними. До числа їхніх недоліків варто віднести потребу в джерелі живлення, неможливість стаціонарного вимірювання температури і автоматичного її запису, а також суб'єктивність методу вимірювання, заснованого на спектральній чутливості очей спостерігача.

Багато реальних тіл, такі, як кераміка, оксиди металів, вогнестійкі вироби, графіт і ін., є практично сірими. У цьому зв'язку переваги колірного методу вимірювання очевидні, тому що колірна температура багатьох твердих і рідких тіл значно менше відрізняється від істинної температури, чим яскравісна або радіаційна.

Фотоелектричні пірометри. На відміну від оптичних візуальних пірометрів фотоелектричні пірометри є автоматичними. Чутливими елементами, що сприймають променисту енергію, у цих приладах можуть служити фотоелементи, фотомножники, фотоелементи опору і фотодіоди. Вимір температури фотоелектричними пірометрами, як і оптичними візуальними, засновано на залежності спектральної яскравості тіла від його температури.

Фотоелектричні пірометри за принципом дії бувають двох типів. До першого типу відносяться прилади, у яких сприймана приладом промениста енергія, потрапляючи на чутливий елемент, змінює його параметри (фотострум, опір). У приладах другого типу вимір променистої енергії здійснюється компенсаційним методом, тут чутливий елемент працює в режимі нуль-індикатора, порівнюючи інтенсивності випромінювання від вимірюваного тіла і стабільного джерела випромінювання - мініатюрної лампочки накаливання.

Пірометри сумарного випромінювання. Вимірювання температури пірометрами сумарного випромінювання засновано на використанні теплового випромінювання нагрітих тіл. Теплові промені, які уловлюються пірометром, концентруються за допомогою збірної лінзи на термочутливому

елементі, що складається з невеликої термобатарей. Променистий потік направляється лінзою на робочі кінці термобатарей, по ступені нагрівання яких судять про температуру випромінювача. Вторинним приладом пірометра служить мілівольтметр або автоматичний потенціометр. Пірометр сумарного випромінювання характеризується рядом переваг у порівнянні з візуальним, що полягають в об'єктивності методу вимірювання, відсутності стороннього джерела живлення і можливості застосування дистанційної передачі показань на вторинні прилади, але уступає йому, як було зазначено раніше, у точності вимірювання.

Для вимірювання температур вище  $3000^{\circ}\text{C}$  методи пірометрії є практично єдиними, тому що вони безконтактні. Теоретично верхня межа вимірювання температури пірометрами випромінювання необмежена.

## 2. Прилади для вимірювання теплового потоку

**Тепловий потік** — кількість теплоти, передане через ізотермічну поверхню в одиницю часу. Тепловий потік вимірюється у ватах або ккал/год ( $1 \text{ Вт} = 0,86 \text{ ккал/год}$ ).

Тепловий потік, віднесений до одиниці ізотермічної поверхні, називається густиною теплового потоку або теплової навантаженням; позначається зазвичай  $q$ , вимірюється у  $\text{Вт/м}^2$  або  $\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ .

**Щільність теплового потоку** — вектор, кожна компонента якого чисельно дорівнює кількості теплоти, що передається в одиницю часу через одиницю площі, перпендикулярної до напрямку взятої компоненти.

Вимірювання щільності теплового потоку грає вирішальну роль в різних сферах життєдіяльності людини. Маючи інформацію про значеннях теплового потоку, можливо, встановити, наскільки продуктивно функціонують пристрої, які поглинають або навпаки віддають тепло, оцінити теплоізоляцію будівель і споруд, а також вжити заходів до забезпечення

пожежної безпеки.

Вимірювання густини радіаційного теплового потоку, передбачено стандартами ГОСТ 24632-81, ГОСТ 12.1.044-89, ДСТУ Б В.2.7.-70-98 (ГОСТ 30444-97).

Прилади призначені для вимірювання щільності теплового потоку випромінювання (або інтенсивності теплового опромінення, енергетичної освітленості, опромінення) в інфрачервоній області спектра, а також для оцінки експозиційної дози теплового опромінення персоналу в виробничих і житлових приміщеннях, особового складу рятувальних підрозділів під час гасіння пожеж, обумовленого впливом локальних і загальних джерел тепла.

Принцип дії вимірювача полягає в перетворенні падаючого на чорну кулю теплового потоку в електричний сигнал, пропорційний щільності цього потоку (опромінення), з подальшим масштабуванням і індикацією результату вимірювання.

Підвищення температури всередині чорної кулі визначає пропорційну опромінення реакцію на зовнішнє теплове випромінювання, усереднену за кутом  $4\pi$  ( $360^\circ$ ) і часу експозиції, еквівалентну реакції тіла людини на такі фактори навколишнього середовища, як радіаційний і конвективний теплообмін. Це підвищення температури вимірюється по індукованому інфрачервоному випромінюванні від внутрішньої поверхні чорної кулі за допомогою розташованого усередині неї фотоприйомного модуля.

Фотоприйомний модуль містить неселективний (в діапазоні довжин хвиль від 1,5 до 20 мкм) приймач випромінювання, датчик температури корпусу модуля і схему компенсації температури навколишнього середовища. Дані модуля обробляються мікроконтролером, і на дисплей електронного блоку вимірювача виводяться значення виміряної опроміненості, а також проводиться індикація температури всередині чорної кулі і температури навколишнього середовища.

### Питання для самоконтролю

1. Класифікація приладів для вимірювання температури
2. Принцип дії термометрів розширення
3. Принцип дії дилатометричних термометрів
4. Принцип дії манометричних термометрів
5. Принцип дії термоелектричних термометрів
6. Принцип дії термометрів опору
7. Принцип дії пірометрів
8. Призначення приладів для вимірювання щільності теплового потоку
9. Принцип дії приладів для вимірювання теплового потоку

### Рекомендована література

1. Дорожовець М. Опрацювання результатів вимірювань: Навч. посібник. - Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2007. - 624 с.