

МЕХАНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра теплотехніки та теплових двигунів

**ПРИЛАДИ, ЩО ЗАСТОСОВУЮТЬ
ПРИ ВИПРОБУВАННІ Й ЕКСПЛУАТАЦІЇ
ТЕПЛОСИЛОВИХ УСТАНОВОК**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторної роботи
з дисципліни
«ТЕПЛОТЕХНІКА»**

Харків - 2013

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри теплотехніки та теплових двигунів 22 листопада 2011 р., протокол № 8.

Рекомендуються для студентів спеціальностей: “Локомотиви та локомотивне господарство”, “Вагони та вагонне господарство”, “Підйомно-транспортні, дорожні, меліоративні машини і обладнання” денної та заочної форм навчання.

Укладачі:

проф. А.О. Каграманян,
старш. викл. П.В. Рукавішников,
асист. Л.О. Пархоменко

Рецензент

проф. С.А. Єрощенко

ПРИЛАДИ, ЩО ЗАСТОСОВУЮТЬ
ПРИ ВИПРОБУВАННІ Й ЕКСПЛУАТАЦІЇ
ТЕПЛОСИЛОВИХ УСТАНОВОК

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторної роботи
з дисципліни

«ТЕПЛОТЕХНІКА»

Відповідальний за випуск Рукавішников П.В.

Редактор Еткало О.О.

Підписано до друку 12.12.11 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 1,25. Тираж 100. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Українська державна академія залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейербаха, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ

МЕХАНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра “Теплотехніка та теплові двигуни”

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторної роботи

з дисципліни

“ТЕПЛОТЕХНІКА”

**Прилади, що застосовують при випробуванні і експлуатації
теплових установок**

Харків 2011

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри ТТД 22 листопада 2011 р., протокол №8.

Рекомендуються для студентів спеціальностей: “Локомотиви та локомотивне господарство”, “Вагони та вагонне господарство”, “Підйомно-транспортні, дорожні, меліоративні машини і обладнання” денної та заочної форм навчання.

Укладачі:

проф. А.О. Каграманян,
старш. викл. П.В. Рукавішников,
асист. Л.О. Пархоменко

Рецензент
проф. С.А. Єроценков

ЗМІСТ

1	Загальні відомості про вимірювання	4
1.1	Поняття про вимірювання, види і методи вимірювань	4
1.2	Загальні відомості про засоби вимірювань	6
1.3	Загальні відомості про точність вимірювань і похибки вимірювань	8
2	Вимірювання температури	11
2.1	Основні відомості про температуру і температурні шкали	11
2.2	Термометри скляні рідинні	13
2.3	Термометри манометричні	16
2.4	Термометри термоелектричні (термопари)	21
2.4.1	Включення вимірювального приладу в ланцюг термоелектричного термометра	23
2.4.2	Основні вимоги до термоелектродних матеріалів	23
2.4.3	Будова термоелектричних термометрів	24
2.5	Термометри опору	26
2.5.1	Загальні відомості	26
2.5.2	Будова термометрів опору	27
2.6	Пірометри випромінювання	28
2.6.1	Опис пірометрів випромінювання	28
2.6.2	Оптичні пірометри	29
2.6.3	Радіаційні пірометри	29
3	Вимірювання тиску і різниці тисків	33
3.1	Основні відомості про тиск і одиниці вимірювання тиску	33
3.2	Рідинні U-подібні та чашкові прилади тиску	35
3.3	Мікроманометри	38
3.4	Манометри з пружним чутливим елементом (деформаційні манометри)	40
4	Витратоміри	40
4.1	Загальні відомості	40
4.2	Вимірювання витрати за перепадом тиску на звужувальному пристрої	43
4.3	Методика вимірювання витрати речовин за допомогою звужувальних пристроїв	44
	Контрольні запитання	45
	Список літератури	46

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ВИМІРЮВАННЯ

1.1 Поняття про вимірювання, види і методи вимірювань

Вимірюванням називається процес отримання дослідним шляхом числового співвідношення між вимірюваною величиною і деяким її значенням, прийнятим за одиницю порівняння.

Число, що виражає відношення вимірюваної величини до одиниці вимірювання, називається **числовим значенням** вимірюваної величини. Значення величин, прийняте за одиницю вимірювання, називається розміром цієї одиниці.

Якщо x - вимірювана величина, u - одиниця вимірювання, A - числове значення вимірюваної величини у прийнятій одиниці, то результат вимірювання величини x може бути поданий таким рівнянням:

$$x = A \cdot u. \quad (1.1)$$

Рівняння (1.1) називають основним рівнянням вимірювання. З цього рівняння випливає, що значення A залежить від розміру вибраної одиниці вимірювання u . Чим менша обрана одиниця, тим більше для даної вимірюваної величини буде числове значення.

За способом отримання числового значення величини, які визначаються вимірюванням, можна розділити на два види: прямі і непрямі.

До прямих вимірювань належать ті, результат яких одержують безпосередньо з дослідних даних. При цьому значення шуканої величини одержують або шляхом безпосереднього порівняння її із мірами, або за допомогою вимірювальних приладів, градуйованих у відповідних одиницях.

Прямі вимірювання є досить поширеним видом технічних вимірювань. До них належать вимірювання довжини метром, температури термометром, тиску манометром і т. п.

До непрямих вимірювань належать ті, результат яких одержують на підставі прямих вимірювань декількох інших

величин, пов'язаних з шуканою величиною певною залежністю. До непрямих вимірювань належить визначення витрати рідини, газу і пари за перепадом тиску у звужувальному пристрої і т. п. Непрямі вимірювання застосовуються в техніці та наукових дослідженнях у тих випадках, коли шукану величину неможливо або складно виміряти безпосередньо шляхом прямого вимірювання або коли непряме вимірювання дозволяє отримати більш точні результати.

У метрологічній практиці, крім розглянутих видів вимірювань, застосовують сукупні і спільні види вимірювання.

У залежності від призначення і від пропонованої до них точності вимірювання поділяються на лабораторні (точні) і технічні.

Під принципом вимірювання розуміється сукупність фізичних явищ, на яких засновані вимірювання, наприклад, вимірювання температури з використанням термоелектричного ефекту, вимірювання витрати рідини за перепадом тиску у звужувальному пристрої. Під методом вимірювань розуміється сукупність прийомів використання принципів і засобів вимірювань.

Процес вимірювання, способи проведення його та засоби вимірювань, за допомогою яких він здійснюється, залежать від вимірюваної величини, існуючих методів і умов вимірювання. При виконанні теплотехнічних вимірювань широко застосовують метод безпосередньої оцінки, метод порівняння з мірою і нульовий метод.

Під методом **безпосередньої оцінки** розуміється метод вимірювання, у якому значення вимірюваної величини визначають безпосередньо за відрахунковим пристроєм вимірювального приладу прямої дії, наприклад, вимірювання тиску манометром, вимірювання температури термометром і т. ін. Він є найпоширенішим, особливо в промислових умовах.

Метод **порівняння з мірою** - метод, у якому вимірювану величину порівнюють з величиною відтвореної міри, наприклад вимірювання ЕРС термоелектричного термометра або напруги постійного струму на компенсаторі порівнянням з ЕРС нормального елемента. Його часто називають компенсаційним.

Нульовим називається метод, при якому ефект дії вимірюваної величини повністю врівноважується ефектом відомої величини так, що в результаті їх взаємна дія зводиться до нуля. Застосовуваний при цьому прилад служить тільки для встановлення факту досягнення рівноваги і в цей момент показання приладу стає рівним нулю. Прилад, застосовуваний при нульовому методі, сам по собі нічого не вимірює, і тому його зазвичай називають нульовим. Нульовий метод має високу точність вимірювання. Нульові прилади, застосовувані для здійснення даного методу, повинні мати високу чутливість. Поняття точність до нульових приладів не допустимо. Точність результату вимірювання, яке проводиться за нульовим методом, визначається в основному точністю застосовуваної зразкової міри і чутливістю нульового приладу.

1.2 Загальні відомості про засоби вимірювань

Засобами вимірювань називають технічні засоби, що використовуються при вимірюваннях і мають нормовані метрологічні характеристики, характеристики властивостей засобів вимірювань, що впливають на результати і похибки вимірювань.

Основними видами засобів вимірювань є міри, вимірювальні прилади, вимірювальні перетворювачі та вимірювальні пристрої.

Міра – засіб вимірювань, призначений для відтворення фізичної величини заданого розміру. Наприклад, гиря є мірою маси, вимірювальний резистор – мірою електричного опору; температурна лампа – мірою яскравісної або колірної температури.

Вимірювальним приладом називають засіб вимірювань, призначений для вироблення сигналу вимірювальної інформації у формі, доступній для безпосереднього сприйняття спостерігачем.

Вимірювальний прилад, показання якого є безперервною функцією змін вимірюваної величини, називають **аналоговим вимірювальним приладом**. Якщо показання приладу, що автоматично виробляє дискретні сигнали вимірювальної

інформації, подані в цифровій формі, прилад називають цифровим.

Показувальним вимірювальним приладом називають прилад, який допускає тільки відлік показань. Якщо у вимірювальному приладі передбачена реєстрація показань, то його називають **реєструвальним**.

Самописним вимірювальним приладом називають реєструвальний прилад, у якому передбачений запис показань у формі діаграми. Реєструвальний прилад, у якому передбачено друкування показань у цифровій формі, називають **друкувальним**.

Вимірювальним приладом прямої дії називають прилад, у якому передбачене одне або декілька перетворень сигналу вимірювальної інформації в одному напрямку, тобто без застосування зворотного зв'язку, наприклад, показувальний манометр, ртутно-скляний термометр.

Вимірювальний прилад, у якому величина, що підводиться, зазнає інтегрування за часом або за іншою незалежною змінною, називають інтегрувальним вимірювальним приладом.

Вимірювальним перетворювачем називають засіб вимірювань, призначений для вироблення сигналу вимірювальної інформації у формі, зручній для передачі, подальшого перетворення, обробки та зберігання, але яка не зазнає безпосереднього сприйняття спостерігачем. Вимірювальні перетворювачі залежно від їх призначення і функцій можуть бути поділені на первинні, проміжні, передавальні, масштабні та інші.

Вимірювальними пристроями називають засоби вимірювань, які складаються з вимірювальних приладів і вимірювальних перетворювачів. Вимірювальні пристрої залежно від їх призначення і функцій можуть бути поділені на первинні та проміжні вимірювальні прилади.

Під **первинним вимірювальним пристроєм** (первинним приладом) розуміють засіб вимірювань, до якого підведена вимірювана величина. **Проміжним вимірювальним пристроєм** (проміжним приладом) називають засіб вимірювань, до якого підведено вихідний сигнал первинного перетворювача (наприклад перепад тиску, створюваний звукувальним пристроєм). Первинні та проміжні прилади, забезпечені

передавальними перетворювачами, можуть бути виконані з відліковими пристроями або без них.

Вторинними вимірювальними пристроями (вторинними приладами) називають засоби вимірювань, які призначені для роботи в комплекті з первинними або проміжними приладами, а також з деякими видами первинних і проміжних перетворювачів.

1.3 Загальні відомості про точність вимірювань і похибки вимірювань

При вимірюванні будь-якої величини, як би ретельно ми не проводили вимірювання, неможливо отримати вільний від спотворення результат. Причини цих спотворень можуть бути різні. Спотворення можуть бути викликані недосконалістю застосовуваних методів вимірювання, засобів вимірювань, непостійністю умов вимірювання і низкою інших причин. Спотворення, які виходять при будь-якому вимірюванні, обумовлюють **похибку вимірювання** - відхилення результату вимірювання від дійсного значення вимірюваної величини.

Похибка вимірювання може бути виражена в одиницях вимірюваної величини, тобто у вигляді **абсолютної похибки**, яка являє собою різницю між значенням, отриманим при вимірюванні, і дійсним значенням вимірюваної величини

$$\Delta = x - x_0 \quad (1.2)$$

Похибка вимірювання може бути виражена також у вигляді **відносної похибки** вимірювання, що являє собою відношення абсолютної похибки до дійсного значення вимірюваної величини

$$\delta = \frac{\Delta}{x_0} \cdot 100 \quad (1.3)$$

Наведена похибка виражена відношенням абсолютної похибки засобу вимірювання до умовно прийнятого значення величини, яке постійне у всьому діапазоні вимірювань

$$\delta_x = \frac{\Delta}{x_n} \quad (1.4)$$

де x_n – нормоване значення, яке залежить від типу шкали вимірювального пристрою і визначається за його градуванням.

Похибка результату вимірювання дає уявлення про те, які цифри в числовому значенні величини, отриманому в результаті вимірювання, є сумнівними. Округляти числове значення результату вимірювання необхідно відповідно до числового розряду значущої цифри похибки, тобто числове значення результату вимірювання повинне закінчуватися цифрою того ж розряду, що і значення похибки. При округленні рекомендується користуватися правилами наближених обчислень.

Похибки вимірювання в залежності від характеру причин, що викликають їх появу, розділяють на випадкові, систематичні та грубі.

Під **випадковою похибкою** розуміють похибку вимірювання, яка змінюється випадково при повторних вимірюваннях однієї і тієї ж величини. Вони викликаються причинами, які не можуть бути визначені при вимірюванні та на які не можна вплинути. Наявність випадкових похибок можна виявити лише при повторенні вимірювань однієї і тієї ж величини з однаковою ретельністю. Якщо при повторенні вимірювань виходять однакові числові значення, то це вказує не на відсутність випадкових похибок, а на недостатню точність і чутливість методу або засобу вимірювань.

Випадкові похибки вимірювань непостійні за значенням і за знаком. Вони не можуть бути визначені окремо і викликають неточність результату вимірювання. Однак за допомогою теорії ймовірностей і методів статистики випадкові похибки вимірювань можуть бути кількісно визначені й охарактеризовані в їх сукупності, причому тим надійніше, чим більше число проведених спостережень.

Під **систематичною похибкою** розуміють похибку вимірювання, що залишається постійною або закономірно змінюється при повторних вимірюваннях однієї і тієї ж величини. Якщо систематичні похибки відомі, тобто мають певне значення і певний знак, вони можуть бути виключені шляхом внесення поправок.

Поправкою називають значення величини, однойменної з вимірюваною, яка додається до отриманого при вимірюванні

значення величини з метою виключення систематичної похибки. Зазначимо, що поправку, яку вводять у показання вимірювального приладу, називають **поправкою до показання** приладу; поправку, яка додається до номінального значення міри, називають **поправкою до значення** міри. У деяких випадках користуються поправковим множником, під останнім розуміють число, на яке множать результат вимірювання з метою виключення систематичної похибки. Зазвичай розрізняють такі різновиди систематичних похибок: інструментальні, методу вимірювань, суб'єктивні, установки, методичні.

Під **інструментальними похибками** розуміють похибки вимірювання, що залежать від похибок застосовуваних засобів вимірювань. При застосуванні засобів вимірювань підвищеної точності інструментальні похибки, викликані недосконалістю засобів вимірювань, можуть бути виключені шляхом введення поправок. Інструментальні похибки технічних засобів вимірювань не можуть бути виключені, так як ці засоби вимірювань при їх повірці поправками не забезпечуються.

Під **похибкою методу вимірювань** розуміють похибку, що трапляється від недосконалості методу вимірювань. Вона виникає порівняно часто при застосуванні нових методів, а також при застосуванні апроксимуючих рівнянь, що представляють іноді неточне наближення до діючих залежностей величин один від одного. Похибка методу вимірювання повинна враховуватися при оцінці похибки засобу вимірювань і, зокрема, вимірювальної установки, а іноді й похибки результату вимірювань.

Суб'єктивні похибки (що бувають місце при неавтоматичних вимірюваннях) викликаються індивідуальними особливостями спостерігача, наприклад, запізнювання або випередження в реєстрації моменту будь-якого сигналу, неправильна інтерполяція при відліку показань у межах однієї поділки шкали.

Похибки установки виникають унаслідок неправильного установлення стрілки вимірювального приладу на початкову позначку шкали або недбалого установлення засобу вимірювання, наприклад не за виском чи рівнем.

Методичні похибки вимірювань являють собою такі похибки, які визначаються умовами (або методикою)

вимірювання величини (тиску, температури і т. д. даного об'єкта) і не залежать від точності застосовуваних засобів вимірювань. Методична похибка може бути викликана, наприклад, додатковим тиском стовпа рідини в сполучній лінії, якщо прилад, що вимірює тиск, буде встановлений нижче або вище місця відбору тиску, а при вимірюванні температури термоелектричним термометром у комплекті з вимірювальним приладом - умовами теплообміну із середовищем, температура якого вимірюється. При виконанні вимірів, особливо точних, необхідно мати на увазі, що систематичні похибки можуть значно спотворити результати вимірювання. Тому перш ніж почати вимірювання необхідно з'ясувати всі можливі джерела систематичних похибок і вжити заходів до їх виключення або визначення.

Під **грубою похибкою** вимірювання розуміється похибка вимірювання, яка істотно перевищує очікувану за даних умов.

При вимірюванні змінної в часі величини результат вимірювання може виявитися спотвореним, крім похибок, розглянутих вище, похибкою ще одного виду, що виникає тільки в динамічному режимі і що отримала внаслідок цього найменування динамічної похибки засобу вимірювань. При вимірюванні змінної в часі величини динамічна похибка може виникнути внаслідок неправильного вибору засобу вимірювань або невідповідності вимірювального приладу умовам вимірювання. При виборі засобу вимірювань необхідно знати динамічні властивості його, а також закон зміни вимірюваної величини.

2 ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

2.1 Основні відомості про температуру і температурні шкали

Температура є одним з найважливіших параметрів технологічних процесів. Вона має деякі принципові особливості, що обумовлюють необхідність застосування великої кількості методів і технічних засобів для її вимірювання.

Температура може бути визначена як параметр теплового стану. Значення цього параметра обумовлюється середньою кінетичною енергією поступального руху молекул даного тіла. При зіткненні двох тіл, наприклад газоподібних, перехід тепла від одного тіла до другого буде відбуватися до тих пір, поки значення середньої кінетичної енергії поступального руху молекул цих тіл не будуть рівні. Зі зміною середньої кінетичної енергії руху молекул тіла змінюється ступінь його нагрятості, а разом з тим змінюються також фізичні властивості тіла. При даній температурі кінетична енергія кожної окремої молекули тіла може значно відрізнятися від його середньої кінетичної енергії. Тому поняття температури є статистичним і застосовується лише до тіла, що складається з досить великої кількості молекул; у застосуванні до окремої молекули воно безглуздо.

Вимірюючи температуру за шкалою, яка побудована на довільному допущенні лінійної залежності між властивістю термометричного тіла і температурою, ми ще не досягаємо однозначного числового вимірювання температур. Тому виміряну таким чином температуру (тобто за об'ємним розширенням деяких рідин, за електричним опором металів і т. д.) зазвичай називають умовною, а шкалу, за якою вона вимірюється, умовною шкалою.

Слід зазначити, що з числа старих умовних температурних шкал найбільшого поширення набула стоградусна температурна шкала Цельсія, градус якої дорівнює сотій частині основного температурного інтервалу. За основні точки цієї шкали прийняті точка плавлення льоду (0) і точка кипіння води (100) при нормальному атмосферному тиску.

Шлях до створення єдиної температурної шкали, не пов'язаної з будь-якими окремими термометричними властивостями і придатної в широкому інтервалі температур, був знайдений у використанні законів термодинаміки. Незалежною від властивостей термометричної речовини є шкала, заснована на другому законі термодинаміки. Вона запропонована в середині минулого століття Кельвіном і отримала назву термодинамічної температурної шкали.

Термодинамічна температурна шкала Кельвіна була вихідною шкалою для побудови температурних шкал, що не залежать від властивостей термометричної речовини. У цій шкалі інтервал, що лежить між точкою танення льоду і точкою кипіння води (для збереження наступності зі стоградусною температурною шкалою Цельсія), був розділений на 100 рівних частин.

У зарубіжній літературі поряд з вираженням температури в Кельвінах (K) і градусах Цельсія (°C) використовується іноді градус Фаренгейта (°F) і градус Ренкіна (°Ra). Перерахунок числових значень температури, яка виражена у градусах однієї шкали, у градуси іншої, роблять за такими формулами:

$$n \cdot C = n \cdot K - 273,15 = \frac{5}{9} \cdot (n \cdot F - 32) = \frac{5}{9} \cdot n \cdot Ra - 273,15, \quad (2.1)$$

$$n \cdot K = n \cdot C + 273,15 = \frac{5}{9} \cdot n \cdot F + 255,37 = \frac{5}{9} \cdot n \cdot Ra. \quad (2.2)$$

2.2 Термометри скляні рідинні

Термометри скляні рідинні застосовуються для вимірювання температур в області від - 200 до + 750 °C. Незважаючи на те, що крім скляних рідинних термометрів є ряд інших приладів для вимірювання температур, що задовольняють у великій мірі вимоги сучасної техніки контролю технологічних процесів, все ж скляні термометри отримали велике поширення як у лабораторній, так і в промисловій практиці внаслідок простоти використання, досить високої точності вимірювання й низької вартості.

Принцип дії скляних рідинних термометрів заснований на тепловому розширенні термометричної рідини, поміщеної в термометр. При цьому, очевидно, показання рідинного термометра залежать не тільки від зміни об'єму термометричної рідини, але й від зміни об'єму скляного резервуара, у якому міститься ця рідина.

Для заповнення рідинних термометрів застосовують ртуть, етиловий спирт, толуол, гас, петролейний ефір, пентан і т. д. Галузь їх застосування, а також значення коефіцієнтів дійсного та видимого розширення рідин наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристика термометричних рідин

Рідина	Можливі межі застосування, °С		Середній коефіцієнт об'ємного теплового розширення, К ⁻¹	
	нижня	верхня	дійсний	видимий
Ртуть	- 35	+ 750	0,00018	0,00016
Толуол	- 90	+ 200	0,00109	0,00107
Етиловий спирт	- 80	+ 70	0,00105	0,00103
Гас	- 60	+ 300	0,00095	0,00093
Петролейний ефір	- 120	+ 25	0,00152	0,00150
Пентан	- 200	+ 20	0,00092	0,00090
Примітки 1 Коефіцієнт видимого розширення ртуті в термометричному боросилікатному склі складає – 0,000164 К ⁻¹ , а в кварцовому склі 0,00018 К ⁻¹ . 2 Під видимим коефіцієнтом об'ємного теплового розширення розуміють різницю між коефіцієнтами об'ємного теплового розширення термометричної рідини і скла				

З рідинних термометрів найбільшого поширення набули ртутні. Вони мають ряд переваг завдяки істотним перевагам ртуті, яка не змочує скла, її порівняно легко одержати в хімічно чистому вигляді і при нормальному атмосферному тиску вона залишається рідкою у широкому інтервалі температур (від - 38,87 до + 356,58 °С). Слід також зазначити, що тиск насичених парів ртуті при температурі, що перевищує + 356,58 °С, невелика порівняно з тиском насичених парів інших рідин. Це дає можливість відносно невеликим збільшенням тиску над ртуттю в капілярі помітно підвищити її температуру кипіння, а разом з тим і розширити температурний інтервал застосування ртутних термометрів.

До числа недоліків ртуті з точки зору термометрії слід віднести порівняно малий коефіцієнт розширення.

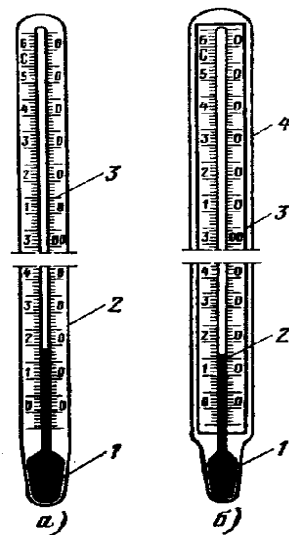
При вимірюванні температури термометрами, заповненими органічними рідинами, необхідно мати на увазі, що вони змочують скло, а внаслідок цього знижується точність відліку показань.

Термометри в залежності від призначення і діапазону вимірювань температур виготовляють зі скла різних марок.

Термометри скляні рідинні за призначенням і галуззю застосування можуть бути розділені на такі групи: зразкові, лабораторні, спеціального призначення, технічні, метеорологічні, термометри для сільського господарства, термометри побутові.

Конструктивні форми скляних рідинних термометрів різноманітні, проте серед цього розмаїття можна вибрати два основні типи конструкцій: паличні і з вкладеною шкалою. Паличні термометри мають масивний (товстостінний) капіляр із зовнішнім діаметром 6 - 8 мм, майже рівним діаметру резервуара. Шкала у цих термометрах наноситься безпосередньо на зовнішню поверхню капіляра (рисунок 2.1, а).

Характерною особливістю другої конструкції є те, що шкала зроблена не на капілярі, а на прямокутній пластині зі скла молочного кольору, вміщеній позаду капілярної трубки, припаяної до резервуара циліндричної форми. Крім того, до резервуара припаяна захисна скляна оболонка, у якій і знаходиться як капіляр, так і шкальна пластинка (рисунок 2.1, б).



а – паличний: 1 – резервуар; 2 - товстостінний капіляр; 3 - шкала, нанесена на зовнішній поверхні капіляра; б - із вкладеною шкалою: 1 – резервуар; 2 – капіляр; 3 - шкала, нанесена на пластині зі скла молочного кольору; 4 - захисна скляна оболонка

Рисунок 2.1 - Термометри

Термометри з вкладеною шкалою мають більшу інерційність, ніж паличні, але вони більш зручні для спостереження при вимірюванні температур у лабораторних і виробничих умовах.

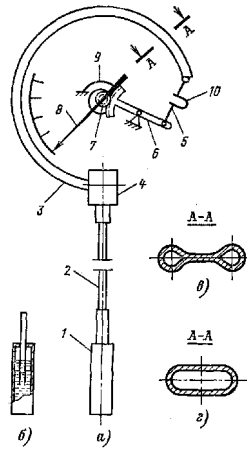
У ртутних термометрах з межею вимірювання вище 200 °С простір над ртутним стовпчиком у капілярі заповнюється сухим газом (наприклад азотом) під тиском. При цьому тиск газу має бути тим вищим, чим більша верхня межа вимірювання, що обумовлюється необхідністю виключити пароутворення ртуті в резервуарі при високих температурах.

2.3 Термометри манометричні

Дія манометричних термометрів заснована на використанні залежності між температурою і тиском робочої (термометричної) речовини в замкнутій герметичній термосистемі. Манометричні термометри є технічними приладами і залежно від робочої речовини термосистеми вони поділяються на газові, рідинні і конденсаційні (парорідинні). Залежно від робочої речовини термосистеми їх застосовують для вимірювання температури рідких і газоподібних середовищ від - 150 до + 600 °С.

Манометричні термометри виготовляють показувальними і самописними. Самописні термометри випускаються з дисковим і стрічковим діаграмним папером. Привід діаграмного паперу здійснюється синхронним двигуном, а в деяких модифікаціях термометрів – годинниковим механізмом. Манометричні термометри випускаються з односторонньою, двосторонньою і безнульовою шкалою.

Показувальні та самописні манометричні термометри можуть бути використані для вимірювання температур у вибухонебезпечних приміщеннях. У цьому випадку привід діаграмного паперу здійснюється годинниковим механізмом. Якщо в цих умовах необхідно мати термометр з дистанційною передачею показань на вторинний прилад, то вона повинна бути пневматичною. Схема пристрою показувального манометричного термометра подана на рисунку 2.2.



- 1 – термобалон; 2 – капіляр; 3 – манометрична пружина; 4 – тримач;
 5 – повідець; 6 – секторний механізм; 7 – трибка; 8 – стрілка;
 9 – спіральний волосок; 10 - компенсатор

Рисунок 2.2 - Схема пристрою показувального манометричного термометра

Термосистема термометра (рисунок 2.2, а) складається з термобалона 1, який занурюється в середовище, температура якого вимірюється, капіляра 2 і манометричної пружини 3. Один кінець пружини впаяний в тримач 4, канал якого з'єднує внутрішню порожнину манометричної пружини через капіляр з термобалона. Другий вільний кінець пружини герметизований і шарнірно за допомогою повідця 5 пов'язаний з сектором 6. Цей сектор у свою чергу з'єднаний зубчастим зачепленням з трибкою 7, на вісь якої насаджена вказівна стрілка 8. Для вибору зазора в передавальному механізмі встановлено спіральний волосок 9, кінець внутрішнього витка якого закріплений на осі трибки. Термосистема термометра заповнена робочою речовиною, наприклад газом (або рідиною) під деяким початковим тиском. При нагріванні термобалона збільшується тиск газу в замкнутій герметизованій термосистемі, в результаті чого пружина деформується (розкручується) і її вільний кінець переміщується. Рух вільного кінця пружини передавальним механізмом (повідцем, сектором і трибкою) перетворюється на переміщення стрілки відносно шкали приладу. За положенням стрілки на шкалі термометра роблять відлік температури.

Слід зазначити, що на відміну від газових і рідинних термометрів у конденсаційних (парорідинних) термометрах термобалон (рисунок 2.2, б) частково заповнений конденсатом

(приблизно на 0,7 -0,75 об'єму), а у верхній частині термобалона над конденсатом міститься насичена пара цієї рідини. Крім того, капіляр у цих термометрах вставлений на деяку глибину всередину термобалона. Манометрична пружина і капіляр термометра заповнені тим же конденсатом, що і термобалон. Тиск у термосистемі конденсаційного термометра дорівнює тиску пари в термобалоні. При цьому залежність між тиском насиченої пари і температурою є цілком визначеною, однозначною і відомою для конденсату, яким заповнена термосистема термометра. При нагріванні термобалона термометра частина конденсату в його паровому об'ємі з дзеркала випаровується, змінюючи тиск насичення до значення, яке відповідає температурі конденсату в термобалоні. Це у свою чергу викликає підвищення тиску в термосистемі термометра, під дією якого пружина розкручується, і її вільний кінець за допомогою передавального механізму переміщує стрілку.

У показувальних манометричних термометрах використовується манометрична пружина з профілем перерізу згідно з рисунком 2.2, в. особливістю цього профілю в порівнянні з раніше застосовуваними овальними, плоскоовальними та іншими (рисунок 2.2, г) є наявність середньої перетиснутої ділянки, на якій зазор між стінками відсутній. По бічній кромці перерізу розташовано два канали краплеподібної форми, які підвищують механічну міцність пружини.

Слід зазначити, що внутрішній об'єм пружин із середньою перетисненою ділянкою і коливання розміру його мінімальні, що зменшує температурну похибку термометра і забезпечує стабільність її значень. Змінюючи велику вісь перерізу цієї пружини, отримують оптимальне співвідношення між початковим внутрішнім об'ємом її і збільшенням цього об'єму при розкручуванні пружини на робочий кут.

Подальше зниження температурної похибки газових і рідинних термометрів, обумовленої відхиленням температури пружини від нормальної (20°C), досягається введенням термобіметалевого компенсатора 10 в повідець передавального механізму (рисунок 2.2, а). Капіляр термометрів виготовляють з латуні або сталі із зовнішнім діаметром 2,5 і внутрішнім 0,35 мм. Довжина капіляра термометра буває різною, але вона перебуває

зазвичай у межах такого ряду: 1; 1,6; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 40 і 60 м. Капіляр, що йде від корпусу приладу до термобалона, поміщають у захисну металеву оболонку, що оберігає його від пошкоджень. Для виготовлення термобалона і його хвостовика в даний час застосовують сталь марки 1X18H9T. Застосування цієї сталі дало можливість виготовляти термобалони термометрів на умовний тиск до 6,4 МПа без захисної гільзи і лише на умовний тиск середовища, температура якого вимірюється, від 6,4 до 25 МПа із захисною гільзою.

Термометри газові. Манометричні газові термометри дають змогу вимірювати температуру від - 150 до + 600 °С. Як робоча речовина в газових термометрах використовується азот. Перед заповненням усієї термосистеми термометра азотом термосистема і газ повинні бути добре просушені. Довжина з'єднувального капіляра цих термометрів 0,6 - 60 м. Для зменшення зміни показань газового термометра, що викликається відхиленням температури навколишнього повітря від 20 °С, встановлюють термобіметалевий компенсатор у тягу передавального механізму (рисунок 2.2, а), а також прагнуть зменшити відношення внутрішнього об'єму пружини і капіляра до об'єму термобалона. Це досягається збільшенням об'єму, а отже, і розмірів термобалона. Наприклад, при довжині капіляра від 1,6 до 2,5 м довжина корпусу термобалона термометра виконується рівною 125 мм, а при довжині капіляра до 40 м – 500 мм. Діаметр термобалона в тому й іншому випадках дорівнює 20 мм. Зважаючи на великі розміри термобалона газові термометри не скрізь можуть бути застосовані.

Конденсаційні термометри. Манометричні конденсаційні термометри випускаються з межами вимірювання від - 50 до + 300 °С. Як конденсат використовується фреон-22 (CHF_2Cl) від - 25 до + 80 °С, пропілен (C_3H_6) від - 50 до + 60 °С, хлористий метил (CH_3Cl) від 0 до + 125 °С, ацетон ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$) від + 100 до + 200 °С, етилбензол (C_8H_{10}) від + 160 до + 300 °С і т. ін. Слід зазначити, що однозначна залежність тиску насиченої пари від температури буває тільки до певної температури, яка називається критичною. Унаслідок цього верхня межа шкали манометричного конденсаційного термометра повинна бути завжди нижче від критичної температури $t_{\text{кр}}$ даного робочого конденсату. У цьому

випадку робочий тиск у термосистемі термометра також не буде перевищувати критичного тиску $P_{кр}$ для обраного конденсату.

Термобалон конденсаційних термометрів має невеликі в порівнянні з газовими термометрами розміри (довжина 78, діаметр 16 мм). Довжина з'єднувального капіляра від 0,6 до 25 м.

Характерною особливістю конденсаційних термометрів є значна нерівномірність шкали. Для лінеаризації статичної характеристики і, отже, отримання рівномірної шкали деякі типи манометричних конденсаційних термометрів забезпечуються спеціальним додатковим пристроєм. Упори додаткового пристрою підводяться до манометричної пружини з зовнішнього боку так, що при її розкручуванні пружина послідовно лягає на них, починаючи з упору, розташованого поруч з її закріпленням кінцем. При цьому поступово дедалі більша частина довжини пружини виключається з роботи, а разом з тим вводиться нелінійність, яка протилежна нелінійності зміни тиску насиченої пари в термосистемі від температури. Це і забезпечує отримання рівномірної шкали конденсаційного термометра.

Іншою характерною особливістю конденсаційних термометрів є те, що робочий тиск у термосистемі для даного конденсату залежить тільки від діапазону вимірювання та зміни тиску насиченої пари цього конденсату від температури. Інші ж параметри термометра не впливають на робочий тиск у його термосистемі. Тому зміна показань термометра, викликана відхиленням температури навколишнього повітря від 20 °С, обумовлюється головним чином зміною модуля пружності матеріалу застосовуваної манометричної пружини і значенням допустимої непостійності показань приладу.

Показання конденсаційних термометрів залежать від висоти розташування термобалона (вище або нижче) по відношенню до корпусу приладу, а також і від зміни атмосферного тиску.

Залежність показань конденсаційного термометра від висоти розташування термобалона по відношенню до корпусу приладу буває в тому випадку, коли за умовами вимірювань у манометричній пружині і капілярі робоча речовина знаходиться в рідкій фазі. Це буває в тих випадках, коли температура середовища, у яку занурений термобалон, вище від температури повітря, що оточує корпус приладу і капіляр. Якщо в цьому

випадку термобалон буде розташований вище від корпусу приладу, то показання термометра будуть завищені, а якщо нижче – занижені.

Термометри рідинні. Для заповнення термосистеми рідинних манометричних термометрів застосовують пропіловий алкоголь, метансилол, силіконові рідини і т. п. Для рідинних термометрів довжина з'єднувального капіляра 0,6 - 10 м.

Термометри рідинні дають змогу вимірювати температуру від - 150 до + 300 °С. Вони випускаються з різними діапазонами вимірювання температури в зазначеному інтервалі. Шкала рідинних термометрів виходить практично рівномірною.

Термометри рідинні істотно відрізняються від газових і конденсаційних, так як рідини, що застосовуються як заповнювачі, практично нестисливі. У термометрах цього типу об'єм термобалона для даної робочої рідини повинен бути узгоджений з діапазоном вимірювання приладу, зі зміною об'єму внутрішньої порожнини манометричної пружини при робочому ході вільного її кінця, а разом з тим і зі змінами тиску в термосистемі.

Манометричні термометри розраховані на роботу при температурі навколишнього повітря від 5 до 50 °С і відносній вологості до 80 %.

2.4 Термометри термоелектричні (термопари)

Термоелектричний метод вимірювання температур заснований на строгій залежності термоелектрорушійної сили (термоерс) термоелектричного термометра від температури.

Термоелектричні термометри широко застосовуються для вимірювання температур до + 2500 °С у різних галузях техніки і в наукових дослідженнях. Вони можуть використовуватися для вимірювання температури від - 200 °С, але в області низьких температур термоелектричні термометри набули меншого поширення. В області високих температур (вище + 1300-1600 °С) термоелектричні термометри знаходять застосування головним чином для короткочасних вимірювань; для тривалого ж вимірювання високих температур вони застосовуються тільки в окремих особливих випадках.

До переваг термоелектричних термометрів слід віднести досить високий ступінь точності, можливість централізації контролю температури шляхом приєднання декількох термоелектричних термометрів через перемикач до одного вимірювального приладу, можливість автоматичного запису вимірюваної температури за допомогою самописного приладу, можливість роздільного градуювання вимірювального приладу та термоелектричного термометра.

В основу вимірювання температур за допомогою термоелектричних термометрів покладені термоелектричні явища. Застосування цих явищ до вимірювання температур ґрунтується на існуванні певної залежності між термоерс, яка виникає в ланцюзі, складеному з різнорідних провідників, і температурами місць їх з'єднання. Якщо взяти ланцюг (рисунок 2.3), складений з двох різних термоелектричних однорідних за довжиною провідників А і В (наприклад, міді та платини), то при підігріванні спаю 1 у ланцюзі з'являється електричний струм, який у більш нагрітому спаї 1 направлений від платини В до міді А, а в холодному спаї 2 – від міді до платини. При підігріванні спаю 2 струм отримує зворотний напрямок. Такі струми називаються термоелектричними. Електрорушійна сила, обумовлена неоднаковими температурами місць з'єднання 1 і 2, називається термоелектрорушійною силою, а утворюючий її перетворювач – термоелектричним первинним перетворювачем або термометром (термопара).

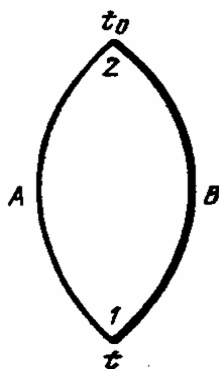


Рисунок 2.3 - Термоелектричний ланцюг з двох різних однорідних провідників ($t > t_0$)

2.4.1 Включення вимірювального приладу в ланцюг термоелектричного термометра

Для вимірювання термоерс термоелектричного термометра в його ланцюг необхідно включити вимірювальний прилад. Для цього необхідно або розірвати термоелектричний ланцюг у спаї 2 (рисунок 2.3), або розірвати один з термоелектродів, наприклад В, і за допомогою проводів С включити вимірювальний прилад (ИП) (рисунок 2.4).

У першому випадку (рисунок 2.4, а) у термоелектричного термометра буде три кінці: робочий 1, занурюваний у середовище, температура якого вимірюється, та вільні 2 і 3, які повинні мати постійну температуру ($t_0 = \text{const}$).

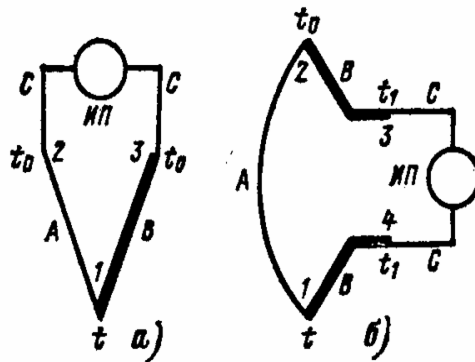


Рисунок 2.4 - Схема включення вимірювального приладу у вільні кінці ланцюга термоелектричного термометра

У другому випадку (рисунок 2.4, б) у термоелектричному термометрі з'явиться чотири кінці: робочий 1, вільний 2 та нейтральні 3 і 4.

2.4.2 Основні вимоги до термоелектродних матеріалів

До термоелектродних матеріалів, призначених для виготовлення термоелектричних термометрів, висувають ряд вимог: жаростійкість і механічна міцність, хімічна інертність; термоелектрична однорідність, стабільність і відтворюваність термоелектричної характеристики; однозначна, бажано близька до лінійної, залежність термоерс від температури; висока чутливість.

Жаростійкість і механічна міцність значною мірою визначають верхні температурні межі застосування термоелектродних матеріалів, а разом з тим і термоелектричних термометрів.

Установлюючи придатність того чи іншого матеріалу для виготовлення термоелектродів, особливо високотемпературних термоелектричних термометрів, слід приділяти велику увагу питанню можливих хімічних та інших взаємодій його з матеріалом, що працює з ним у парі, з навколишнім середовищем і стичними керамічними деталями арматури.

Стабільність і відтворюваність термоелектричної характеристики матеріалів зумовлюють точність вимірювання температури, а разом з тим і можливість застосування цих матеріалів для виготовлення взаємозамінних термоелектричних термометрів.

2.4.3 Будова термоелектричних термометрів

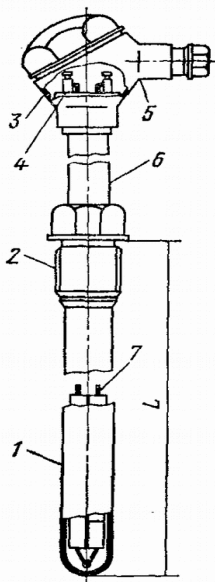
Для захисту від механічних пошкоджень і дії середовища, температура якого вимірюється, електроди термоелектричного термометра, армовані ізоляцією, поміщаються в спеціальну захисну арматуру. У робочих термоелектричних термометрах (рисунок 2.5), що застосовуються для вимірювання температури різних середовищ, арматура складається із захисної гільзи 1, нерухомого 2 або пересувного штуцера з сальниковим ущільненням (на рисунку 2.5 не показаний) і головки 3, з'єднаної з нерухомим штуцером за допомогою трубки 6 або безпосередньо з гільзою при пересувному штуцері. У головці, оснащеної кришкою і патрубком 5 із сальниковим ущільненням, поміщена розетка 4 з ізоляційного матеріалу із затискачами для приєднання термоелектродів 7 і проводів, що з'єднують термометр з вимірювальним приладом або перетворювачем. Довжина частини L, яку зануряють у середовище, температуру якого вимірюють, виконується різною для кожного конкретного типу термоелектричного термометра.

Робочий кінець термоелектричного термометра можна виконувати шляхом зварювання, паяння або скручування. Найбільшого поширення набув спосіб виготовлення спаю за

допомогою зварювання, а паяння застосовують тільки у спеціальних випадках. Скручування робочого кінця часто застосовують для термоелектричних термометрів вольфраменієвої і вольфрамолібденової груп.

Зварювання електродів термоелектричного термометра роблять як з попереднім скручуванням термоелектродів, так і без скручування (рисунок 2.6).

Іншим варіантом виготовлення спаю робочого кінця є приварювання електродів до дна захисної гільзи. Це дає змогу зменшити інерційність термометра, але не забезпечує можливості в умовах експлуатації робити періодичну повірку термометра, а в разі потреби – заміну термоелектродів.



1 – захисна гільза; 2 – штуцер; 3 – головка; 4 – розетка; 5 – патрубок;
6 – трубка, 7 – термоелектроди

Рисунок 2.5 - Конструктивна схема термоелектричного термометра

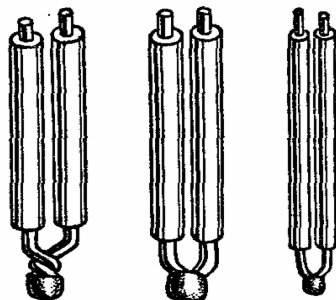


Рисунок 2.6 - Способи виготовлення робочого кінця термоелектричного термометра

2.5 Термометри опору

2.5.1 Загальні відомості

Термометри опору широко застосовують для вимірювання температури в інтервалі від $- 260$ до $+ 750$ °С. В окремих випадках вони можуть бути використані для вимірювання температур до 1000 °С.

Дія термометрів опору заснована на властивості речовини змінювати свій електричний опір зі зміною температури. При вимірюванні температури термометр опору занурюють у середовище, температуру якого необхідно визначити. Знаючи залежність опору термометра від температури, можна за зміною опору термометра судити про температуру середовища, в якому він міститься. При цьому необхідно мати на увазі, що довжина чутливого елемента у більшості термометрів опору становить кілька сантиметрів, і тому при наявності температурних градієнтів у середовищі термометром опору вимірюють деяку середню температуру тих шарів середовища, в яких міститься його чутливий елемент.

Раніше вважали, що найбільш придатним матеріалом для виготовлення термометрів опору є тільки чисті метали. Однак дослідження останнього часу показали, що ряд напівпровідників так само можуть бути використані як матеріал для виготовлення термометрів опору.

Термометри опору з чистих металів, що отримали найбільше поширення, виготовляють зазвичай у вигляді обмотки з тонкого дроту на спеціальному каркасі з ізоляційного матеріалу. Цю обмотку називають чутливим елементом термометра опору. З метою запобігання можливим механічним пошкодженням і дії середовища, температура якого вимірюється термометром, чутливий елемент його укладають у спеціальну захисну гільзу.

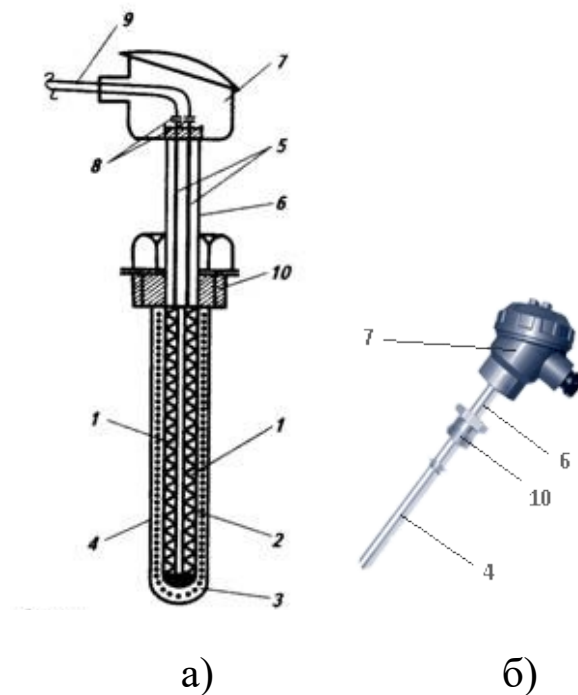
Метали, призначені для виготовлення чутливих елементів термометрів опору, повинні відповідати ряду вимог. Вони повинні не окислюватися і мати високу відтворюваність значень електричного опору в інтервалі робочих температур. Обраний метал у діапазоні застосовуваних температур повинен мати

монотонну залежність опору від температури і досить високе значення температурного коефіцієнта опору.

Наведеним вище основним вимогам до металів для виготовлення термометрів опору в широкому інтервалі температур відповідає платина. Якщо верхня межа температури застосування термометра не висока, то зазначеним вище вимогам відповідають також мідь і нікель. В окремих випадках застосовують для виготовлення термометрів опору, але з обмеженою галуззю їх використання, й інші метали, наприклад, залізо, вольфрам і молібден.

2.5.2 Будова термометрів опору

На рисунку 2.7 показана конструктивна схема термометра опору.



1 – чутливий елемент з платинового або мідного дроту у формі спіралі, який розташовується на керамічному стрижні, 2 – пористий керамічний циліндр; 3 – керамічний порошок; 4 – захисна зовнішня трубка з нержавіючої сталі; 5 – струмопередавальні кінці; 6 – зовнішня захисна трубка з нержавіючої сталі; 7 – головка термометра із знімною кришкою; 8 – клеми для приєднання вивідного проводу; 9 – провід до фіксувального приладу; 10 – втулка з різьбою для установлення в трубопровід, що має патрубкі із внутрішньою різьбою

Рисунок 2.7 - Конструктивна схема (а) і зовнішній вигляд (б) термометра опору

Як чутливий елемент 1 служить намотаний на керамічний стрижень тонкий платиновий або мідний дріт. Особливо точні термометри роблять з використанням платинового дроту, але ці прилади дорогі. Найбільшого поширення набули термометри опору з використанням мідного дроту, хоча він має порівняно невеликий питомий омичний опір. Величина омичного опору впливає на габарити термометрів опору. Чим менший питомий омичний опір дроту в чутливому елементі 1, тим більша потрібна довжина дроту його і відповідно великі габарити приладу.

Чутливий елемент 1 поміщений у пористий керамічний циліндр 2, заповнений керамічним порошком 3, укладений у зовнішню захисну трубку-чохол 4 з нержавіючої сталі. До верхніх кінців спіралі чутливого елемента 1 припаяні кінці 5, які укладені в трубку 6 з нержавіючої сталі. Трубка 6 і кінці 5 входять у головку 7 приладу, де кінці 5 закінчуються клемми 8, до яких приєднується з'єднувальний кабель 9 від фіксуючого вимірювання температури приладу.

Термометр опору закріплюється на нарізній втулці 10 у патрубку з внутрішньою різью, привареному до поверхні труби, у якій вимірюється температура рідини. У потоці вимірюваної рідини розташовується захисна трубка 4 із укладеним у ній чутливим вимірювальним елементом 1. Після герметизації установки термометра в патрубок на трубі у головці 7 відкривається кришка і робиться кріплення до клем 8 з'єднувального проводу 9 до фіксуючого зміни температури рідини приладу.

2.6 Пірометри випромінювання

2.6.1 Опис пірометрів випромінювання

При високій температурі будь-яке нагріте тіло значну частку теплової енергії випромінює у вигляді потоку світлових і теплових променів. Чим вища температура нагрітого тіла, тим більша інтенсивність випромінювання. Тіло, нагріте приблизно до 600 °С, випромінює невидимі інфрачервоні теплові промені.

Подальше збільшення температури призводить до появи в спектрі випромінювання видимих світлових променів. У міру підвищення температури колір змінюється: червоний колір переходить у жовтий і білий, який являє собою суміш випромінювань різної довжини хвилі.

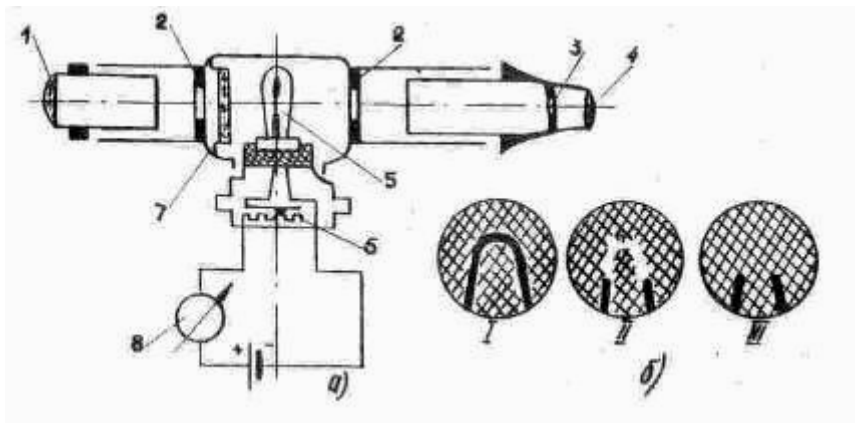
Здатність до випромінювання різна у різних поверхонь. Найбільшу променевипромінювальну і променепоглинаючу здатність має так зване абсолютно чорне тіло. Реально існуючі в природі тіла не мають властивостей абсолютно чорного тіла, але можуть мати близькі до нього властивості. Наприклад, випромінювальна здатність графіту становить 95 % по відношенню до випромінювальної здатності абсолютно чорного тіла.

Енергія випромінювання нерівномірно розподіляється між коливаннями з рівною довжиною хвилі. Чим вища температура, тим більша частка енергії припадає на випромінювання з меншою довжиною хвилі. Наприклад, у сонячному світлі значну частку становить ультрафіолетове випромінювання з малою довжиною хвилі. Яскравість випромінювання однозначно залежить від температури, тобто, вимірюючи яскравість, можна визначити температуру. Існуючі прилади для вимірювання температури за інтенсивністю випромінювання градуують за випромінюванням штучного абсолютно чорного тіла. Тому при практичних вимірюваннях вони свідомо мають деяку похибку. Особливістю пірометрів випромінювання є те, що вимірювання температури проводиться без безпосереднього контакту приладу з об'єктом вимірювання, що дозволяє контролювати температуру сильно нагрітих тіл, а також об'єктів, що рухаються.

За принципом дії пірометри випромінювання поділяють на оптичні та радіаційні.

2.6.2 Оптичні пірометри

Принцип дії оптичного пірометра заснований на порівнянні монохроматичної яскравості випромінювання розжареного тіла з монохроматичною яскравістю випромінювання волоска спеціальної пірометричної лампи розжарювання. Принципова схема оптичного пірометра наведена на рисунку 2.8.



1 – об'єктив; 2 – вхідна і вихідна діафрагми; 3, 7 – світлофільтри;
 4 – окуляр; 5 – лампочка; 6 – реостат; 8 – показуючий прилад
 Рисунок 2.8 - Принципова схема оптичного пірометра

Оптична система пірометра являє собою телескоп з об'єктивом 1 і окуляром 4. Перед окуляром поміщений червоний світлофільтр 3. Спектральна характеристика пропускання світлофільтра підбирається з урахуванням спектральної чутливості ока так, щоб при розгляданні об'єкта через світлофільтр найбільша видима яскравість відповідала б довжині хвилі близько 0,65 мкм. У фокусі об'єктива міститься вольфрамовий волосок пірометричної лампочки 5. Волосок лампочки живиться від акумулятора; його розжарення можна регулювати вручну реостатом 6. У полі зору телескопа спостерігач бачить ділянку випромінюючої поверхні розжареного тіла (об'єкта вимірювання) і на цьому фоні – волосок лампочки (рисунок 2.8). Якщо яскравості волоска і розжареного тіла неоднакові, волосок буде видно більш темним або більш світлим, ніж фон. Регулюючи розжарення волоска реостатом, спостерігач домагається рівності яскравостей, при цьому зображення волоска зіллється з фоном і стане непомітним (волосок "зникне"). У цей момент яскравісна температура волоска дорівнює яскравісній температурі об'єкта вимірювання. Око дуже чутливе до розрізнення яскравостей і момент "зникнення" волоска вловлюється з достатньою впевненістю. Показувальний прилад 8, включений у ланцюг волоска розжарення, градується за зразковим пірометром або за температурними лампами, в градусах Цельсія яскравісної температури.

Як указувалося вище, якщо об'єкт вимірювання за своєю випромінюючою здатністю близький до абсолютно чорного тіла,

то яскравісна температура, яку показує пірометр, дорівнює істинній температурі об'єкта.

Коливання коефіцієнта чорноти в залежності від складу й температури металу і стану його поверхні, що спостерігається, є одним з основних джерел похибок вимірювання температури оптичними пірометрами.

Щоб уникнути перегріву волоска, його температура не повинна перевищувати 1500 °С, тому при вимірюваннях у діапазоні більш високих температур перед лампою встановлюється поглинальний світлофільтр 7, що зменшує видиму яскравість випромінювання об'єкта.

Вітчизняні пірометри випускаються з діапазонами вимірювання 1200 - 3200 і 1500 - 6000 °С. Діапазон вимірювання приладу може бути розбитий на два піддіапазони, у цьому випадку пірометр має дві шкали. Перехід з одного діапазону на інший здійснюється введенням або виведенням поглинального світлофільтра.

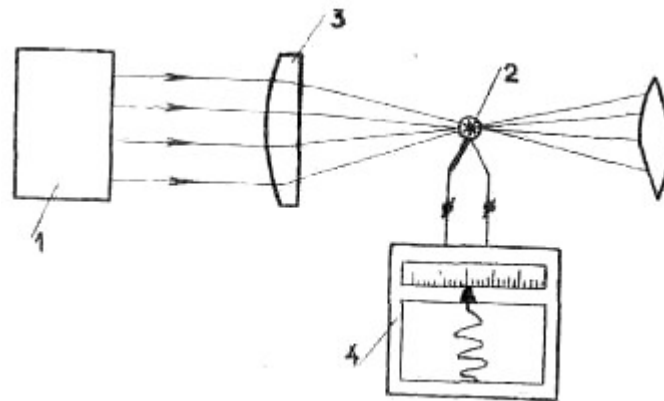
Для живлення оптичного пірометра застосовується здвоєний лужний акумулятор. Сила струму в лампі регулюється реостатом.

Існують також оптичні пірометри, у яких звірення яскравостей волоска і об'єкта проводиться не візуально, а фотоелектричним пристроєм, що дозволяє автоматизувати вимірювання та підвищити точність визначення яскравісної температури. Однак схема і конструкція приладу при цьому істотно ускладнюються.

2.6.3 Радіаційні пірометри

На відміну від оптичних у радіаційних пірометрах використовують теплову дію повного випромінювання нагрітого тіла, включаючи як видиме, так і невидиме випромінювання. У зв'язку з цим радіаційні пірометри називаються також пірометрами повного випромінювання. Як чутливий елемент у радіаційних пірометрах використовується термобатарея з декількох мініатюрних послідовно з'єднаних термопар 2 (рисунок 2.9), робочі спаї яких нагріваються випромінюванням об'єкта вимірювання 1, які фокусуються за допомогою оптичної системи 3. Термоерс, що виникає, вимірюється за допомогою

мілівольтметра або автоматичного потенціометра 4, градуйованого в градусах.



1 – об'єкт випромінювання; 2 – термопари; 3 – оптична система;
4 – мілівольтметр

Рисунок 2.9 – Принципова схема радіаційного пірометра

Радіаційні пірометри градууються за абсолютно чорним тілом і показують так звану "радіаційну" температуру. Позитивною особливістю радіаційних пірометрів є те, що їх можна застосовувати також і для вимірювання невисоких температур, при яких об'єкт вимірювання не дає видимого випромінювання. Можливе також вимірювання температури тіл, більш холодних, ніж навколишнє середовище. В останньому випадку термобатарея не нагрівається, а охолоджується під час радіаційного теплообміну між нею та об'єктом вимірювання. В умовах, коли різниця температур об'єкта вимірювання та навколишнього середовища невелика, необхідне ретельне термостатування вільних кінців термопар або всього корпусу телескопа пірометра.

У даний час радіаційні пірометри застосовуються для вимірювання температури в діапазоні від -40 до 2500 °С. Особливо зручно застосовувати радіаційні пірометри для безконтактного вимірювання невисоких температур, при яких методи оптичної та кольорової пірометрії неприйнятні, наприклад, для вимірювання невисоких температур рухомих предметів.

При вимірюванні температури тіл, близьких за випромінюючою здатністю до абсолютно чорного тіла, основна похибка вимірювання не перевищує 1% верхньої межі

вимірювання. Для забезпечення точності вимірювання радіаційним пірометром необхідно, щоб зображення об'єкта, створене об'єктивом на робочих спаях термопар, повністю покривало робочі спаї.

3 ВИМІРЮВАННЯ ТИСКУ І РІЗНИЦІ ТИСКІВ

3.1 Основні відомості про тиск і одиниці вимірювання тиску

Широке використання тиску в наукових дослідженнях і в різних галузях промисловості викликає необхідність застосування великого числа засобів вимірювання тиску і різниці тисків, різних за принципом їх дії, будовою, призначенням і точністю. При вимірюванні тиску нас може цікавити абсолютний, надлишковий і вакуумметричний тиск. Абсолютний тиск необхідно знати в тих випадках, коли вплив атмосферного тиску виключити не можна, як, наприклад, при вивченні питань стану робочих тіл, при визначенні температури кипіння різних рідин і в інших подібних випадках.

При контролі технологічних процесів і при проведенні наукових досліджень у більшості випадків доводиться мати справу з вимірюванням надлишкового та вакуумметричного тиску, а також з вимірюванням різниці тисків.

Під терміном абсолютний тиск мається на увазі повний тиск, під яким перебуває рідина, газ або пара. Воно дорівнює сумі тисків надлишкового P_n і атмосферного P_a :

$$P = P_n + P_a, \quad (3.1)$$

звідси

$$P_n = P - P_a \quad (3.2)$$

тобто надлишковий тиск дорівнює різниці між абсолютним тиском, більшим від атмосферного, і атмосферним тиском.

Під терміном вакуумметричного тиску (розрідження або вакуум) мається на увазі різниця між атмосферним тиском і абсолютним тиском, меншим від атмосферного:

$$P_B = P_a - P \quad (3.3)$$

Прилад, який вимірює атмосферний тиск, називають барометром, звідси атмосферний тиск – барометричним. Прилад, призначений для вимірювання абсолютного тиску, називають манометром абсолютного тиску, а прилад, який вимірює надлишковий чи вакуумметричний тиск, відповідно манометром надлишкового тиску і вакуумметром. Прилад, який вимірює малий надлишковий тиск (наприклад, тиск повітря, що подається в топку котла) і розрідження газу (наприклад у газоході котла), називається відповідно напороміром і тягоміром. Прилад, призначений для вимірювання вакуумметричного й надлишкового тисків, називають мановакуумметром, а для вимірювання малих тисків і розріджень газу (наприклад у топці котла) тягонапороміром. Прилад, який вимірює дуже малі тиски (нижче і вище від барометричного) і незначні різниці тиску називають мікроманометром; прилад, призначений для вимірювання різниці тисків, диференціальним манометром (дифманометром).

З числа застосовуваних одиниць тиску кращою є одиниця міжнародної системи (СІ) Паскаль (Па). Паскаль – це тиск сили в один ньютон на площу в один квадратний метр (Н/м²).

Для застосування допускаються також одиниця тиску системи МКГСС кілограм-сила на квадратний метр (кгс/м²) і позасистемні одиниці тиску: кілограм-сила на квадратний сантиметр (кгс/см²), яку часто називають технічною атмосферою (ат), міліметр водяного стовпа (мм вод.ст.) і міліметр ртутного стовпа (мм рт.ст.).

Співвідношення між застосовуваними одиницями тиску наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Співвідношення між одиницями тиску

Одиниці	Па	кгс/м ²	кгс/см ²	мм вод.ст.	мм рт.ст.
1 Па	1	0,10197	10,197 · 10 ⁻⁶	0,101197	7,50 · 10 ⁻³
1 кгс/м ²	9,80665	1	10 ⁻⁴	1	73,56 · 10 ⁻³
1 кгс/см ²	98,0665 · 10 ³	10 ⁴	1	10 ⁴	735,56
1 мм вод.ст.	9,80665	1	10 ⁻⁴	1	73,56 · 10 ⁻³

1 мм рт.ст.	133,322	13,595	$13,595 \cdot 10^{-4}$	13,595	1
-------------	---------	--------	------------------------	--------	---

3.2 Рідинні U-подібні та чашкові прилади тиску

Прилади U-подібні (двотрубні) і чашкові (однотрубні) належать до групи рідинних приладів з видимим рівнем. Вони застосовуються як манометри (напороміри) для вимірювання надлишкового тиску повітря і неагресивних газів до 700 мм вод.ст. (7000 Па) і 735 мм рт.ст. (0,1 МПа), тягоміри для вимірювання розрідження газових середовищ до 700 мм вод.ст. (7000 Па), вакуумметри для вимірювання вакууму (розрідження) до 760 мм рт.ст. (0,101 МПа) і диференціальні манометри для вимірювання різниці тисків неагресивних газів, що перебувають під тиском, близьким до атмосферного, до 700 мм вод.ст. (7000 Па) і неагресивних рідин, газів і парів, що знаходяться під тиском більше 1 кгс/см² (0,1 МПа), до 700 мм рт.ст. (0,09 МПа).

На рисунку 3.1 показана схема U-подібного (двотрубного) манометра.

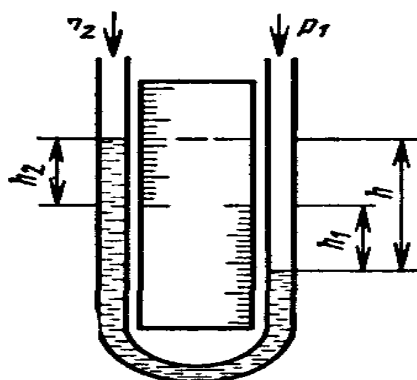


Рисунок 3.1 - Схема U-подібного (двотрубного) манометра

Він складається з U-подібної скляної трубки, що заповнюється приблизно до половини своєї висоти робочою рідиною, і шкали, що дає змогу робити відлік рівнів в обох колінах. Вимірюваний тиск, розрідження або різниця тисків урівноважуються і вимірюються стовпом h робочої рідини, який визначається як сума стовпів h_1 і h_2 в обох колінах. При цьому усувається похибка через деяку можливу відмінність перерізів обох колін U-подібної трубки.

Як робочу рідину звичайно застосовують воду або ртуть. Внутрішній діаметр скляної трубки для виготовлення U-

подібного приладу повинен бути не менше 8 - 10 мм і по можливості однаковий по всій її довжині.

При застосуванні U-подібний манометр повинен установлюватися вертикально по схилу.

Для вимірювання надлишкового тиску в об'єкті праве коліно трубки приладу з'єднують з об'єктом, а ліве залишають відкритим; при вимірюванні розрідження ліве коліно приладу з'єднують з об'єктом, а праве залишають відкритим. При вимірюванні різниці тисків більший тиск підводиться до правого, а менший – до лівого коліна трубки приладу.

Результат вимірювання може бути виражений не в міліметрах стовпа робочої рідини, а в паскалях за формулою

$$P = h \cdot g \cdot \rho, \quad (3.4)$$

де g - прискорення вільного падіння, м/с^2 ;

h - різниця рівнів робочої рідини, м ;

ρ - щільність робочої рідини, кг/м^3 .

Чашковий (однотрубний) манометр, показаний на рисунку 3.2, складається з циліндричної посудини і сполученої з ним вимірювальної скляної трубки.

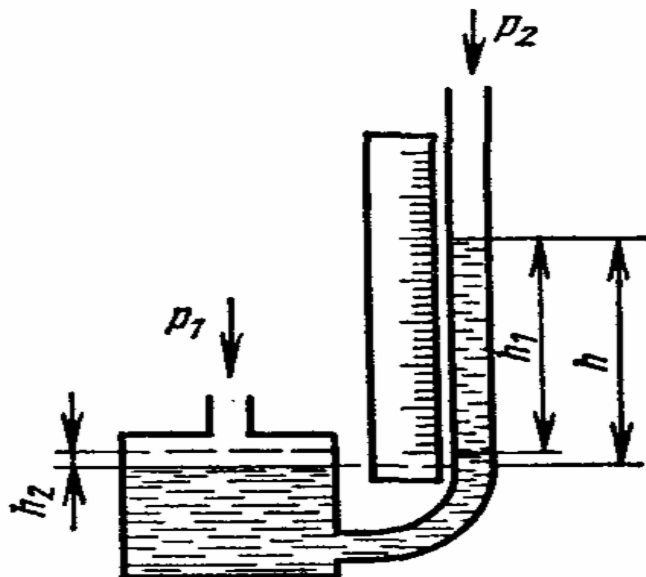


Рисунок 3.2 - Схема чашкового (однотрубного) манометра

При цьому площа перерізу посудини значно більша, ніж вимірювальної трубки. Робочу рідину (воду, ртуть або іншу рідину) заливають у широку посудину настільки, щоб рівень її у вимірювальній трубці знаходився проти нульової позначки шкали. При вимірюванні тиску в об'єкті його з'єднують за допомогою трубки з посудиною приладу, а при вимірюванні розрідження з вимірювальною трубкою.

При вимірюванні різниці тисків більший тиск подається в посудину, а менший – у вимірювальну трубку.

Нехай під дією тиску, розрідження або різниці тисків рідина у вимірювальній трубці підніметься на висоту h_1 , а в широкій посудині опуститься на висоту h_2 , тоді висота стовпа h , відповідна вимірюваній величині, буде дорівнювати

$$h = h_1 + h_2 . \quad (3.5)$$

Якщо F_1 – площа перерізу вимірювальної трубки, а F_2 – широкої посудини, то

$$F_1 \cdot h_1 = F_2 \cdot h_2 , \quad (3.6)$$

так як об'єм $F_1 \cdot h_1$ рідини у вимірювальній трубці дорівнює об'єму $F_2 \cdot h_2$ рідини, витісненої з широкої посудини.

Розв'язавши рівняння (3.5) і (3.6) щодо h , отримаємо

$$h = h_1 \cdot \left(1 + \frac{F_1}{F_2}\right) = h_1 \cdot \left(1 + \frac{d^2}{D^2}\right), \quad (3.7)$$

де d , D – внутрішні діаметри вимірювальної трубки і широкої посудини, м.

Тобто дійсна висота стовпа h , відповідна вимірюваній величині, більша відлічуваної висоти h_1 на значення $h_1 F_1 / F_2$ або $h_1 d^2 / D^2$.

За допомогою однотрубного манометра тиск, розрідження або різницю тисків зазвичай вимірюють у міліметрах стовпа робочої рідини. У цьому випадку вимірювальний тиск визначають за формулою (3.7).

3.3 Мікроманометри

Мікроманометри є переносними приладами, їх застосовують у лабораторній практиці і в промислових умовах при проведенні випробувань теплосилових та інших установок для вимірювання малих тисків, розрідження або різниць тисків повітря і неагресивних газів. Прилади цього типу в залежності від їх призначення поділяються на робочі і зразкові мікроманометри. Робочі мікроманометри у свою чергу поділяються на прилади технічні та підвищеної точності.

На рисунку 3.3 показана схема мікроманометра з похилою скляною вимірювальною трубкою. Нахил вимірювальної трубки в цьому приладі зроблений з метою зменшення похибки вимірювань.

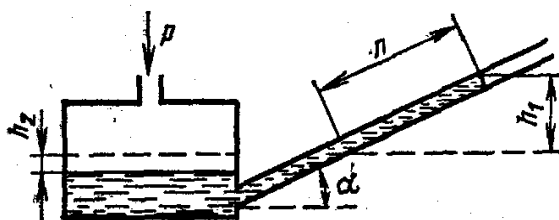


Рисунок 3.3 - Схема мікроманометра з нахильною трубкою

Як робочу рідину в мікроманометрах цього типу застосовують етиловий спирт, який заливають у широку посудину настільки, щоб рівень його в похилій трубці був проти нульової позначки шкали. Довжину шкали мікроманометра з похилою трубкою виконують зазвичай рівною 250 мм.

При вимірюванні тиску в будь-якому об'єкті до нього приєднують за допомогою трубки широку посудину приладу, а при вимірюванні розрідження – похилу трубку. У разі вимірювання різниці тисків більший тиск подається в посудину, а менший – у вимірювальну трубку.

Нехай під дією вимірюваного тиску, розрідження або різниці тисків повітря рівень рідини в трубці, нахилений на кут α до горизонтальної площини, підніметься по вертикалі на висоту h_1 , у широкій посудині опуститься на h_2 , тоді різниця висот рівнів робочої рідини в приладі, яка урівноважує вимірювану величину, буде дорівнювати:

$$h = h_1 + h_2 , \quad (3.8)$$

де h_1 – висота рідини в похилій трубці.

$$h_1 = n \cdot \sin \alpha , \quad (3.9)$$

де n – довжина стовпа рідини в похилій трубці.

Якщо F_1 і F_2 відповідно площа перерізу похилої трубки і посудини, то

$$n \cdot F_1 = h_2 \cdot F_2 , \quad (3.10)$$

тобто об'єм $n \cdot F$ рідини, який міститься в похилій трубці, дорівнює об'єму $h_2 \cdot F_2$ рідини, витісненої з широкої посудини.

Значення вимірюваного тиску, P_a , розраховують за формулою

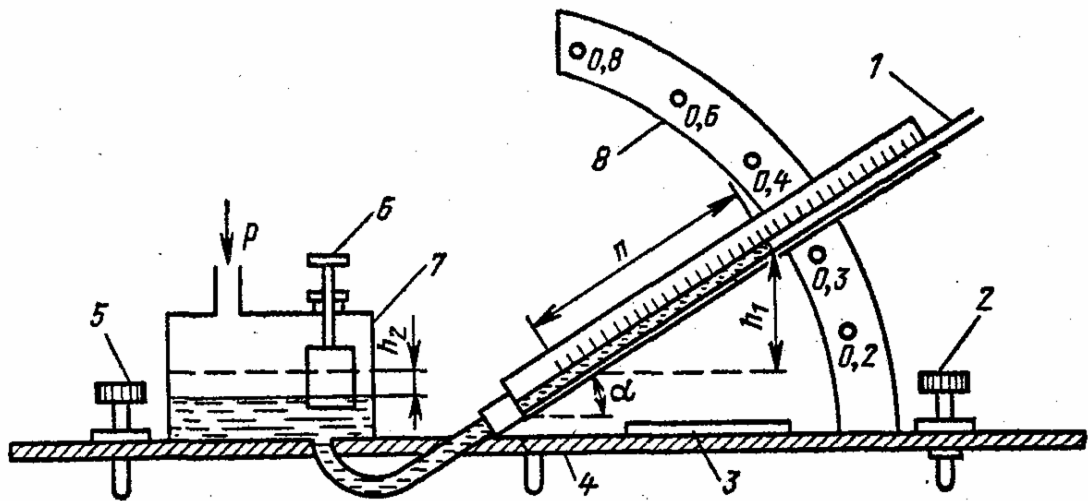
$$P = h \cdot g \cdot \rho = n \cdot g \cdot \rho \cdot \left(\sin \alpha + \frac{F_1}{F_2} \right),$$

де ρ - щільність робочої рідини, кг/м³;

g - місцеве прискорення вільного падіння, м/с².

За схемою, показаною на рисунку 3.3, виконують мікроманометри зі змінним кутом нахилу вимірювальної трубки. Завдяки цьому прилад може мати декілька діапазонів вимірювання.

Як приклад розглянемо пристрій мікроманометра типу ММН з п'ятьма діапазонами вимірювання (0-50, 0-75, 0-100, 0-150 і 0-200 кгс/м²). Схема цього приладу подана на рисунку 3.4. Прилад складається з широкої посудини 7, вимірювальної трубки 1, закріпленої на поворотному кронштейні, і пристосування 8 для фіксації кута нахилу α вимірювальної трубки. Посудина і всі інші деталі приладу укріплені на загальній основі 4. Мікроманометр має шкалу 0 - 250 кгс/м². Прилад обладнаний двома рівнями 3 з циліндричними ампулами. Для установлення приладу за рівнями служать два гвинти (2 і 5). Для установлення у вимірювальній трубці рівня рідини проти нульової позначки шкали служить витискувач 6.



1 – вимірювальна трубка; 2, 5 – гвинти; 3 – рівні; 4 – основа;
6 – витискувач; 7 – широка посудина; 8 – пристосування для фіксації
вимірювальної трубки

Рисунок 3.4 - Схема мікроманометра типу ММН

Для зміни діапазону вимірювання кронштейн з вимірювальною трубкою може бути встановлений під п'ятьма різними фіксованими кутами нахилу до горизонтальної площини. Кожному фіксованому куту нахилу вимірювальної трубки, а отже, і заданому діапазону вимірювання відповідає певне значення постійної приладу.

Для фіксації кронштейна з вимірювальною трубкою при заданому значенні постійної приладу служить установлювальна дуга 8 з отворами. Кронштейн з'єднується з дугою в потрібному положенні за допомогою конічного штифта, який на схемі приладу не показаний. Значення постійних мікроманометра (0,2, 0,3, 0,4; 0,6 і 0,8) для зазначених вище п'яти діапазонів вимірювання і при заповненні його етиловим спиртом густиною $0,8095 \text{ г/см}^3$ позначені проти отворів на установлювальній дузі.

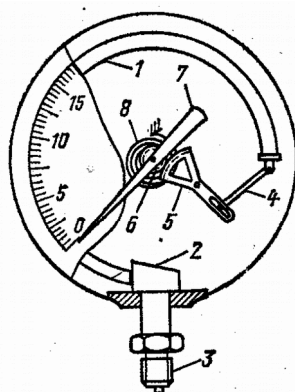
3.4 Манометри з пружним чутливим елементом (деформаційні манометри)

Прилади тиску, засновані на використанні деформації або згинального моменту пружних чутливих елементів, що сприймають вимірюваний тиск середовища і перетворюють його в переміщення або зусилля, застосовують у різних галузях техніки в широкому діапазоні вимірювань від 50 Па до 1000 МПа.

Вони виготовляються у вигляді тягомірів, напоромірів, тягонапоромірів, манометрів, вакуумметрів і мановакуумметрів.

У цих приладах як пружні чутливі елементи використовуються мембрани, сильфони й одновиткові трубчасті пружини. Прилади з одновитковою трубчастою пружиною отримали найбільше розповсюдження. У залежності від призначення вони поділяються на робочі і зразкові. Робочі прилади у свою чергу поділяються на прилади з підвищеною точністю, контрольні й технічні.

На рисунку 3.5 схематично показано пристрій показувального манометра з одновитковою трубчастою пружиною Бурдона. Один кінець трубчастої пружини 1 закріплений у тримачі 2, скріпленому з корпусом манометра. Внизу тримач оснащений шестигранною головкою і радіальним штуцером 3 з різьбою для приєднання до об'єкта, де слід виміряти надлишковий тиск середовища. Прилади тиску виготовляються також з осьовим штуцером, що розташовується позаду корпусу приладу. Вільний кінець пружини, закритий пробкою із сережкою і запаяний, з'єднаний із секторним передавальним механізмом, що складається з повідця 4, сектора 5 і трибки 6, на осі якої укріплена стрілка 7. Спиральна пружина 8 притискає зубці трибки до зубців сектора, усуває мертвий хід.



1 – трубчаста пружина; 2 – тримач; 3 – штуцер; 4 – повідець; 5 – сектор;
6 – трибка; 7 – стрілка; 8 – спіральна пружина

Рисунок 3.5 – Манометр з одновитковою трубчастою пружиною

Під впливом вимірюваного надлишкового тиску пружина деформується і тягне повідець. Повідець повертає зубчастий

сектор і відповідно трибку зі стрілкою. Стрілка, яка пересувається уздовж шкали, показує значення вимірюваного надлишкового тиску. Переміщення вільного кінця пружини, а отже, і кут повороту стрілки практично пропорційні вимірюваному тиску, тому шкала таких приладів рівномірна. Регулювання ходу стрілки здійснюється зміною довжини плеча сектора з боку повідця.

Вакуумметри з одновитковою трубчастою пружиною за своєю будовою аналогічні манометру (рисунок 3.5). Якщо штуцер приладу з'єднати з простором, у якому створено розрідження, то трубчаста пружина буде скручуватися і її вільний кінець буде переміщатися не вгору, як при вимірюванні надлишкового тиску, а вниз. Тому стрілка вакуумметра буде рухатися на відміну від манометра справа наліво. Щоб зробити рух стрілки звичайним, кінець трубчастої пружини закріплюють з правого боку тримача. Проте прямий рух стрілки не є обов'язковим і вакуумметри можуть бути виконані як з прямим, так і зі зворотним рухом стрілки.

Мановакуумметри з одновитковою трубчастою пружиною відрізняються від розглянутого вище манометра в основному шкалою, яка виконується у них двосторонньою. Шкала, розташована ліворуч від нуля, служить для вимірювання вакууму в діапазоні від 0,1 до 0 МПа, а праворуч від нуля міститься шкала для вимірювання надлишкового тиску, яка виконується з верхніми межами вимірювання від 0,06 - 2,4 МПа.

4 ВИТРАТОМІРИ

4.1 Загальні відомості

При визначенні потужності, продуктивності і ККД енергетичних установок, контролі й управлінні виробничими процесами потрібне точне і надійне вимірювання витрати різних рідких і газоподібних речовин у напірних лініях.

Прилад, який вимірює витрату, тобто кількість речовини, що проходить у трубопроводах в одиницю часу, називають витратоміром. Якщо витратомір оснащений підсумувальним

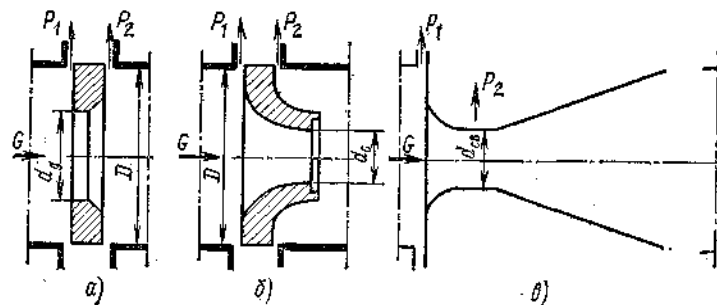
пристроєм з лічильником, він служить для одночасного вимірювання витрати та кількості речовини і називається лічильником кількості. Показання лічильника виражаються в одиницях об'єму (кубічних метрах, літрах (m^3 , л)) або в одиницях маси (кілограм, тонна (кг, т)). Відповідно розрізняють вимірювану об'ємну (кубічний метр на годину, кубічний метр на секунду ($m^3/год$, $m^3/с$)) і масову витрату речовини (кілограм на годину, кілограм на секунду, тонна на годину ($кг/год$, $кг/с$, $т/год$)).

Застосовують різні методи вимірювання витрати речовини і конструкції витратомірів і лічильників. Найбільш поширені такі витратоміри: змінного перепаду тиску зі звужувальними пристроями, постійного перепаду тиску, тахометричні, електромагнітні, ультразвукові.

4.2 Вимірювання витрати за перепадом тиску на звужувальному пристрої

Серед приладів, що вимірюють витрату речовини, найчастіше застосовують витратоміри, що визначають перепад тиску на нерухомому звужувальному пристрої, який установлюють у трубопроводах діаметром від 50 до 1600 мм.

До звужувальних пристроїв, що застосовуються на електростанціях, належать діафрагми, сопла і сопла Вентурі (рисунок 4.1). Ці пристрої використовують у комплекті з диференціальними манометрами для вимірювання витрати та кількості рідин, газів і пари в горизонтальних, похилих і вертикальних трубопроводах без індивідуального градування.



а – діафрагма; б – сопло; в – сопло Вентурі
Рисунок 4.1 - Звужувальні пристрої

Діафрагма (рисунок 4.1, а) являє собою тонкий диск з центральним отвором, передня частина якого має циліндричну форму, яка переходить у конус, який розширюється. Відбір тиску здійснюється за допомогою кільцевих камер, розташованих по колу труби, або за допомогою окремих отворів у трубопроводі (безкамерний відбір). Діафрагми широко застосовують для вимірювання витрати рідини, пари або вологого газу.

Сопло (рисунок 4.1, б) має спрофільовану вхідну частину, яка переходить у циліндричну ділянку діаметром d . Відбір тиску здійснюється так само, як і в діафрагмі. Сопла використовують для вимірювання витрати пари і газів, причому вони дають змогу вимірювати більшу витрату, ніж діафрагми. Втрати тиску і похибки вимірювання у соплі нижчі, ніж у діафрагмі.

Сопло Вентурі (рисунок 4.1, в) застосовують там, де при вимірюванні витрати неприпустимі великі втрати тиску. Воно складається з двох частин: стандартного сопла і дифузора. Відбір тиску від сопла здійснюється через кільцеві камери.

Залежність між перепадом тисків у звужувальному пристрої і витратою середовища дозволяє градувати ці прилади в одиницях витрати. Для одержання лінійної шкали витратомірів в електричну або кінематичну схему приладів включають пристрої, які здійснюють операцію добування квадратного кореня з вимірюваної різниці тисків. Це утруднює обслуговування витратомірів і є їх істотним недоліком. Інший недолік таких витратомірів – звужений діапазон вимірювання витрати середовища (30-100 % максимального значення вимірюваної величини).

4.3 Методика вимірювання витрати речовин за допомогою звужувальних пристроїв

Стандартні звужувальні пристрої в комплекті з дифманометрами застосовують для вимірювання витрати речовин у трубопроводах круглого перерізу. При установленні звужувальних пристроїв дотримуються ряду вимог: фазовий стан речовини при проходженні через пристрій звуження потоку не повинен змінюватися (рідина не випаровується, пара не конденсується, гази, розчинені в рідині, не виділяються); ділянки

трубопроводу до і після звужувального пристрою повинні бути прямими без запірної арматури, щоб конденсат або пил, який виділяється з пари або газу, а також осад або повітря, що виділяється з рідини, не скупчувалися в трубопроводі; при вимірюванні витрати агресивних рідин, газів, а також нафтопродуктів дифманометри треба встановлювати зі спеціальними відокремлюючими посудинами; якщо при вимірюванні витрати параметри середовища відрізняються від розрахункових, у показання приладу вводять поправки; довжина імпульсних ліній від звужувальних пристроїв до дифманометра не повинна перевищувати 15 м, а їх внутрішній діаметр повинен бути не менше 8 мм; імпульсні лінії прокладають вертикально або з ухилом 1/10, при цьому повинні бути плавними вигини труб і забезпечуватися герметичність ліній і арматури, а також їх теплоізоляція; на імпульсних лініях поблизу дифманометра встановлюють вентиля для продування ліній; дифманометри встановлюють по схилу на твердій основі в місцях, де немає трясіння і вібрації, а вторинні прилади – на блочних щітках управління.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 1 Прямі й непрямі вимірювання.
- 2 Які методи вимірювання існують?
- 3 Що називають первинним і вторинним вимірювальним пристроєм?
- 4 Які ви знаєте похибки і способи їх зменшення?
- 5 Дайте поняття температури і температурної шкали.
- 6 Принцип дії скляних рідинних термометрів.
- 7 Назвіть і охарактеризуйте принцип дії манометричного газового термометра.
- 8 Принцип дії рідинного манометричного термометра.
- 9 Принцип дії конденсаційного манометричного термометра.
- 10 Принцип дії термоелектричного термометра.
- 11 Які вимоги висуваються до термоелектронних матеріалів?

- 12 Способи виготовлення робочого кінця термоелектричного термометра.
- 13 Принцип дії електричних термометрів опору.
- 14 Конструкція термометра опору.
- 15 Принцип дії оптичного пірометра.
- 16 Принцип дії радіаційного пірометра.
- 17 Типи і класифікація приладів тиску.
- 18 Які види тиску вам відомі?
- 19 Назвіть одиниці тиску. Який зв'язок між ними?
- 20 Принцип дії та конструкція U – подібного манометра.
- 21 Принцип дії чашкового манометра.
- 22 Характеристика мікроманометра.
- 23 Принцип дії й особливості конструкції деформаційного манометра.
- 24 Типи і класифікація витратомірів.
- 25 Укажіть основні конструктивні особливості стандартних звужувальних пристроїв.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Преображенский В.П. Теплотехнические измерения и приборы. – 3-е изд., перераб. – М.: Энергия, 1978. – 704 с.
- 2 Долинский Е.Ф. Обработка результатов измерений. – М.: Издательство стандартов, 1973. – 317 с.
- 3 Иванова Г.М. Теплотехнические измерения и приборы. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 229 с.
- 4 Чистяков В.С. Краткий справочник по теплотехническим измерениям. – М.: Энергоатомиздат, 1990 – 320 с.
- 5 Фарзани Н.Г., Илясов Л.В., Азим-Заде А.Ю. Теплотехнические измерения и приборы. – М.: Высш. шк., 1989. – 456 с.
- 6 Чистяков С.Ф., Радун Д.В. Теплотехнические измерения и приборы. – М.: Энергия, 1978. – 215 с.