

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства
та природокористування

А.К. Денісов, С.А. Денісов

Теплотехнічні вимірювання та прилади

Навчальний посібник

Рівне 2013

УДК 621.18.08(075)

ББК 332я7

ДЗЗ

*Рекомендовано вченою радою Національного університету водного господарства та природокористування.
(Протокол № 14 від 28 грудня 2012 р.)*

Рецензенти:

Рябенко О.А., доктор техн. наук, професор Національного університету водного господарства та природокористування, м. Рівне;

Давидчук В.І., доцент Національного університету водного господарства та природокористування, м. Рівне.

Денісов А.К., Денісов С.А. Теплотехнічні вимірювання та прилади: Навчальний посібник. – Рівне: НУВГП, 2013. – 184 с.

Навчальний посібник містить вказівки, щодо вивчення окремих тем, питання для перевірки знань, термінологічний словник, список рекомендованої літератури. Посібник призначено для вивчення дисципліни в умовах кредитно-трансферної організації навчального процесу бакалаврами спеціальностей 6.050601 "Теплоенергетика" та 6.050602 "Гідроенергетика".

УДК 621.18.08(075)

ББК 332я7

© Денісов А.К., Денісов С.А., 2013

© Національний університету водного господарства та природокористування, 2013

Зміст

Передмова

Розділ 1. ТЕМПЕРАТУРА

Тема 1. Призначення та основні принципи теплотехнічних вимірювань.....	7
1.1. Призначення теплотехнічних вимірювань.....	7
1.2. Організація теплотехнічних вимірювань.....	9
Тема 2. Вимірювальні прилади, та їх властивості	11
2.1. Методи вимірювання та характеристика приладів.	11
2.2. Основні властивості та елементи вимірювальних приладів.....	16
2.3. Похибки вимірювань.....	16
Тема 3. Вимірювання температури.....	19
3.1 Фізична суть вимірювання температури та властивості матеріалів, що використовуються.	19
3.2. Температурні шкали та методи вимірювання температури.....	20
Тема 4. Термометрія. Особливості будови приладів для вимірювання температури.....	22
4.1. Класифікація приладів для вимірювання температури.....	22
4.2. Термометри розширення.....	22
4.2.1. Встановлення ртутних термометрів.....	24
4.2.2. Перевірка ртутних термометрів.....	26
4.3. Механічні термометри.....	27
4.4. Манометричні термометри.....	28
Тема 5. Пірометрія. Особливості будови приладів для вимірювання температури.....	30
5.1. Термопари та їх основні властивості.....	30
5.2. Термоелектродні матеріали.....	31
5.3. Типи і конструкції термопар.....	32
5.4. Принцип дії і будова пірометричних мілі вольтметрів.....	38
5.5. Компенсаційний метод вимірювання температури.....	39
5.6. Встановлення термоелектричних пірометрів.....	40
5.7. Перевірка термоелектричних пірометрів	42
Тема 6. Будова та властивості термометрів опору.....	45
6.1. Електричні термометри опору та їх властивості.....	45
6.2 . Конструкції термометрів опору	46
6.3. Конструкції врівноважених вимірювальних мостів	50
6.4. Логометри та їх конструкції.....	52
6.5. Пірометри випромінювання	55
6.6. Оптичні, фотоелектричні та радіаційні пірометри	57
Розділ 2. ТИСК	
Тема 7. Вимірювання тиску.....	61
7.1. Види тиску. Одиниці та методи вимірювання тиску	61
Тема 8. Манометри	64
8.1. Вимірювання невеликих тисків рідинними скляними манометрами.....	64
8.2. Поправки до показів рідинних скляних манометрів	69

Тема 9. Вимірювання тиску з деформуючими пристроями	69
9.1. Пружинні манометри	69
9.2. Вибір і встановлення пружинних манометрів	75
9.3. Правила вимірювання пружинними манометрами	76
9.4. Поршневі манометри	77
9.5. Перевірка манометрів	78
9.6. Манометри з дистанційним передаванням показів	80
Тема 10. Вимірювання невеликого тиску та розрідження.....	83
10.1. Тягонапороміри.....	83
10.2. Рідинні скляні та мембранні тягонапороміри.....	83
10.3. Ковпакові та кільцеві тягонапороміри.....	85
10.4. Встановлення і перевірка тягонапоромірів.....	90
10.5. Ртутні скляні вакуумметри і мано вакуумметри.....	91
10.6. Пружинні вакуумметри і мано вакуумметри.....	94
10.7. Встановлення і перевірка вакуумметрів.....	95
10.8. Барометри та баровакуумметри.....	96
Розділ 3. ВИТРАТИ	
Тема 11. Вимірювання витрати та кількості	96
11.1. Характеристика методів та приладів для вимірювання витрати.....	96
11.2. Дросельні витратоміри.....	98
11.2.1. Звужувальні пристрої.....	98
11.2.2. Вибір і встановлення звужувальних пристроїв.....	100
11.3. Диференціальні манометри.....	101
11.3.1. Встановлення і перевірка диференціальних манометрів.....	105
11.4. Швидкісні лічильники та витратоміри.....	106
11.5. Анемометри.....	111
11.6. Об'ємні лічильники.....	113
11.6.1. Мірні баки.....	113
11.6.2. Об'ємні лічильники для рідини.....	115
11.6.3. Об'ємні лічильники для газу.....	117
11.7. Обчислювачі та електронні коректори об'єму газу.....	119
11.8. Забірні вузли та дільниці для обліку газу.....	120
11.9. Вимоги до замірних вузлів.....	121
11.10. Методи оцінки і критерії роботоздатності витратовимірювального обладнання	123
11.10.1. При експлуатації ВВТ мають місце також механічні впливи.....	124
11.10.2. Види випробувань та правила приймання витратовимірювальної техніки.....	127
11.11. Ультразвукові витратоміри.....	130
11.12. Витратоміри сталого перепаду тиску.....	133
11.12.1. Поршневі витратоміри	134
11.12.2. Індикатори витрати.....	135
11.13. Терези	136
11.13.1. Типи важільних терезів	136

11.13.2. Порціонні автоматичні ваги.....	136
11.13.3. Автоматичні терези для безперервного зважування	138
11.13.4. Перевірка автоматичних терезів.....	139
Тема 12. Аналіз димових газів.....	140
12.1. Основні положення.....	141
12.2. Класифікація газоаналізаторів.....	142
12.3. Переносний газоаналізатор типу ГХП-3.....	143
12.4. Автоматичні хімічні газоаналізатори.....	145
12.5. Електричні газоаналізатори.....	147
12.6. Встановлення та перевірка автоматичних переносних газоаналізаторів	150
12.7. Арматура автоматичних газоаналізаторів.....	152
Тема 13. Визначення якості води і пари.....	154
13.1. Методи визначення якості води і пари.....	154
13.2. Солеміри.....	156
13.3. Киснеміри.....	159
13.4. Парові кариметри.....	161
Тема 14. Вимірювання рівня рідини	163
14.1. Рівнеміри для парових котлів.....	163
14.1.1. Механічні рівнеміри	163
14.1.2. Гідравлічні рівнеміри	164
14.1.3. Електронний рівнемір	167
14.1.4. Показчики рівня рідини в резервуарах.....	169
Розділ 4. СПЕЦІАЛЬНІ ВИМІРЮВАННЯ	
Тема 15. Спеціальні вимірювання.....	170
15.1. Тахометри та лічильники числа обертів.....	170
15.2. Тепломіри.....	173
15.3. Показчики осьового зсуву ротора турбіни.....	175
Тема 16. Щити керування і схеми теплотехнічного контролю.....	176
16.1. Призначення та будова щитів управління.....	176
16.2. Класифікація теплотехнічних щитів.....	177
16.3. Конструкції теплотехнічних щитів і пультів.....	177
16.4. Схеми теплотехнічного контролю	179

Вимірювання фізичних величин є одним із способів пізнання навколишнього світу, основним засобом контролю різних виробничих процесів і має дуже давнє походження. Роль і значення вимірювальної техніки як об'єктивного фактора пізнання природи в свій час підкреслив великий російський учений Д. І. Менделєєв, який говорив, що «Наука починається... з того часу, як починають вимірювати». Справді, значення метрології та вимірювальної техніки, в розвитку науки і техніки дуже велике, і тепер без вимірювань не може обійтись жодна галузь знань.

Ще в середні віки вимірювали час, геометричні розміри і маси тіл. У XVII ст. з'явилися термометри для вимірювання температури, манометри для вимірювання тиску води, барометри для визначення тиску атмосферного повітря тощо. У XVIII та XIX ст. почали застосовувати динамометри для вимірювання сили, калориметри для вимірювання кількості теплоти та багато інших приладів, а також створювати прилади для вимірювання електричних величин.

Численні й оригінальні конструкції вимірювальних приладів різного призначення створив великий основоположник російської науки М. В. Ломоносов (1711-1765 рр.). Заслугою М. В. Ломоносова є також створення температурної шкали, яка ґрунтується на тепловому розширенні рідких тіл. В ряду піонерів вітчизняного приладобудування, одне з перших місць, належить видатному механіку І. П. Кулібіну (1735-1818 р.), який виготовив велику кількість різних вимірювальних приладів (термометри, барометри, точні ваги тощо), якими користувались у багатьох місцях Росії.

Теплотехнічні вимірювання застосовуються для визначення як суто теплових величин (температури, ентальпії, теплоти згоряння, теплопровідності і т. д.), так і деяких інших, які відіграють важливу роль у теплотехніці (тиску, кількості і витрати, складу газів, рівня рідини тощо).

Теплотехнічні вимірювання відіграють велику роль у багатьох галузях народного господарства, наприклад, у теплоенергетиці, металургії, хімії тощо. В енергетичній промисловості їх застосовують для повсякденного контролю і спостереження за роботою встановленого на електростанціях теплосилового устаткування. Поряд з цим теплотехнічні вимірювання призначені для подальшого вивчення і вдосконалення способів виробництва електричної та теплової енергії та методів споживання тепла різними установками. Раціональна й надійна експлуатація теплової електростанції неможлива без використання різних за будовою та принципом дії приладів теплотехнічного контролю. При сучасному стані техніки виробництва електричної і теплової енергії на великих електростанціях, оснащених досить складним устаткуванням, теплотехнічний контроль органічно зв'язаний з роботою агрегатів та є дуже важливою ланкою керування в руках експлуатаційного персоналу. Спробою допомогти молодим спеціалістам отримати кваліфікацію, що відповідатиме рівню вимог сучасності, і є метою цього навчального посібника, який може бути корисним при вивченні дисципліни в умовах кредитно-модульної організації навчального процесу студентам напряму підготовки 6.050601 „Теплоенергетика” та 6.050602 «Гідроенергетика».

Розділ 1. ТЕМПЕРАТУРА

Тема 1. Призначення та основні принципи теплотехнічних вимірювань

1.1. Призначення теплотехнічних вимірювань

Сучасна теплова електростанція – велике і складне промислове підприємство, яке за рахунок спалюваного в ньому палива виробляє електричну і теплову енергію. За характером використовуваного обладнання станція поділяється на дві основні частини: теплову й електричну.

Головними є котельний і турбінний цехи з встановленими в них основними агрегатами — паровими котлами і турбінами. У цих цехах є також допоміжне обладнання: пилоприготувальні системи, дуттьові вентилятори, димососи, циркуляційні, конденсатні, живильні, сітьові і дренажні насоси, сітьові водопідігрівники, пароперетворювальні і випарні установки, регенеративні підігрівники, деаератори, ежектори, редукційно-охолоджувальні установки, баки, трубопроводи та ін.

Як правило, на основному і допоміжному устаткуванні станції є багато різних приладів теплотехнічного контролю. Більшість з них передає покази на спеціальні щити агрегатів, які розміщені на деяких відстанях в пунктах керування роботою установки.

При експлуатації теплосилової установки вимірюють величини (тиск, температуру, витрату і т. д.) таких робочих речовин:

- 1) пари свіжої, відбірної і спрацьованої в турбіні;
- 2) води живильної, охолодної, хімічно очищеної, продувальної, сітьової і конденсату;
- 3) димових газів у топці і газоходах котла;
- 4) повітря атмосферного і повітря, яке надходить у топку котла, а також повітря або водню, призначеного для охолодження генератора;
- 5) масла в системах змащення турбоагрегату, насосів, вентиляторів, димососів, млинів і регулювання турбіни;
- 6) палива твердого, рідкого і газоподібного.

Основний обов'язок чергового персоналу станції полягає в управлінні режимом роботи установки, для забезпечення надійної та раціональної її експлуатації. Успішне виконання цих завдань, а також організація технічного обліку роботи обладнання теплової частини і станції в цілому неможливі без повсякденного і дійового контролю, який здійснюється за допомогою різних вимірювальних приладів.

Теплотехнічний контроль на електростанціях забезпечує:

- 1) надійну і безпечну експлуатацію установки;
- 2) економічно найвигідніший режим роботи обладнання;
- 3) організацію технічного обліку роботи агрегатів і станції в цілому.

Надійна і безпечна експлуатація теплосилової установки визначається переважно, справним станом і безаварійною роботою її обладнання. Безперервний контроль за тиском, температурою і витратою робочих речовин (води, пари, масла, повітря, димових газів, палива і т. д.), спостереження за рівнем води, числом обертів турбіни, якістю води і пари і т.д. дають можливість значно підвищити надійність роботи обладнання і усунути небезпеку при його обслуговуванні. Так, наприклад, контроль тиску пари в котлі і рівня води в барабані захищає котел і пов'язане з ним обладнання від пошкоджень. Велике зниження рівня води призводить до перепалювання труб котла, а дуже високий рівень — до надходження вологи в пароперегрівник, що може призвести до аварії парової турбіни.

Контроль вологості і солемісту пари дає змогу запобігти відкладанню солей у перегрівнику, регулювальних клапанах і лопатях турбіни. Крім того, систематичне вимірювання вмісту солей і кисню в конденсаті та живильній воді дає можливість не допустити відкладання накипу в котлі.

Безперервне спостереження за температурою масла в підшипниках турбоагрегату в значній мірі визначає надійність його роботи. У ряді випадків вимірювальні прилади, призначені для забезпечення надійної і безпечної роботи обладнання, завдяки додатковим пристроям діють водночас і на пристрої аварійно-запобіжної (звукової і світлової) сигналізації, що дозволяє черговому персоналу запобігати і своєчасно усувати причини аварії.

Як відомо, основним економічним показником роботи електростанції є її к.к.д., який залежить від величин питомих витрат тепла на вироблення електричної і відпущеної споживачеві теплової енергії. К.к.д. станції підвищують переважно за рахунок зниження теплових втрат парових котлів і турбін і зменшення витрати електричної та теплової енергії на власні потреби установки.

Теплові втрати котлоагрегату, які можуть бути дуже великими, що позначається на економічності його роботи, при правильній експлуатації можна значно зменшити. Тому теплотехнічний контроль котельного цеху є основною ланкою в загальній системі контролю на електростанції.

Як відомо, теплові втрати парових котлів складаються в основному із втрат з відхідними газами, механічних втрат палива з провалом і виносом і втрат від хімічної неповноти горіння. Ці втрати можна звести до мінімуму, якщо забезпечити відповідний контроль та регулювання процесу горіння палива і відповідно регулювання роботи котлоагрегату, при різних навантаженнях, а також спостереження за чистотою поверхонь нагріву, станом обмурування тощо. Забруднення поверхні нагріву котлоагрегату із зовнішньої і внутрішньої сторін різко погіршує теплопередачу і приводить до зниження його продуктивності, збільшення втрат з відхідними газами, тобто в решті решт до перевитрати палива.

Економічність роботи парового котла контролюють за показами вимірювальних приладів, які визначають: витрату і якість спалюваного палива; тиск, температуру і витрату пари, живильної води й повітря, якість пари, конденсату та живильної води і т. д.

Теплові втрати турбоагрегату залежать переважно від ефективності роботи його конденсаційного пристрою, тому контроль за станом (чистотою) поверхні охолодження конденсатора, а також за якістю роботи ежектора, який відсмоктує повітря, має велике практичне значення.

Неабияку роль відіграє і спостереження за початковими параметрами пари перед турбіною, відкладанням солей у її проточній частині, а також за роботою підігрівників, випарників, деаераторів і насосів, які дають можливість знижувати питомі витрати палива на вироблення енергії. Роботу теплової електростанції за звітний період (добу, місяць, рік) технічно обліковують за такими основними техніко-економічними показниками: вироблення і відпуск на сторону теплової та електричної енергії; питома витрата умовного палива на вироблену кіловат-годину і відпущену споживачеві Гкал, витрати електроенергії на власні потреби станції. Технічний облік на електростанціях здійснюють переважно за допомогою самопишучих і підсумовуючих приладів (лічильників), які об'єктивно відображають роботу установки.

1.2. Організація теплотехнічних вимірювань

Встановлені на електростанції прилади теплотехнічного контролю і різні пристрої автоматизації теплових процесів цілодобово обслуговує цех теплового контролю та автоматики.

Водночас на цей цех по лінії контролю за правильністю застосування вимірювальних приладів, здійснюваного Комітетом стандартів, мір і вимірювальних приладів України, покладено обов'язки місцевого органу відомчого нагляду за вимірювальним господарством станції. У своєму розпорядженні цех має всю вимірювальну апаратуру, яка є на станції, і пристрої автоматизації.

Цех теплового контролю та автоматики забезпечує правильну і надійну роботу приладів КВП і А, стежачи за їх станом, обслуговуванням, перевіряючи і ремонтуючи їх. Для виконання цих завдань цех звичайно має експлуатаційну, контрольну та ремонтно-налагоджувальну групи і лабораторію.

Для безперервного обслуговування приладів і спостереження за їх роботою експлуатаційна група встановлює цілодобове (змінне) чергування. Регулярно, через певні, для кожної категорії приладів строки, перевірно-контрольна група цеху перевіряє прилади як безпосередньо на місці встановлення, так і в лабораторії (так звана періодична перевірка). Для цього лабораторія цеху обладнана зразковими і контрольними приладами, спеціальними стендами і перевірними пристроями. Крім періодичних перевірок приладів у строки, встановлені Комітетом стандартів, мір і вимірювальних приладів, провадять так звані обов'язкові перевірки приладів. Частина приладів за списком, затвердженим Комітетом, додатково через певні строки і після ремонту проходить державну перевірку в органах Комітету, де на них ставлять клеймо.

Прилади теплотехнічного контролю в разі їх пошкодження, а також зниження точності показів за допустимі межі ремонтує і регулює ремонтно-налагоджувальна група цеху. Для проведення ремонту приладів і

авторегуляторів цех теплового контролю і автоматики має необхідні майстерні – слюсарно-механічну і точної механіки.

Цех теплового контролю й автоматики забезпечує виробничі цехи і відділи станції потрібною вимірювальною апаратурою, для проведення робіт по налагодженню і випробуванню теплосилового обладнання.

У цеху зберігаються паспорти на всі встановлені на станції експлуатаційні, а також лабораторні вимірювальні прилади. Паспорт приладу це - постійно діючий документ, який характеризує стан приладу в процесі експлуатації. У паспорт записують технічні дані про прилад, результати періодичних, обов'язкових і державних перевірок, відомості про ревізії і ремонт, переставляння і т. д. У цеху є також схеми теплотехнічного контролю обладнання, принципів та монтажні (виконавчі) схеми всіх встановлених приладів і монтажно-експлуатаційні інструкції про принцип дії приладів, їх будову, правила встановлювання, обслуговування і перевірки. Лабораторія цеху проходить реєстрацію в місцевих органах Комітету стандартів, мір і вимірювальних приладів, на право виконання перевірок і ремонту вимірювальних приладів.

Запитання

1. Що Ви розумієте під виразом «Правильна організація теплотехнічного контролю» ?
2. На прикладі показати технологічну послідовність енергетичних перетворень первинної енергії палива в теплову або електричну енергію?
3. Яким чином контролюється послідовність та повнота енергетичних перетворень первинної енергії палива частинам енергетичного обладнання?
4. Вказати основні фізико-хімічні процеси при перетворенні одного виду енергії в інший?
5. Вказати на основні умови безпечного та економічно-вигідного застосування того чи іншого виду енергетичного обладнання.
6. Яким чином забезпечується повнота теплотехнічного контролю роботи енергетичного обладнання?
7. Які системи теплотехнічного контролю забезпечують надійну та безпечну роботу енергетичного обладнання?
8. В чому полягає принцип автоматичного регулювання та управління технологічними процесами енергетичного виробництва?
9. Яким чином і за допомогою яких приладів та пристроїв виконується ручне, дистанційне та автоматичне управління роботою енергетичного обладнання?
10. За допомогою яких чинників забезпечується економічність використання первинної енергії палива ?

Тема 2. Вимірювальні прилади, та їх властивості

2.1. Методи вимірювання та характеристика приладів

Вимірювання будь-якої фізичної величини полягає в порівнянні її з іншою однорідною величиною, яку умовно взято за одиницю. Отже, результат вимірювання q показує числове співвідношення між вимірюваною величиною Q і одиницею вимірювання U і подається рівністю

$$Q = qU. \quad (1.1)$$

Згідно з рівнянням (1.1) величина q перебуває в оберненій залежності від вибраної одиниці U . Якщо для вимірювання величини Q взяти іншу (більшу або меншу) одиницю U_1 , то ця рівність набере вигляду

$$Q = q_1 U_1. \quad (1.2)$$

Зпівставляючи рівняння (1.1) і (1.2), дістанемо

$$qU = q_1 U_1.$$

Звідки:

$$q_1 = q \cdot U / U_1 \quad (1.3)$$

З формули (1.3) видно, що відношення одиниць вимірювання являє собою множник для переходу від результату вимірювання q , поданого одиницею U , до результату q_1 , поданому одиницею U_1 , яка чисельно відрізняється від першої.

Дійсне відтворення одиниці вимірювання називається **мірою** (метр, кілограм, літр і т. д.), а пристрій, який застосовується для порівняння вимірюваної величини з прийнятою одиницею вимірювання, – **вимірювальним приладом** (манометр, термометр, ваги).

Вимірювання фізичних величин поділяються на технічні і лабораторні. Технічні вимірювання, які широко застосовуються в різних промислових установках, виконуються приладами, будова яких відповідає їх призначенню і умовам роботи. Для лабораторних вимірювань характерна висока точність завдяки застосуванню найдосконаліших приладів і врахуванню можливих помилок. Цей вид вимірювань використовують для виконання науково-дослідницьких і налагоджувальних робіт.

Для визначення числового значення вимірюваної величини застосовують **прямі і посередні методи** вимірювань.

Прямі методи вимірювань, які характеризуються рівністю (1.1), полягають у порівнянні вимірюваної величини з одиницею вимірювання за допомогою міри або вимірювального приладу з шкалою, яка має поділки в цих одиницях. Наприклад, до прямих вимірювань належать вимірювання довжини — метром, тиску — манометром, температури — термометром і т. д. Завдяки наочності і простоті здійснення прямі методи вимірювання дуже поширились у техніці. Зокрема, до них належить так званий нульовий (компенсаційний) метод, який відзначається високою точністю і широко використовується в лабораторних та технічних вимірюваннях і при якому дія вимірюваної величини врівноважується зворотною дією точно відомої однорідної з нею величини, внаслідок чого показчик приладу встановлюється на нулі. Прикладом такого методу вимірювання є зважування тіла на коромислових терезах за допомогою каліброваних тягарців (гир).

Посередні методи вимірювань передбачають визначення шуканої величини Q не безпосередньо, а через пряме вимірювання однієї або кількох інших величин: A, B, C, \dots , з якими вона зв'язана функціональною залежністю. При цьому вимірювану величину обчислюють за формулою:

$$Q = f(A, B, C, \dots). \quad (1.4)$$

Прикладами посередніх вимірювань, які застосовуються тоді, коли не можна зробити пряме вимірювання або воно менш точне порівняно з посереднім, є визначення кількості води за рівнем її у вказівному склі, визначення теплоти згоряння палива за нагріванням води в калориметрі і т. д.

Теплотехнічні вимірювальні прилади можна класифікувати залежно від їх призначення і будови за кількома ознаками.

Основною класифікацією приладів є поділ їх за родом вимірюваних величин. Умовно прийнято такі назви приладів, призначених для вимірювання:

- 1) температури – термометри і пірометри;
- 2) тиску і розрідження – манометри, тягоміри, напороміри, вакууміри і барометри;
- 3) кількості і витрати-витратоміри і лічильники кількості речовини;
- 4) складу димових газів – газоаналізатори;
- 5) якості води і пари – солеміри і киснеміри;
- 6) рівня рідини – рівнеміри;
- 7) числа обертів вала – тахометри і лічильники числа обертів;
- 8) кількості тепла – тепломіри;
- 9) густини димових газів – димоміри;
- 10) площі діаграм – планіметри;
- 11) вологості повітря – психрометри;
- 12) теплоти згоряння палива – калориметри.

Додатково до основної класифікації вимірювальні прилади можна поділити на такі групи:

- 1) за призначенням – технічні або експлуатаційні (робочі), контрольні, лабораторні, зразкові й еталонні;
- 2) за характером показів – показуючі, самопишучі і підсумовуючі;
- 3) за принципом дії – механічні, електричні, гідравлічні, хімічні, радіоактивні і т. д.;
- 4) за характером використання – оперативні й облікові;
- 5) за розміщенням – місцеві і з дистанційним передаванням показів;
- 6) за умовами роботи – стаціонарні і переносні.

Технічні вимірювальні прилади — найпоширеніший вид вимірювальних пристроїв, які мають порівняно просту й міцну конструкцію, велику надійність дії. Точність цих приладів нижча, ніж контрольних і лабораторних, бо вони розраховані для роботи в несприятливих умовах (наявність пилу, вологи, вібрації і т. д.). Покази технічних приладів добре видно на відстані.

Контрольні і лабораторні прилади застосовують для перевірки технічних приладів, а також при науково-дослідницьких і налагоджувальних роботах. Контрольні прилади призначені звичайно для точних вимірювань або перевірки технічних приладів на робочому місці, а лабораторні прилади використовують, як правило, тільки в приміщенні лабораторії. Для

забезпечення високої точності вимірювань контрольні і лабораторні прилади мають старанно виготовлений механізм.

Еталонні і зразкові прилади призначені переважно для перевірки вимірювальних пристроїв. Еталонами називаються міри і прилади, призначені для зберігання одиниць вимірювання і відтворення їх з найвищою (метрологічною) точністю.

Зразкові прилади, покази яких дають дійсне (найдостовірніше) значення вимірюваної величини, мають меншу точність, ніж еталонні; їх використовують для передавання за допомогою перевірки і градування правильних одиниць вимірювання від еталонів до інших приладів.

Показуючі прилади дають миттєве значення вимірюваної величини, яке спостерігач визначає по шкалі за допомогою покажчика, а самопишучі — автоматично записують зміну цього значення в часі на діаграмному папері.

Самопишучі прилади виготовляють для записування однієї (одноточковий прилад) або кількох (багатоточковий прилад) вимірюваних величин (точок вимірювання). Підсумовуючі прилади (лічильники або інтегратори) дають інтегральне значення вимірюваної величини за будь-який проміжок часу. Вимірювальні прилади бувають також суміщені, тобто показуючими і самопишучими, показуючими і підсумовуючими і т. д.

Оперативними приладами називають вимірювальні пристрої, за показами яких керують роботою промислових установок. Ці прилади, що мають велике значення для забезпечення нормальної експлуатації устаткування, виготовляють показуючими і самопишучими. Як облікові прилади, що призначені для проведення технічного обліку роботи установок за звітний період, застосовують переважно самопишучі і підсумовуючі прилади.

Місцеві прилади встановлюють безпосередньо в пунктах вимірювань. У більшості випадків вони призначені для менш відповідальних спостережень, а також для періодичних вимірювань при пусках і зупинках агрегатів. Прилади з дистанційним передаванням показів на щити керування забезпечують централізацію контролю за роботою установок. Дальність передавання цих приладів досягає 300-500 м.

2.2. Основні властивості та елементи вимірювальних приладів

Різні вимірювальні прилади мають і різні властивості, які залежать від призначення, будови і принципу їх дії. Якість їх визначається в основному точністю вимірювання, чутливістю і швидкодією приладу.

Точність вимірювального приладу характеризується ступенем достовірності його показів, тобто тим, наскільки результати вимірювання відхиляються від дійсного значення вимірюваної величини.

Чутливістю приладу називається здатність його реагувати на незначні зміни вимірюваної величини. Отже, чутливість приладу можна подати відношенням лінійного або кутового переміщення покажчика (стрілки, рівня рідини або пера) до зміни вимірюваної величини, яка спричинила це переміщення. Якщо позначити Δl – кутове або лінійне переміщення

показчика приладу і ΔA — відповідну зміну вимірюваної величини, то чутливість приладу S можна визначити за формулою

$$S = \Delta I / \Delta A. \quad (1.5)$$

Формула (1.5) показує, що чим менше відхилення вимірюваної величини показує прилад, тим вища його чутливість. Як видно, чутливість обернено пропорційна цінні поділки шкали. Тому вищу чутливість мають прилади з шкалою, що має меншу ціну поділки.

Швидкодія приладу у більшості випадків спричиняється тепловими, механічними і гідравлічними факторами. Чим більш швидкодіючий прилад, тим вища його якість, що характеризує час, який проходить з моменту початку зміни вимірюваної величини до моменту фіксації цього відхилення приладом. Ступінь впливу на покази приладів несприятливих зовнішніх умов вимірювання (вібрація, температура і вологість повітря навколишнього середовища і т.д.) також визначає якість приладів. Вимірювальні пристрої встановлюють і обслуговують так, щоб при вимірюванні по можливості були забезпечені умови, які мали місце при градуванні приладів. Монтаж приладів треба виконувати відповідно до монтажно-експлуатаційної інструкції заводу-виготівника, яка додається до нього. Допустимі межі коливання температури навколишнього повітря для більшості приладів становлять 10-40°C, а вологості – 30-80%.

Найбільш відповідальними вузлами вимірювального приладу є: вимірювальний механізм, тобто пристрій, який безпосередньо здійснює вимірювання за допомогою чутливого елемента, і відліковий пристрій, який показує, записує або підсумовує вимірювану величину.

Вимірювальний механізм приладу складається з рухомої (пружин, осей, важелів, зубчастих коліс і т. д.) і нерухомої (опор, стояків, кронштейнів і т. д.) частин. Рухома частина переміщається під дією вимірюваної величини на чутливий елемент приладу. Будова вимірювальних механізмів у приладах дуже різна і залежить переважно від роду вимірюваної величини (тиск, температура і т. д.) і принципу дії приладу (електричний, механічний і т. д.). Відлікові пристрої залежно від характеру показів приладів виготовляють у вигляді: шкали і показчика (показуючі прилади), записуючого пристрою та діаграмного паперу (самопишучі прилади) і лічильного механізму (підсумовуючі прилади).

Шкала показуючого приладу складається з ряду послідовно нанесених на плоскому або профільному (циліндричному) циферблаті позначок (поділок) з цифрами, які відповідають значенням вимірюваної величини. Позначки на шкалі приладу називаються градуванням, а числові значення одиниць вимірювання — оцифровкою шкали. Найменша поділка шкали, подана в одиницях вимірювання, називається ціною поділки шкали.

Показ приладу, який характеризує значення вимірюваної величини, визначається за рівнянням (1.1) як число відлічених поділок, помножених на ціну поділки шкали. У деяких випадках показ приладу визначають множенням відліку на сталу приладу, подану в одиницях вимірювання, а також на підставі даних градування приладу, що являє собою залежність (таблицю або графік) відліку від значення вимірюваної величини, або за допомогою особливого розрахунку. Початкова і кінцева позначки шкали визначають нижню і верхню

межі вимірювання (покази) приладу або діапазон його шкали. Шкали вимірювальних приладів виготовляють прямолінійними (рис. 1.1, а), дуговими (рис. 1.1, б) і круговими (рис. 1.1, в). Дугові шкали мають центральний кут менший, а кругові — більший від 180° .

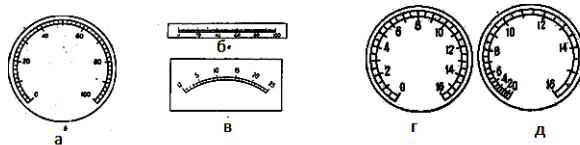


Рис. 1.1. Шкали вимірювальних приладів: а – прямолінійна; б – дугова; в – кругова; г – рівномірна; д – нерівномірна

Шкали приладів бувають рівномірними і нерівномірними. Рівномірна шкала (рис. 1.1, г) має однакові відстані між позначками і тому зручніша для вимірювання, ніж нерівномірна (рис. 1.1, д), в якій ці відстані змінюються за певним законом (по параболі, синусоїді і т. д.). Точність відліку показів по рівномірній шкалі вища, ніж по нерівномірній.

У рідинних скляних (гідралічних) приладів показчиком є рівень (меніск) робочої рідини в скляній вимірювальній трубці.

Якщо робочою рідиною є вода або спирт, то внаслідок доброї змочуваності стінок утворюється вгнутий меніск, і покази відлічують по нижній його точці (рис. 1.2, а). У випадку застосування ртуті як робочої рідини утворюється опуклий меніск, який дає змогу робити відлік по верхній його точці (рис. 1.2, б).

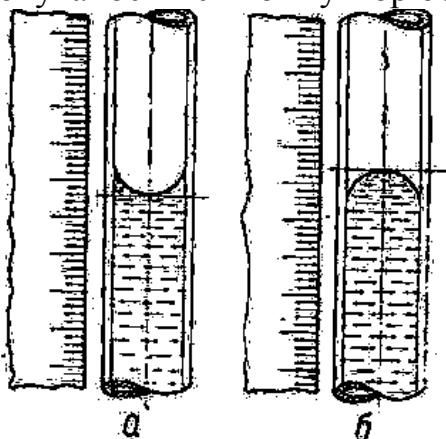


Рис. 1.2. Меніск робочої рідини в скляній трубці:

а – випуклий; б – опуклий

Вимірювальний прилад можна конструктивно виконати як одне ціле (у спільному корпусі) або з окремих частин (у різних корпусах), кожна з яких самостійно бере участь у процесі вимірювання і являє собою вимірювальну установку (комплект).

Прилад, що має один корпус, найчастіше є місцевим, а прилад, який складається з кількох корпусів — приладом з

дистанційним передаванням показів. В обох випадках вимірювальний прилад зв'язаний з пунктом вимірювання за допомогою з'єднувальних ліній (проводів і трубок), призначених для передавання до нього імпульсу від контрольованої величини.

Більшість вимірювальних приладів з дистанційним передаванням показів містять у собі два самостійні елементи: первинний і вторинний прилад. Первинний прилад, який є сприймаючою частиною установки, розміщують, як правило, в пункті вимірювання; він дістає імпульс безпосередньо від вимірюваної величини. Вторинний прилад, або вимірююча частина, дає покази вимірюваної величини, перетворюючи за допомогою вимірювального механізму одержаний ним від первинного приладу імпульс у відповідне переміщення відлікового пристрою. Вторинний прилад, зв'язаний з первинним за допомогою з'єднувальних ліній, встановлюють звичайно на щиті керування.

Деякі види вимірювальних приладів додатково мають одно-, дво- або трипозиційний електроконтактний пристрій, який автоматично діє на апаратуру

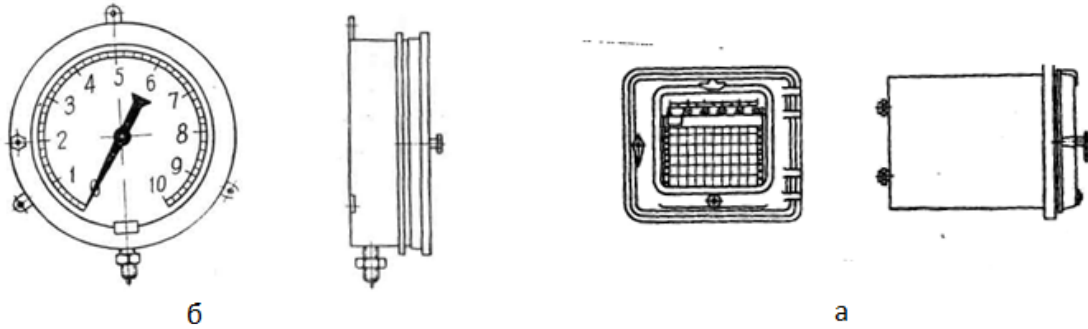


Рис. 1.3. Захисні корпуси приладів: а – прямокутний; б – круглий

світлової і звукової сигналізації при відхиленні контрольованої величини від допустимого (найбільшого чи найменшого значення) або здійснює автоматичне регулювання вимірюваної величини.

Для захисту вимірювального механізму приладів від механічних впливів, пилу, вологи і агресивних газів, застосовують пилонепроникні і брызконепроникні або герметичні корпуси, які за формою бувають прямокутні і круглі (рис. 1.3). Прямокутна форма корпусу в технічних приладах дає змогу повніше, ніж кругла, використати площу щита керування при встановленні (монтажі) приладів.

Як матеріал для виготовлення корпусів застосовують алюмінієві сплави, сталь, пластмасу. Передній бік корпусу (перед відліковим пристроєм) виготовляють застакленим, причому корпус закривають застакленою кришкою на петлях, що має спеціальний замок, вбудований у її ручку.

Для зручності монтажу, налагодження і обслуговування деякі сучасні вимірювальні прилади мають внутрішній відкидний (на петлях) кронштейн, на якому закріплені основні частини і вузли вимірювального механізму. При відкритій кришці кронштейн можна повернути на кут 120° , чим забезпечується вільний доступ до внутрішньої будови, приладу. З зовнішнього боку корпуси приладів фарбують у чорний колір.

2.3. Похибки вимірювань

Фізичні величини не можна виміряти абсолютно точно внаслідок недосконалості вимірювальних приладів і методів вимірювання, а також через вплив умов вимірювання, індивідуальних властивостей спостерігача і ряду випадкових причин. Числові значення помилок, які виникають при цьому, називаються похибками вимірювань.

При кожному вимірюванні повинен бути певний ступінь точності результату, оцінюваний похибкою вимірювань. Тільки тоді знайдене значення тієї чи іншої величини має практичний зміст. Похибку вимірювань можна подати у вигляді абсолютної або відносної величини; вона буває додатною і від'ємною.

Абсолютна похибка a , подана в одиницях вимірювання, являє собою

різницю між показом приладу A_I і дійсним значенням вимірюваної величини A , а відносна похибка b (в процентах) є відношення абсолютної похибки до дійсного значення вимірюваної величини, тобто

$$a = A_I - A \quad (1.6)$$

$$b = a / A \cdot 100. \quad (1.7)$$

Звичайно, щоб визначити дійсне значення, до показу приладу вводять поправку c , яка чисельно дорівнює абсолютній похибці a , взятій з оберненим знаком,

$$\pm a = \pm c \quad (1.8)$$

Поправку завжди алгебраїчно додають до результату вимірювання

$$A = A_I + c. \quad (1.9)$$

Іноді, щоб дістати точний результат, покази приладу множать на поправочний множник k

$$A = k A_I. \quad (1.10)$$

Значення c , a і k у більшості випадків визначають на досліді.

Для технічних вимірювань застосовують прилади, найбільші похибки яких встановлюються в межах існуючих норм (стандартів), що задовольняють вимоги практики. Тому до показів технічних приладів поправок не вводять. При виконанні точних лабораторних вимірювань враховують по можливості всі похибки, які виникають. У цих випадках покази приладів відлічують кілька разів підряд, щоб визначити середнє арифметичне значення вимірюваної величини, достовірність якого зростає із збільшенням числа виконаних вимірювань. Точність середнього результату оцінюють на підставі обчислення імовірної похибки вимірювання.

Похибки вимірювань залежно від їх характеру поділяють на три види: систематичні, випадкові і грубі.

Систематичними називаються похибки, причини виникнення яких досить добре відомі. Ці похибки відіграють істотну роль при вимірюваннях, сталі за величиною і знаком або змінюються за певним законом. Вплив систематичних похибок на результати вимірювань у більшості випадків можна врахувати.

Випадковими похибками вимірювань називаються такі, які не підлягають якій-небудь певній закономірності. При повторних вимірюваннях вони не залишаються сталими за своїм значенням і знаком, бо виникають в результаті впливу на процес вимірювання випадкових-причин.

Грубі похибки (промахи) завідомо спотворюють результат вимірювання, наприклад, неправильний відлік по шкалі приладу, неправильний запис показу у відомості і т. д. Вимірювання, які містять грубі похибки, при обробці результатів не враховують як явно неточні.

У загальному випадку виникнення систематичних похибок вимірювання бувають зумовлені:

- 1) властивостями і станом застосовуваного приладу;
- 2) способом встановлення (монтажу) приладу;
- 3) умовами вимірювання;

- 4) методом вимірювання;
- 5) індивідуальними властивостями спостерігача.

Похибка вимірювання, яка залежить від властивостей і стану вимірювального приладу при нормальних умовах його роботи, називається основною (інструментальною) похибкою, а всі інші — додатковими похибками. Кожний, навіть новий, прилад має основну похибку, вимірювання, величина якої залежить від його призначення, будови і якості виготовлення. У міру збільшення строку служби приладу основна похибка звичайно зростає за рахунок появи залишкових деформацій пружин, спрацювання тертьових частин, забруднення або пошкодження вимірювального механізму і т. д. Внаслідок цих причин виникає потреба періодичного контролю роботи приладу і ремонту або його заміни.

У більшості випадків вплив на результати вимірювання систематичних похибок можна врахувати введенням до показів приладів відповідних поправок, які визначають розрахунком або дослідом. Виняток становлять тільки похибки, які виникають з вини спостерігача і які кількісно врахувати не можна. Щоб знайти основну похибку в різних точках шкали приладу, його через певні строки перевіряють, тобто порівнюють його покази з показами точнішого приладу. Прилади перевіряють на спеціально призначених для цього, лабораторних стендах і на робочому місці.

Порядок перевірки приладів у лабораторії встановлений відповідними інструкціями Комітету стандартів, мір і вимірювальних приладів. При перевірці в лабораторії число точок перевірки для технічних приладів беруть 3-5, а для контрольних, лабораторних і зразкових — не менш як 10-15. Результати перевірки заносять у протокол, на підставі якого у випадку придатності приладу до роботи виписують атестат. У цьому документі, крім паспортних даних приладу, для всіх перевірених точок шкали подають дійсні значення і поправки. Крім того, в атестаті зазначають дату перевірки і строк його дії. Прилади перевіряють спочатку при зростаючих показах величини (прямий хід), а потім при спадаючих (зворотний хід).

Для всіх приладів залежно від їх призначення, якості і меж вимірювань нормами встановлено так звані основні допустимі похибки, які подають в абсолютних або відносних (зведених) величинах. Основна допустима похибка характеризує найбільше можливе (граничне) відхилення показів приладу від дійсного значення в обидві сторони, у зв'язку з чим перед нею ставлять знак (\pm). Якщо при перевірці приладу похибка в будь-якій точці його шкали або в робочій її частині не перевищує допустимої, то прилад визнають придатним до застосування. У протилежному випадку його треба відремонтувати або переградуювати.

Зведену допустиму похибку b' — яку визначають залежно від абсолютної допустимої похибки a , подають у процентах діапазону шкали приладу за рівнянням

$$b' = \pm a / A_B - A_I \cdot 100. \quad (1.11)$$

Для теплотехнічних вимірювальних приладів різних категорій основні допустимі (зведені) похибки в середньому дорівнюють:

- 1) **технічні прилади**..... $\pm (1--2,5)\%$ і вище

- 2) **контрольні прилади** $\pm (0,5--1)\%$
3) **лабораторні, зразкові й еталонні прилади**..... $\pm 0,5\%$ і нижче.

За величиною основної допустимої (зведеної) похибки прилади поділяються на різні класи точності, умовне позначення яких відповідає розміру допустимої похибки приладу. За існуючими нормами теплотехнічні вимірювальні прилади виготовляють на такі класи точності: 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5; 4. Звичайно клас точності зазначають на циферблаті приладу.

Запитання

1. Що ви розумієте під висловом «теплотехнічні вимірювання»? Для чого вони застосовуються?
2. Які існують і які Ви знаєте методи вимірювань?
3. В чому полягає відмінність прямих та посередніх методів?
4. Чому і для чого застосовуються посередні методи вимірювань?
5. В чому вони полягають посередні методи вимірювань?
6. Яким чином побудована класифікація приладів для вимірювання теплотехнічних величин?
7. Яку Ви знаєте класифікацію приладів для теплотехнічних вимірювань?

Тема 3. Вимірювання температури

3.1. Фізична суть вимірювання температури та властивості матеріалів, що використовуються

Температурою називається ступінь нагрітості речовини. Це уявлення про температуру засновано на явищі теплообміну між двома тілами, які перебувають у тепловому контакті. Тіло, яке нагріте більше і віддає тепло, має і вищу температуру, ніж тіло, яке сприймає це тепло. Коли немає передавання тепла від одного тіла до другого, тобто коли тіла перебувають у стані теплової рівноваги, температури тіл однакові.

Процес переходу теплової енергії від одного тіла до іншого свідчить про залежність температури тіл від кількості їх внутрішньої енергії, носіями якої є молекули речовини. За молекулярно-кінетичною теорією одержувана тілом тепла енергія, яка підвищує його температуру, перетворюється в енергію руху молекул.

Виміряти температуру якого-небудь тіла безпосередньо, тобто так, як вимірюють інші фізичні величини, наприклад, довжину, вагу, об'єм або час, не можна, бо в природі немає еталона або зразка одиниці цієї величини. Отже, температуру не можна подати в абсолютних одиницях вимірювання. Температуру речовини визначають спостереженням за зміною деяких фізичних властивостей іншої речовини, так званої термометричної речовини, яка, стикаючись з нагрітим тілом, входить з ним через деякий час у теплову рівновагу. Такий метод вимірювання дає не абсолютне значення температури нагрітого середовища, а лише різницю температур відносно вихідної температури термометричної речовини, яку умовно взято за нуль. Внаслідок зміни при нагріванні внутрішньої енергії речовини практично всі фізичні

властивості тіл у більшій чи меншій мірі залежать від температури, але для її вимірювання вибирають по можливості ті з них, які однозначно змінюються із зміною температури, не піддаються впливу інших факторів і які порівняно легко можна точно виміряти. Цим вимогам найповніше відповідають такі властивості речовин, як об'ємне розширення, зміна тиску в замкнутому об'ємі, зміна електричного опору, виникнення термоелектрорушійної сили (термо Е.Р.С.) та інтенсивність випромінювання, які й покладені в основу будови і роботи різних приладів для вимірювання температури.

3.2. Температурні шкали та методи вимірювання температури

Як відомо, агрегатний стан хімічно чистої речовини (плавлення або твердіння, кипіння або конденсація) змінюється при відповідній, для цієї речовини, сталій температурі значення якої обумовлюється складом речовини, характером її агрегатної зміни і тиском. Значення цих температур рівноваги між твердою і рідкою або рідкою і газоподібною фазами різних речовин при нормальному атмосферному тиску (760 мм рт. ст. при питомій вазі ртуті $13,6 \text{ г/см}^3$ і прискоренні сили тяжіння $9,81 \text{ м/сек}$) називаються сталими температурними точками.

Якщо за основний взяти інтервал температур між сталими температурними точками плавлення льоду і кипіння води, позначивши їх відповідно 0 і 100, і в межах цих температур виміряти величину об'ємного розширення якої-небудь термометричної речовини, наприклад ртуті, що міститься у вузькій циліндричній скляній посудині і поділити на 100 рівних частин зміну висоти її стовпа, то в результаті вийде так звана температурна шкала.

Щоб виміряти температуру, яка лежить вище або нижче від вибраних значень сталих температурних точок, знайдені поділки наносять на шкалу і за межами позначок 0 і 100. Поділки температурної шкали називаються градусами і позначаються знаком $^{\circ}$.

Користуючись другим законом термодинаміки, Кельвін у 1848 році запропонував досить точну і рівномірну шкалу, яка не залежить від властивостей термометричної речовини – вона дістала назву термодинамічної шкали. Ця шкала ґрунтується на рівнянні термодинаміки для оборотного процесу (циклу Карно), яке має вигляд

$$Q_1/Q_2 = T_1/T_2. \quad (1.12)$$

Це рівняння показує, що при роботі теплового двигуна за оборотним циклом відношення кількості теплоти Q_1 , яку дістає робоча речовина від нагрівника, до кількості теплоти Q_2 яку віддає вона холодильнику, пропорціональне тільки відношенню температур T_1 і T_2 нагрівника і холодильника. Надавши певного значення T_2 при відомих значеннях Q_1 і Q_2 можна з співвідношення (1.12) знайти шукану величину T_1 . Однак практично цей метод вимірювання температури використати не можна, оскільки не можна здійснити оборотного циклу роботи двигуна.

Пізніше було встановлено, що термодинамічна шкала збігається з шкалою газового термометра, наповненого ідеальним (уявним газом, який має

пропорційну зміну об'єму від температури, якщо при побудові цих шкал взяти однакові значення вихідних сталих температурних точок). Близькими за своїми властивостями до ідеального є такі гази, як водень, гелій і азот, які й застосовуються для побудови температурної шкали з незначними поправками на відхилення їх властивостей від властивостей ідеального газу.

По газовому термометру побудовано так звану Міжнародну стоградусну температурну шкалу яка практично така сама, як і термодинамічна шкала. При побудові Міжнародної шкали беруть сталі температурні точки плавлення льоду за 0° і кипіння води за 100° . Цей температурний інтервал є основним. У 1934 р. міжнародну температурну шкалу було узаконено як обов'язкову для градування всіх приладів, для вимірювання температури. Градуси міжнародної шкали позначають знаком $^\circ\text{C}$ (стоградусна шкала), а умовне значення вимірюваної по ній температури — буквою t . Зважаючи на складність вимірювання температури газовим термометром, для відтворення міжнародної температурної шкали прийнято користуватись такими сталими температурними точками, числові значення яких добуто за допомогою газового термометра:

1-а » точка кипіння кисню	-183$^\circ\text{C}$
2-а » плавлення льоду.....	0$^\circ\text{C}$
3-я » кипіння води	+100$^\circ\text{C}$
4-а » сірки.....	+444,6$^\circ\text{C}$
5-а » тверднення срібла.....	+960,8$^\circ\text{C}$
6-а » золота.....	+1063$^\circ\text{C}$

Крім термодинамічної і міжнародної, є ряд інших, раніше запропонованих температурних шкал. До них належать шкали Фаренгейта (1715 р.), Реомюра (1730 р.) і Цельсія (1742 р.) Ці температурні шкали утворені поділом інтервалу між сталими точками плавлення льоду і кипіння води відповідно на 180, 80 і 100 рівних частин (градусів), які позначають знаком $^\circ\text{F}$, $^\circ\text{R}$ і $^\circ\text{C}$. У шкал Реомюра і Цельсія * точка плавлення льоду дорівнює 0° , а точка кипіння води 80 і 100° . У шкали Фаренгейта ** ці точки відповідають 32 і 212° . Основним недоліком старих температурних шкал є залежність їх від властивостей термометричної речовини (ртуті, спирту і т. д.), що позначається на точності вимірювань.

Коли термодинамічна шкала починається з абсолютного нуля ***, який дорівнює $-273,2^\circ\text{C}$, то вона називається абсолютною термодинамічною шкалою. Цю шкалу використовують тільки в теоретичних працях. Градуси абсолютної термодинамічної шкали позначають знаком $^\circ\text{K}$ (градуси Кельвіна), а значення абсолютної температури – буквою T . Для переведення температури, поданої у градусах абсолютної термодинамічної шкали або шкали Фаренгейта, якщо останню виправлено за міжнародною шкалою, у значення міжнародної стоградусної шкали користуються рівністю

$$t^\circ\text{C} = T^\circ\text{K} - 273,2 = 0,556 (n^\circ \text{F} - 32), \quad (1.13)$$

де n – число градусів за шкалою Фаренгейта.

*** Градуси міжнародної температурної шкали, які застосовуються тепер і позначаються $^\circ\text{C}$, часто неправильно називають градусами Цельсія. Слід визначити, що шкала Цельсія істотно відрізняється від міжнародної і має тепер тільки історичне значення.**

**** Шкала Фаренгейта тепер ще застосовується в Англії і США.**

***** Абсолютним нулем називається температура, при якій тиск ідеального газу при сталому об'ємі дорівнює нулю.**

Запитання

1. Поняття про температуру. Методи визначення температури.
2. Температурні шкали. їх побудова. Відмінність одна від одної. Одиниці вимірювання
3. Призначення та фізичні властивості, що визначають термометричну речовину

Тема 4. Термометрія. Особливості будови приладів для вимірювання температури

4.1. Класифікація, приладів для вимірювання температури

Засіб вимірювання температури, призначений для вироблення сигналу у формі, зручній для сприйняття спостерігачем, автоматичної обробки, передачі й використання в автоматичних системах керування, називається термометром.

В залежності від фізичних властивостей, покладених в основу їх побудови, прилади для вимірювання температури поділяють на такі п'ять груп з межами застосування:

термометри розширення.....	від - 200 до + 500°C
манометричні термометри.....	від - 60 до + 550°C
електричні термометри опору.....	від - 200 до + 500°C
термоелектричні пірометри	від + 200 до + 1600°C
пірометри випромінювання	від - 400 до + 3000°C

Термометри розширення працюють на властивості тіл змінювати під дією температури об'єм, а отже, і лінійні розміри.

Манометричні термометри працюють за принципом зміни тиску рідини, газу або пари в замкнутому об'ємі при їх нагріванні або охолодженні .

Механічні термометри (дилатометричні та біметалеві) працюють за принципом відносного видовження під впливом температури двох твердих тіл, що мають різні температурні коефіцієнти лінійного розширення.

4.2. Термометри розширення

Фізичну властивість тіл змінювати свій об'єм в залежності від температури широко використовують для вимірювання температури. Цей принцип покладений в основу роботи рідинних скляних і механічних термометрів. Термометри цього типу виникли раніше від інших досконаліших приладів для вимірювання температури і були використані для створення перших температурних шкал. У рідинних скляних термометрах, побудованих на тепловому розширенні рідини в скляному балоні, як термометричні речовини застосовують ртуть (Hg) і органічні рідини — етиловий спирт (C_2H_5OH), толуол ($C_6H_5CH_3$), пентан (C_5H_{12}) тощо. Найбільш поширені ртутні скляні термометри,

які мають порівняно з термометрами, заповненими органічними рідинами, істотні переваги: великий діапазон вимірювань температур, при якому ртуть залишається рідкою, незмочуваність скла ртуттю, можливість заповнення термометра хімічно чистою ртуттю внаслідок легкості її добування і т. д. При нормальному атмосферному тиску ртуть перебуває в рідкому стані при температурах від -39 (точка замерзання) до $+357^{\circ}\text{C}$ (точка кипіння). Рідинні скляні манометри є місцевими показуючими приладами, які складаються, як правило, з трьох частин: термобалона з рідиною, капілярної трубки і шкали (циферблату). Ртутні термометри завдяки своїй простоті, порівняно високій точності і легкості вимірювання, нескладності користування і дешевизні мають дуже велике практичне застосування. Температуру цими приладами вимірюють у межах – від -30 до $+500^{\circ}\text{C}$.

Верхня межа вимірювань зумовлена температурою розм'якнення скляної оболонки термометра. Її досягають за допомогою штучного підвищення точки кипіння ртуті. Для вимірювання високих температур простір капіляра над ртуттю, з якого попередньо викачане повітря, наповнюють інертним газом (азотом) при тиску понад 20 кг/см^2 . Підвищення тиску в термометрі забезпечує прилад при вимірюванні високих температур від випаровування ртуті і осідання її у вигляді дрібних крапельок у верхній, вільній частині капіляра. Термометри з верхньою межею шкали нижче від 100°C газом не наповнюють, і капіляр їх перебуває під розрідженням.

Термометри виготовляють з спеціального термометричного скла, що має невеликий температурний коефіцієнт, який приблизно дорівнює $0,02 \cdot 10^{-3} (\text{C}^{\circ})^{-1}$. Це дає коефіцієнт видимого розширення ртуті в склі близько $0,16 \cdot 10^{-3} (\text{C}^{\circ})^{-1}$.

Температуру вимірюваного середовища, у якому міститься резервуар і частина капіляра скляного термометра, визначають по зміні об'єму термометричної рідини, відлічуваній по положенню рівня рідини в капілярі. Зміна в

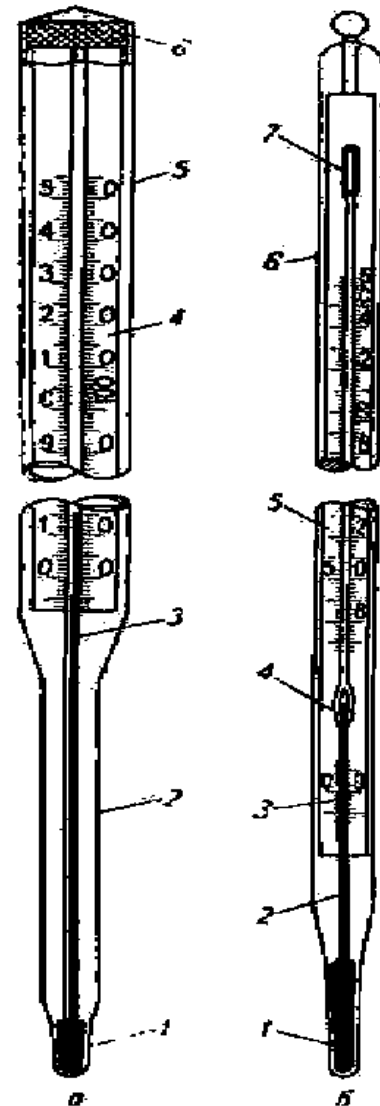


Рис. 1.4. Типи ртутних термометрів: а – технічні: 1 – термобалон; 2 – хвостова частина; 3 – капіляр; 4 – шкала; 5 – облонка; 6 – облонка, залита гіпсом; б – лабораторний термометр з безнульовою шкалою: 1 – термобалон; 2 – капіляр; 3 – допоміжна шкала; 4 – нижній розширювальний капіляр; 5 – основна шкала; 6 – оболонка; 7 – верхній розширений капіляр

капілярі рівня рідини при нагріванні резервуара (від температури t_1 до t_2)

$$\Delta h = 1,27[V_1(\alpha_p - \alpha_c)(t_2 - t_1)]/d_2, \quad (1.14)$$

де V_1 – об'єм рідини при температурі t_1 ; α_p і α_c – середні коефіцієнти температурного розширення рідини й скла; d – внутрішній діаметр капіляра. Чим більше резервуар і менше внутрішній перетин капіляра, тим більш помітна зміна висоти стовпчика рідини, тобто тим більш чутливий термометр і менша ціна поділок шкали. Однак великий розмір термобалона збільшує запізнювання показів приладу, що знижує якість останнього при вимірюванні змінної температури.

Допустимі похибки ртутних термометрів залежать від межі вимірювань і ціни поділки шкали приладу. Із збільшенням межі вимірювань і ціни поділки допустима похибка зростає.

Ртутні скляні термометри виготовляють двох видів: з вкладеною шкалою (циферблатом) і паличкові. Термометр з вкладеною шкалою (рис. 1.4, а) має наповнений ртуттю термобалон 1, тонкостінну капілярну трубку 2, пластинку 3 з молочного скла з нанесеною на ній шкалою і зовнішню циліндричну оболонку 4, в якій кріпиться капіляр і шкальна пластинка. Зовнішня оболонка з одного кінця щільно закрита, а з другого припаяна до термобалона. Паличковий термометр (рис. 1.4, б) складається з термобалона 1 сполученого з товстостінним капіляром 2, що має зовнішній діаметр 6-8 мм. Шкалу 3 в цього термометра нанесено безпосередньо на зовнішній поверхні капіляра у вигляді насічки на склі. Паличкові термометри точніші порівняно з термометрами з вкладеною шкалою. За призначенням ртутні термометри поділяються на три групи: **технічні, лабораторні і зразкові**.

Технічні термометри типу ТТ (рис. 1.4, а) виготовляють звичайно з вкладеною шкалою; вони мають тонку пряму або зігнуту під кутом 90, 120 і 135° нижню (хвостову) частину з термобалоном на кінці, яку цілком занурюють у вимірюване середовище. Отже, при вимірюванні температури глибина занурення термометра залишається сталою.

Хвостова частина технічних термометрів має довжину 85-1000 мм, яка визначається умовами вимірювання, а діаметр 7-10 мм. Довжина і діаметр основного корпусу термометра, в якому міститься шкала, відповідно дорівнюють 220 і 18 мм. Великий діаметр капіляра в цих термометрів робить стовпчик ртуті помітнішим, що полегшує відлік температури.

До технічних термометрів належать також ртутні електроконтактні термометри типу ТК (термосигналізатори), які застосовуються для сигналізації і автоматичного регулювання температури в промислових і лабораторних установках. Лабораторні ртутні термометри типу ТЛ виготовляють як паличкові так і з вкладеною шкалою. Залежно від ціни поділки шкали і

габаритних розмірів їх поділяють на чотири групи, причому кожному термометру, що входить у групу, залежно від меж вимірюваної ним температури привласнюють порядковий помер. Термометри мають довжину 160-530 мм і зовнішній діаметр 5-11 мм. Більшість них термометрів виготовляють з безнульовою шкалою (рис. 1.4, б), тобто основна шкала починається в них не з позначки 0°C, яку наносять внизу на невеликій допоміжній шкалі, призначеній тільки для перевірки приладу, а з вищої температури.

Зразкові ртутні термометри поділяються на два розряди. Термометри 1-го розряду бувають тільки паличкові, а 2-го — паличкові і з вкладеною шкалою. Зразкові термометри виготовляють з нормальною і безнульовою шкалами. Недоліками ртутних скляних термометрів є їх ламкість, неможливість дистанційно передавати покази, велика термічна інерція (запізнювання показів) і складність відліку внаслідок нечіткості шкали і поганої видимості ртуті в капілярі. Усе це і, значній мірі обмежує їх застосування при експлуатації великих теплосилових установок, залишаючи за ними переважно місцевий контроль температури.

4.2.1. Встановлення ртутних термометрів

Точність показів ртутного термометра, так само як і будь-якого іншого приладу, призначеного для вимірювання температури, залежить від способу його встановлення. Це завдання зводиться до двох основних вимог: по-перше, забезпечення сприятливих умов припливу тепла від вимірюваного середовища до термочутливої частини приладу, і по-друге, зменшити по можливості втрати тепла від приладу до зовнішнього середовища. На точність вимірювання дуже впливає витік тепла від термочутливої частини приладу, що спричинюється теплопровідністю окремих частин приладу і його арматури, а при газовому і паровому додатковим обміном тепла випромінюванням з поверхонь, які оточують прилад. Неправильне встановлення приладу дає великий витік тепла в навколишнє середовище; тільки через це похибка вимірювань може становити 10-15%.

Найпоширеніший спосіб — встановлення термометра в гільзі (рис. 1.5), яка оберігає його від ламання і дає змогу забезпечити потрібну міцність і щільність сполучення в місці розміщення приладу. Щоб поліпшити теплопередачу від внутрішньої поверхні гільзи до термобалона термометра, кільцевий зазор, що утворюється в гільзі між термобалоном і її стінками, при вимірюванні температури до 150°C заповнюють машинним маслом, а при вимірюванні вищої температури — мідними ошурками. Гільзу заповнюють маслом або ошурками так, щоб вони покривали тільки термобалон термометра. Надмірне заповнення гільзи знижує точність вимірювання внаслідок зростання витоку тепла і

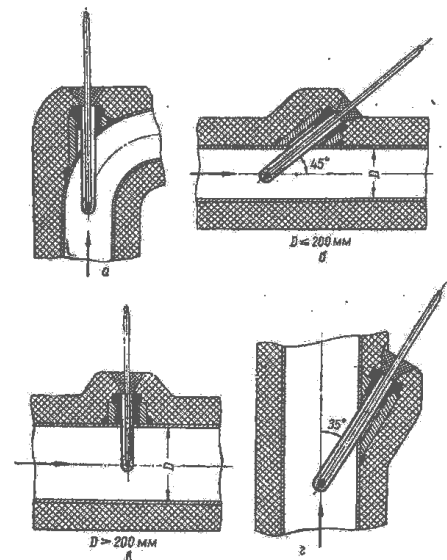


Рис. 1.5. Встановлення ртутних термометрів у захисних гільзах: а — вздовж осі трубопроводу; б — похило до осі горизонтального трубопроводу; в — нормально до осі горизонтального трубопроводу; г — на вертикальному трубопроводі

збільшує теплову інерцію приладу. Занурення термометра до центра труби, тобто в зону найбільших швидкостей потоку, поліпшує умови теплообміну між рухомих середовищем і приладом внаслідок зростання коефіцієнта теплопередачі і зменшує вплив на результат вимірювання теплових втрат стінок труби.

Захисні гільзи для термометрів виготовляють з матеріалів, які погано проводять тепло (наприклад, з нержавіючої сталі), причому розміри головки (виступаючої назовні частини), товщина стінок і внутрішній діаметр гільзи вибирають по можливості невеликими. Виступаючі частини захисних гільз старанно покривають тепловою ізоляцією.

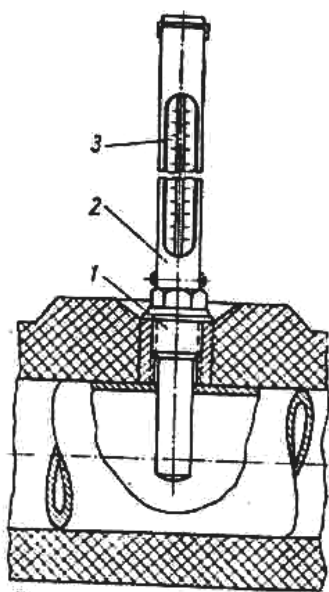


Рис. 1.6. Установлення ртутного термометра в металевій оправі: 1 – захисна гільза; 2 – оправка; 3 – ртутний термометр

При експлуатаційних вимірюваннях технічні ртутні термометри встановлюють звичайно в металевих оправках, які оберігають виступаючу з гільзи частину термометра від ламання (рис. 1.6). Захисна оправка 2 нагвинчується на головку гільзи 1 і має поздовжній виріз для відліку показів термометра 3. При точних визначеннях температури захисних оправ не застосовують, бо вони значно збільшують похибку вимірювань внаслідок витоків по них тепла. Безпосереднє встановлення незахищеного ртутного термометра (без гільзи) практично виключає відведення тепла від термобалона. Але внаслідок впливу на покази незахищеного термометра тиску вимірюваного середовища (стискання стінок термобалона з видавлюванням ртуті в капіляр) і недостатньої механічної міцності термометра, а також того, що місце встановлення ущільнити важко, цей спосіб застосовують тільки в межах невеликих тисків.

4.2.2. Перевірка ртутних термометрів

Технічні і лабораторні ртутні термометри періодично перевіряють, порівнюючи їх покази з показами зразкових термометрів 2-го розряду, а також за двома основними сталими температурними точками — плавлення льоду і кипіння води. Для перевірки термометрів методом порівняння застосовують *термостати* з електричним обігріванням, які наповнюють водою (інтервал перевірки 5-95°C), мінеральним маслом (95-300°C) і селітрою (300-500°C). Положення точок 0 і 100°C перевіряють відповідно в термостатах з льодом і киплячою водою.

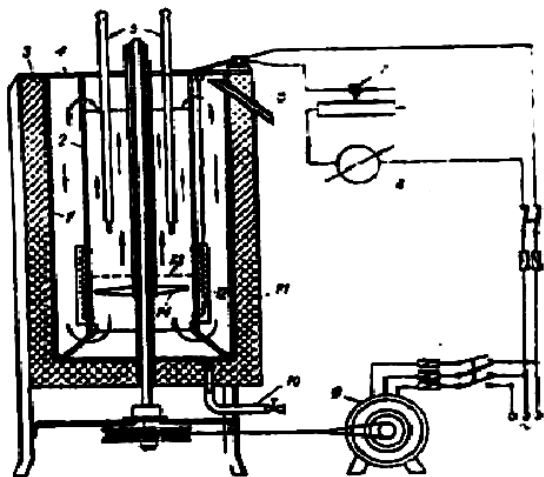


Рис. 1.7. Водяний термостат для перевірки термометрів: 1 – посудина; 2 – патрубок; 3 – теплова ізоляція; 4 – кришка; 5 – термометри; 6 – переливна труба; 7 – реостат; 8 – амперметр; 9 – електродвигун; 10 – дренажна труба; 11 – кожух; 12 – електричний нагрівник; 13 – сітка; 14 – мішалка

Водяний термостат для перевірки термометрів в інтервалі температур 5-95°C, який зображено на рис. 1.7, складається з латунної циліндричної посудини для води, вставленої в металевий кожух 11 з тепловою ізоляцією 3. Угорі посудину накрито кришкою 4 з отворами по колу для встановлення зразкового і перевірюваних термометрів 5, які кріпляться пружними затискачами (на рис. 7 їх не показано). До кришки 4 прикріплено патрубок 2 з вікнами у верхній і нижній частинах для проходження води. У нижній половині посудини на фарфорових ізоляторах кріпиться ніхромовий електричний нагрівник 12.

Для перемішування і циркуляції рідини в посудині в середині патрубка 2 є крильчата мішалка 14, яка приводиться в рух від невеликого електродвигуна 9. Сітка 13 захищає термометри від пошкодження мішалкою. Нагрівання рідини в термостаті регулюють реостатом 7, а струм — амперметром 8. Дренування надлишку води з термостата, а також випорожнення його здійснюється по трубках 6 і 10. Нагрівник і електродвигун живляться від сітки змінного струму 127 В. Потужність нагрівника — близько 3 кВт.

Технічні термометри градуують і перевіряють у термостаті при зануренні в рідину тільки хвостової частини (до місця розширення оболонки термометра), тобто при сталій глибині занурення, яка відповідає їх нормальному положенню при вимірюванні. Навпаки, лабораторні й зразкові термометри перевіряють при змінній величині занурення термобалона з таким розрахунком, щоб при кожному черговому відліку температури ртутний стовпчик у капілярі термометра не виступав більш як на 5 мм над кришкою термостата.

Щоб зменшити похибку, зумовлену тепловою інерцією термометрів, у термостаті їх перевіряють при повільному підвищенні температури до потрібного значення. Покази зразкового і перевірюваних термометрів відлічують у порядку їх установа, причому перед кожним черговим вимірюванням злегка постукують по корпусу приладу. Відліки показів термометрів повторюють при однаковій температурі не менш як 4 рази, після чого знаходять середнє арифметичне значення відліку для кожного термометра. До і після перевірки термометра у водяному, масляному або соляному термостаті визначають положення нульової точки приладу, яка може зміщуватись внаслідок зміни початкового об'єму.

4.3. Механічні термометри

До механічних термометрів належать дилатометричні (стержневі) і біметалеві термометри, дія яких ґрунтується на відносному видовженні під впливом температури двох твердих тіл, що мають дуже різні температурні коефіцієнти лінійного розширення.

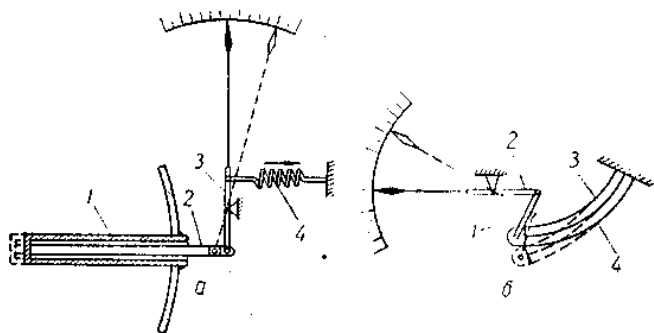


Рис. 1.8. Схеми механічних термометрів: а – дилатометричний: 1 – трубка; 2 – стержень; 3 – важіль; 4 – пружина; б – біметалевий: 1 – тяга; 2 – важіль; 3 і 4 – металеві смужки

Принципові схеми механічних термометрів зображено на рис. 1.8. Дилатометричний термометр (Рис. 1.8, а) являє собою закрити з одного кінця трубку 1, яку вводять у вимірюване середовище; її виготовляють з матеріалу, що має високий коефіцієнт лінійного розширення (мідь, алюміній, латунь). У трубку вставлено

стержень 2, який притискається до її дна важелем 3, скріпленим з пружиною 4. Стержень виготовлено з матеріалу з невеликим коефіцієнтом розширення (фарфор, кварц або сплав інвар). При вимірюванні температури трубка змінює свою довжину, що зумовлює переміщення в ній стержня, який зберігає сталі розміри і зв'язаний за допомогою важеля 3 з стрілкою приладу

Біметалевий термометр (Рис. 1.8, б) складається з двох зігнутих і спаяних одна з одною металевих смужок, з яких смужка 3 має великий коефіцієнт лінійного розширення, а смужка 4 — незначний. Біметалева пластинка, утворена з цих смужок, змінює ступінь свого згину залежно від температури, яку за допомогою тяги 1 і важеля 2 показує з'єднана з важелем стрілка на шкалі приладу. При підвищенні температури біметалева пластинка вигинається у бік метала з меншим значенням. Механічні термометри не поширились як самостійні вимірювальні прилади, а використовуються переважно як чутливі елементи вимірювальних пристроїв електричної сигналізації та автоматичного регулювання температури. Крім того, біметалеві термометри іноді застосовують для компенсації впливу температури навколишнього середовища на покази інших приладів, в які їх вбудовують.

4.4. Манометричні термометри

Вимірювання температури за допомогою манометричних термометрів ґрунтується на зміні (залежно від нагрівання) величини тиску рідини, газу або пари в замкнутому об'ємі – (системі). Ці термометри є технічними показуючими і самопишучими приладами, призначеними для вимірювання температури в межах до 550°C. Клас точності цих термометрів 1,5-3.

Залежно від виду термометричної (робочої) речовини, в замкнутій системі, манометричні термометри поділяються на рідинні, газові і парові. Робочу речовину вибирають, виходячи із заданих меж вимірювань і потрібної чутливості приладу.

Принципальну схему манометричного термометра зображено на рис. 1.9. Замкнута система приладу, заповнена робочою речовиною, складається з

циліндричного термобалона 1, який занурюють у вимірюване середовище, трубчастої (манометричної) пружини 5, яка діє за допомогою тяги 4 на стрілку або перо приладу, і гнучкої капілярної трубки 3, що з'єднує пружину з термобалонем.

Останній являє собою сталеву або латунну трубку, з одного кінця закрити, а з другого сполучену з капіляром. За допомогою знімного штуцера 2 із сальниковим ущільненням і різью термобалон устанавлюють у трубопроводах, баках і т. д. Термобалон можна встановлювати також і в захисній гільзі. При нагріванні термобалона збільшення в ньому тиску робочої речовини передається через з'єднувальний капіляр трубчастій пружині і спричинює розкручування її доти, поки зусилля, яке являє собою різницю між тиском у системі і зовнішнім атмосферним тиском і яке діє на неї, не зрівноважиться силою пружної деформації трубки. З'єднувальний капіляр виготовляють з мідної або сталеві трубки з внутрішнім діаметром 0,2-0,5 мм і товщиною стінки 0,5-2 мм. Ззовні він захищений від пошкоджень металевим обплетенням. Довжина капіляра досягає 50 м. Одновиткову пружину виготовляють з сталеві або латунної трубки еліптичного або овального перерізу, зігнутої по колу на кут закручування, який дорівнює приблизно 270° . Велика вісь еліпса розміщена паралельно осі кола. Вільний кінець трубки наглухо закритий, а нерухомий сполучається з вимірюваним середовищем. Під дією внутрішнього тиску овальний переріз пружини намагається набрати форми круга, внаслідок чого пружина частково випрямляється, переміщаючи при цьому стрілку приладу, яка з'єднана з вільним кінцем пружини за допомогою передавального механізму. Манометричні термометри з одновитковою пружиною найчастіше виготовляють показуючими, бо зусилля, яке розвиває пружина, не завжди може забезпечити надійної роботи пишучого пристрою. При встановленні манометричного термометра термобалон розміщують всередині потоку, в зоні найсприятливішого обтікання його вимірюваним середовищем. Положення термобалона для рідинних і газових термометрів може бути будь-яким, а для парових воно повинно бути вертикальним (капіляром угору) або трохи похилим. При вимірюванні температури середовища, яке перебуває під великим тиском або агресивного, термобалон устанавлюють в захисній гільзі, наповненій маслом або мідними ошурками.

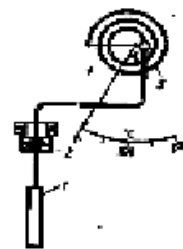


Рис. 1.9. Схема манометричного термометра: 1 – термобалон; 2 – знімний штуцер; 3 – капіляр; 4 – тяга; 5 – трубчаста пружина з сальниковим ущільненням

Корпус приладу встановлюють у місці, де немає вібрацій, і захищають від прямої дії радіації нагрітих тіл. При прокладанні з'єднувального капіляра передбачається захист його від механічних дій. Капіляр до стіни кріплять за допомогою кріпків або скоб, без різких перегинів. Температура середовища, яка оточує прилад (капіляр і пружину), не повинна перевищувати 60°C.

Манометричні термометри перевіряють на робочому місці або в лабораторії. В лабораторії прилади перевіряють у термостатах з електричним обігріванням, а на робочому місці — за допомогою посудин з нагрітою і холодною рідиною (водою або маслом), змішаною до потрібної температури. Для перевірки в інтервалах температур 0-300°C застосовують зразкові ртутні термометри 2-го-розряду і 300-500°C – зразкові електричні термометри опору. Кількість перевірюваних точок шкали вибирають не менш як 3, які звичайно відповідають початковій, середній і кінцевій частинам шкали. Спочатку перевірку провадять при зростаючому значенні температури, а потім – у тих самих точках шкали при спадаючому значенні температури.

Запитання

1. Які основні фізичні властивості покладені в основу роботи приладів для вимірювання температури?
2. Чим визначаються межі шкали вимірювання приладів?
3. Принцип роботи термометрів розширення, манометричних термометрів?
4. Принцип роботи термометрів опору та термоелектричних термометрів?
5. Безконтактний принцип вимірювання температури

Тема 5. Пірометрія. Особливості будови приладів для вимірювання температури

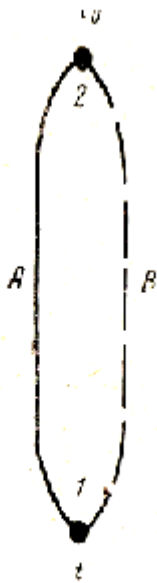
5.1. Термопары та їх основні властивості

Принцип дії термоелектричних пірометрів ґрунтується на властивості металів, сплавів і деяких неметалевих матеріалів створювати термоелектрорушійну силу (термо-ЕРС) при нагріванні місця з'єднання (спаю) двох різнорідних провідників (або напівпровідників), які утворюють так звану *термопару* або первинний прилад пірометра. Вторинним приладом, що вимірює термо-ЕРС яку розвиває термопара, є чутливий електровимірювальний прилад. Діапазон вимірюваних термоелектричними пірометрами температур лежить у межах 200-1300°C і вище.

Термоелектричні пірометри широко застосовуються в теплосилових установках для вимірювання температури димових газів і перегрітої пари. Позитивні властивості цих приладів такі: велика межа вимірювань, висока чутливість, незначне запізнювання показів (інерція), відсутність стороннього джерела струму і легкість здійснення дистанційного передавання показів завдяки електричному принципу вимірювання.

Термоелектричні пірометри виготовляють різних класів точності; вони бувають як показуючими, так і самопишучими. Останні найчастіше виготовляють для суміжного записування на одній діаграмі кількох

вимірюваних температур (багатоточкові прилади). Явище термоелектрики, яке було відкрито у XVIII ст. і яке широко застосовують для вимірювання



Мал.10. Прикладна
схема контура термопары

температури та ряду інших неелектричних величин, полягає в тому, що в замкнутому контурі,, який складається з двох різнорідних провідників, безперервно проходить електричний струм, якщо місця спаїв цих провідників мають різні температури. Уявлення про механізм утворення термо-ЕРС ґрунтується на тому, що в міжмолекулярному просторі провідників концентрація вільних електронів в одиниці об'єму залежить від роду провідника і його температури. При стиканні двох однаково нагрітих провідників з різнорідних матеріалів, з яких у першому кількість вільних електронів V в одиниці об'єму більша, ніж у другому, останні дифундуватимуть з першого провідника в другий у більшій кількості, ніж навпаки. Отже, перший провідник заряджатиметься позитивно, а другий — негативно. Утворюване при цьому в місці стикання (спаї) провідників електричне поле протидіятиме цій дифузії, внаслідок чого встановиться

стан рухомої рівноваги, при якій між вільними кінцями цих провідників виникне деяка різниця потенціалів термо-ЕРС. Із збільшенням температури провідників величина цієї термо-ЕРС також збільшується. Крім того, термо-ЕРС виникає і між кінцями однорідного провідника, які мають різні температури. У цьому випадку до встановлення рухомої рівноваги позитивно заряджається більш нагрітий кінець провідника як такий, що має більшу концентрацію вільних електронів порівняно з менш нагрітим кінцем. Зростання різниці температур між кінцями провідника збільшує в ньому термо-ЕРС. У замкнутому електричному колі, що складається з двох різнорідних провідників (термо-електродів) A і B (рис. 1.10), які утворюють термопару (термоелемент), одночасно діють обидва зазначені вище фактори, що спричиняють появу в спаях 1 і 2 та між кінцями кожного однорідного термоелектрода A і B термо-ЕРС, залежно від температур спаїв t і t_0 і матеріалу провідників. Залежно від величини термо-ЕРС. термопари і опору її кола в провідниках виникає електричний струм, який визначають за законом Ома. Спаї 1 , який занурюють у вимірюване середовище, називається робочим кінцем термопари (гарячий спай), а спай 2 — вільним кінцем (холодний спай). Термо-електроди (проводи) термопари позначають знаками $+$ і $-$. Позитивним термо-електродом вважають той, по якому струм проходить від робочого кінця термопари до вільного. Термоелектричний пірометр складається з термопари і ввімкненого до неї за допомогою з'єднувальних проводів електровимірювального приладу. Величина термо-ЕРС, яку розвиває термопара, залежить від матеріалу термоелектродів, а також від температури робочого і вільного кінців термопари. Як термоелектроди переважно застосовують ті метали і сплави, які, відповідаючи одночасно й іншим вимогам, що ставляться до них, розвивають порівняно великі термо-ЕРС. При вимірюваннях температуру вільного кінця термопари,

щоб збільшити термо-ЕРС, підтримують на якомога нижчому сталому рівні.. Термо-ЕРС, яку створюють промислові типи термопар невелика звичайно вона становить не більш як 8 мВ на кожні 100°С і при вимірюванні високих температур не перевищує 70 мВ.

5.2. Термоелектродні матеріали

Як термоелектродні матеріали для термопар застосовують переважно чисті метали та їх сплави. Вибір матеріалу для виготовлення термопар має істотне значення. Крім великої термо-ЕРС, термоелектроди повинні також по можливості мати:

- 1) сталість термоелектричних властивостей незалежно від можливих змін з часом внутрішньої структури (рекристалізації) і забруднення поверхні;
- 2) стійкість проти дії високих температур, окислення та інших шкідливих факторів;
- 3) добру електропровідність і невеликий температурний коефіцієнт електричного опору;
- 4) однозначну і по можливості лінійну залежність термо-ЕРС від температури;
- 5) однорідність і сталість складу для забезпечення взаємозамінюваності термопар.

Склад термоелектродів дуже впливає на величину термо-ЕРС, яку вони розвивають, тому відтворення хімічного складу для кожного типу термопар при різних плавках металу значно спрощує і полегшує умови промислової експлуатації термоелектричних пірометрів. У цьому випадку при заміні однотипних термопар не треба повторно градувати шкали вторинних приладів. Для оцінки величин термо-ЕРС різних термопар звичайно користуються знайденими на досліді значеннями термо-ЕРС металів, сплавів, а також неметалевих провідників у парі з хімічно чистою платиною при температурі робочого кінця 100°С і вільного кінця 0°С. Платину для основного (нормального) термоелектрода вибирають тому, що вона має сталість термоелектричних властивостей, стійка проти дії високих температур і окислення. Крім того, її порівняно легко добути в хімічно чистому вигляді. Для виготовлене промислових типів термопар найчастіше застосовують такі матеріали: платину, платинородій, хромель, алюмель і копель. Для вимірювань у лабораторних установках застосовують також мідь, залізо, константан та інші матеріали.

5.3. Типи і конструкції термопар

Щоб дістати порівняно високі значення термо-ЕРС термоелектроди при конструюванні термопар вибирають так, щоб у парі з платиною один з них мав позитивну, а другий негативну термо-ЕРС. Термопари, які застосовуються на практиці, поділяються в основному на дві групи: термопари з благородних і неблагородних металів сплавів. При найменуванні термопар першим звичайно

називають позитивний термоелектрод. Вітчизняна промисловість випускає три стандартні типи термопар: ТПП, ТХА і ТХК.

Промислові типи термопар мають стандартне градування. Термопари з благородних металів застосовують переважно для вимірювання високих температур (понад 1000°C), бо вони мають велику температуростійкість. Завдяки винятковій сталості термо-ЕРС і великій межі вимірювань найчастіше застосовують (не тільки як технічні, а й як лабораторні, зразкові й еталонні) платинородій-платинові термопари (ТПП), хоч вони й мають відносно малі значення термо-ЕРС, їх використовують для відтворення міжнародної температурної шкали в межах 660-1063°C і градують за сталими температурними точками твердіння сурми (630,5°C), срібла (960,8°C) та золота (1063°C). Лабораторні й зразкові термопари типу ТПП градують за точками твердіння цинку (419,5°C), сурми, срібла і міді (1083°C). Допустиме відхилення термо-ЕРС термопар типу ТПП від стандартного градування ПП становить для температур до 300°C не більш як $\pm 0,01$ мВ, а для вищих температур його визначають за формулою

$$\Delta E = \pm 3 \cdot 10^{-5} t, \quad (1.15)$$

де ΔE – допустиме відхилення термо-ЕРС, мВ;

t – вимірювана температура середовища, °C.

Термопари типу ТПП дуже стійкі проти дії окислювального середовища, але швидко руйнуються і втрачають свої властивості під впливом відновлювальної атмосфери (водню, окису вуглецю), двоокису вуглецю і пари металу. Особливо шкідливо діє відновлювальне середовище тоді, коли поблизу термопари є металеві окисли і крмнезем. При промислових вимірюваннях термоелектроди цих термопар старанно ізолюють від безпосереднього впливу атмосфери.

Термопари з неблагородних металів і сплавів: хромель-алюмельову типу ТХА, хромель-копельову типу ТХК, залізкопельову мідь-копельову та ін. застосовують для вимірювання невисоких температур (до 1000°C). Ці термопари в своїй більшості розвивають досить великі термо-ЕРС, що є істотною їх перевагою. Так, наприклад, при одних і тих самих температурах робочого і вільних кінців хромель-копельова термопара дає в середньому в 10 раз більшу термо-ЕРС ніж платинородій-платинова.

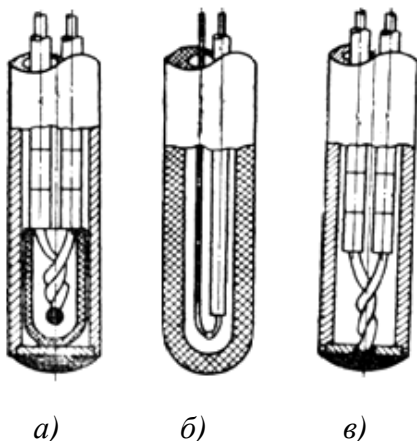


Рис. 1.11. Робочі кінці термопар:
a – термоелектрони зварені;
б – скручені і зварені; *в* – приварені до дна

Дуже поширилась термопара типу ТХА, яка порівняно з іншими термопарами з неблагородних металів є найстійкішою при роботі в окислювальному середовищі, але на неї шкідливо діє відновлювальна атмосфера.

Термопара типу ТХК з числа промислових термопар розвиває найбільшу термо-ЕРС і досить стійка проти хімічної дії навколишньої атмосфери.

Допустиме відхилення термо-ЕРС термопар типів ТХА і ТХК від відповідних стандартних градуїровок ХА і ХК становить для температур до $300^{\circ}\text{C} \pm 4^{\circ}\text{C}$, а понад $\pm 1\%$ значення вимірюваної термо-ЕРС.

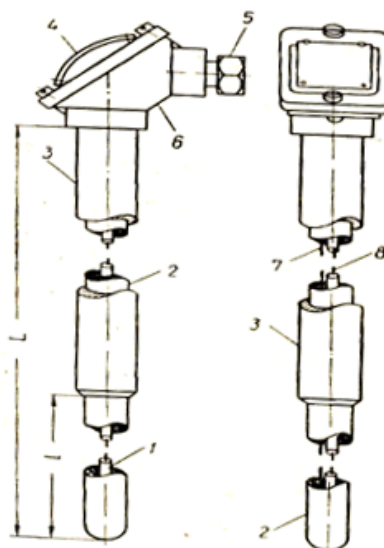
Термоелектроди термопар з благородних металів виготовляють звичайно з дроту діаметром 0,5 мм, а термопар з неблагородних металів — діаметром 1,2-3,2 мм. Діаметр термоелектродів визначається їх вартістю, призначенням термопари (технічна, лабораторна і т. д.), межами вимірюваних температур, а також механічною міцністю і електропровідністю матеріалу. Термоелектроди з боку робочого кінця сполучають спаюванням або зварюванням, а з боку вільних кінців вони закінчуються двома затискачами для під'єднання електровимірювального приладу. Робочий кінець термопари з тонких термоелектродів виготовляють за допомогою зварювання двох вільно розміщених дротин (рис. 1.11, а), а з товстих за допомогою скручування і зварювання (рис. 1.11, б). У деяких випадках для термопари з неблагородних металів її робочий кінець виготовляють за допомогою приварювання скручених термоелектродів до дна захисного металевого чохла (рис. 1.11, в) щоб поліпшити умови теплопередачі.

Довжину термоелектродів термопари вибирають залежно від умов її встановлення, зокрема від глибини занурення робочого кінця у вимірюване середовище. Щоб ізолювати термоелектроди один від одного і захистити їх від безпосереднього впливу навколишнього середовища, а також щоб забезпечити механічну міцність термопари і зручність її встановлення, застосовують спеціальну арматуру, яка складається з електроізоляційного матеріалу, захисного газонепроникного чохла і головки (коробки) з двома затискачами.

Обидва термоелектроди термопари (від спаю до затискачів) старанно ізолюють. Як ізоляційний матеріал для промислових термопар найчастіше застосовують одно каналні і двоканальні фарфорові трубки або буси, які надівають на термоелектроди; вони витримують температуру до 1500°C .

Захисний чохол термопари являє собою закриту з одного кінця трубку, яка захищає термоелектроди від хімічної і механічної дії зовнішнього середовища. Він повинен бути стійким проти дії високої температури і різких її коливань, механічно міцним і газонепроникним, а також не виділяти при нагріванні шкідливих для термоелектродів газів і пари.

Для термопар з благородних металів застосовують переважно керамічні захисні чохла (фарфорові, кварцові і т. д.), які витримують високі температури. Особливо поширились чохла з фарфору, температура розм'яккання якого приблизно дорівнює 1400°C . Недолік фарфорових захисних чохла — їх висока вартість і невелика механічна міцність. Для термопар з неблагородних металів, призначених для вимірювання температур



Мал. 14 Термопари типу ТПП-II:

- 1— фарфорова одноканальна трубка; 2— фарфоровий захисний чохол; 3—стальна трубка; 4— кришка; 5— сальник
- 6 - корпус головки; 7 і 8 - термоелектроди

до 1000°C, використовують сталі захисні чохла. Чохли із вуглецевої сталі застосовують для роботи при температурах до 700°C, а з легованої (хромистої або нержавіючої) сталі — до 1100°C. Ці чохла витримують різкі зміни температури і мають велику механічну міцність.

Головка термопар жорстко з'єднана з відкритим кінцем захисного чохла. У щільно закритій головці розміщена фарфорова або бакелітова колодка з двома затискачами для приєднання проводів. Проводи з головки до вторинного приладу виведені через сальникове ущільнення.

На рис. 1.12 зображено термопару типу ТПП-ІІ, яку випускає вітчизняна промисловість. Термоелектроди 7 і 8, які ізольовані один від одного фарфоровою одноканальною трубкою 1, надітою на платинородійовий термоелектрод, встановлені у фарфоровому захисному чохлі 2 із зовнішнім діаметром 20 мм. Щоб надати додаткової механічної міцності фарфоровому чохлу, неробочу частину його вставляють у сталеву трубку 3, зовнішнім діаметром 29 мм з'єднану з алюмінієвим корпусом головки 6 термопар. Щоб був доступ до затискачів, головка має знімну кришку 4 сальник 5 ущільнює виведені назовні проводи.

Довжина фарфорового наконечника 1 дорівнює 300 і 500 мм. Максимальна глибина занурення термопар (робоча довжина) трохи менша від довжини наконечника і відповідно дорівнює 200 і 400 мм. Загальна довжина цих термопар L змінюється в межах 400-1900 мм.

Термопара типу ТПП-ІІ розрахована на робочий тиск середовища, близький до атмосферного. Вона має стандартну головку заввишки 75 мм і завширшки 50 мм, яка застосовується в більшості промислових термопар; на бічній стороні її проставлено Інерційність термопар типу ТПП-ІІ становить 10

хв. Ця величина умовно характеризує час, який проходить з моменту занурення наконечника термопар при температурі 20°C у киплячу воду до моменту, коли різниця температур киплячої води і робочого кінця термопар не перевищуватиме 10% від повного інтервалу зміни температури.

Приблизно таку саму будову, як і термопара типу ТПП-ІІ, і такі самі габаритні розміри має термопара типу ТХА-ІІ. Дві інші термопари типів ТХА-VІІІ і ТХК-VІІІ (рис. 1.13, а) виготовляють з захисним чохлом з сталі. Ці термопари призначені для

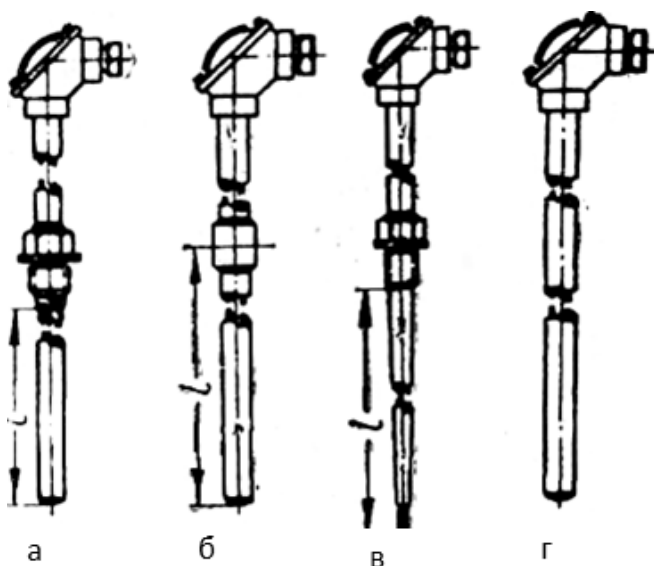


Рис. 1.13. Типи стандартних термопар:

- а — з нерухомим штуцером;
- б — з гладеньким складеним чохлом;
- в — з нерухомим штуцером і конічним чохлом;
- г — з гладеньким суцільним чохлом

вимірювання температури середовища в трубопроводах і посудинах з тиском до 10 кГ/см². Для встановлення захисний чохол термопар із зовнішнім діаметром 21 мм має нерухомо закріплений на ньому зварюванням штуцер з різьбою. Робоча довжина термопар визначається довжиною наконечника І, розміщеного нижче від штуцера, яка дорівнює 150, 200, 300, 400, 750 і 1300 мм. Термопар типу ТХА-ХІІІ і ТХК-ХІІІ (рис. 1.13, б) мають захисний чохол без штуцера, що складається з двох труб, зварених між собою через муфту, і виготовлений відповідно з тих самих матеріалів, що й у термопар типу ТХА-VIII і ТХК-VIII. Термопар застосовують для вимірювання температури середовища при тиску, близькому до атмосферного. Максимальна робоча довжина їх змінюється в межах 320-1520 мм.

Величина інерційності зазначених термопар типу ТХА і ТХК становить 15 хв. Для тривалого вимірювання температури води і пари, які перебувають під робочим тиском до 100 кГ/см², застосовують так звані малоінерційні термопар високого тиску типу ТХА-Г-ХУ і ТХК-У-ХV з нерухомим штуцером (рис. 1.13, в). Захисний чохол термопар, виготовлений із сталі 2Х13, розрахований на застосування при температурі не більше як 600°С. Щоб дістати невелику теплову інерцію, яка становить у цих термопар тільки 1 хв., захисному чохла нижче штуцера надають конічної форми (у вигляді тіла однакового опору на згин); робочий кінець термопар торкається дна привареного до чохла невеликого наконечника діаметром 6 мм. Робоча довжина термопар становить 100-300 мм. Випускають також мало інерційні термопар надвисокого тиску типу ТХА-284 і ТХК-284, які призначені для вимірювання температур води і пари в трубопроводах при робочих тисках до 250 кГ/см² і швидкості руху пари — до 80 м/сек. Вони розраховані на верхню межу вимірювання температури 600°С і мають невелику теплову інерцію. Робочий кінець термопар припаяний до невеликого срібного диска, ізолюваного слюдою від захисного чохла, який виготовлено з сталі 1Х18Н9Т. Робоча довжина термопар дорівнює 100-300 мм.

До малоінерційних належать і термопар типу ТХА-146 і ТХК-146 (рис. 1.13, г), які мають суцільний захисний чохол без штуцера діаметром 21 мм, виготовлений з сталі 1Х18Н9Т. Термопар застосовують для робочого тиску середовища до 3 кГ/см². Для зменшення інерційності робочий кінець термопар приварений до дна захисного чохла. Робоча довжина термопар змінюється в межах 300-1800 мм.

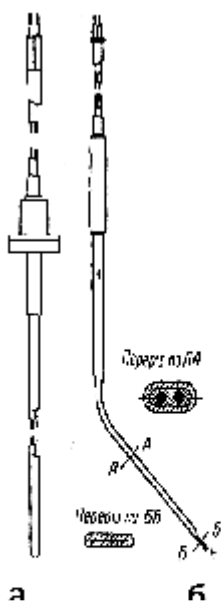


Рис. 1.14. Спеціальні термопарі:
а – лабораторна;
б – поверхнева

Термопар типу ТХА-420 і ТХК-420 призначені для вимірювання температури перегрітої пари в трубопроводах при тиску її до 30 кГ/см² і швидкості руху до 70 м/сек. Захисний чохол їх, на якому встановлений нерухомий штуцер, виготовлений з сталі 2Х13 і ізолюваний від робочого кінця фарфоровим ковпачком. Робоча довжина термопар становить 100-300 мм. Як контрольні термопарі для вимірювання температури в лабораторних електричних печах,

градування промислових термопар тощо застосовують спеціальні лабораторні термопари типів ТПГТ-IV і ТПП-V (рис. 1.14, а), що різняться тільки довжиною, яка відповідно дорівнює 1000 і 500 мм. Термоелектроди термопар містяться у фарфоровому захисному чохлі зовнішнім діаметром 8 мм, який скріплений з круглою бакелітовою головкою. Термопари випускають з приєднаним до них відрізком провода завдовжки 2,5 м. Величина інерційності термопар становить 2 хв. Для стаціонарного вимірювання температури металевої поверхні використовують поверхневу термопару типу ТХКП-XVIII (рис. 1.14, б) завдовжки близько 350 мм. Робочий кінець термопар розміщений у плоскій частині захисного чохла, виготовленого з сталі 1X18H9T. При вимірюванні температури плоску частину чохла притискають до нагрітої поверхні і покривають зовні тепловою ізоляцією. Термопару випускають з приєднаним до неї відрізком провода завдовжки 5 м. Для вимірювання температури труб пароперегрівників котлів застосовують поверхневу термопару типу ТХАП без захисного чохла. Її термоелектроди завдовжки 15 м ізолювані між собою фарфоровими бусами.

При вимірюванні температури термоелектричним пірометром вільні кінці термопар повинні мати сталу температуру, бо коливання її позначається на показах приладів. При відхиленнях температури вільних кінців від градуовального значення, яке звичайно дорівнює 0°C, до показів вторинного приладу вводять відповідну поправку. Забезпечення сталості температури вільних кінців термопар значно полегшує введення цієї поправки, величина якої також стала.

При використанні мідних або алюмінієвих з'єднувальних проводів вільні кінці термопар, утворені в її головці, перебувають біля нагрітих поверхонь (обмурівки котла, ізоляції трубопроводів тощо), тобто в зоні змінної температури. Тому вільні кінці треба вийняти з головки термопар в зону з сталою і нижчою температурою. Для цього застосовують так звані компенсаційні проводи, які складаються з двох жил, виготовлених з металів або сплавів, що мають однакові термоелектричні властивості з термоелектродами термопар.

За допомогою цих проводів ніби нарощують (видовжують) термоелектроди термопар, що дає змогу віднести вільні кінці від місця її встановлення в сприятливіші умови і запобігти спотворенню термо-ЕРС.

Для термопар з неблагородних металів компенсаційні проводи

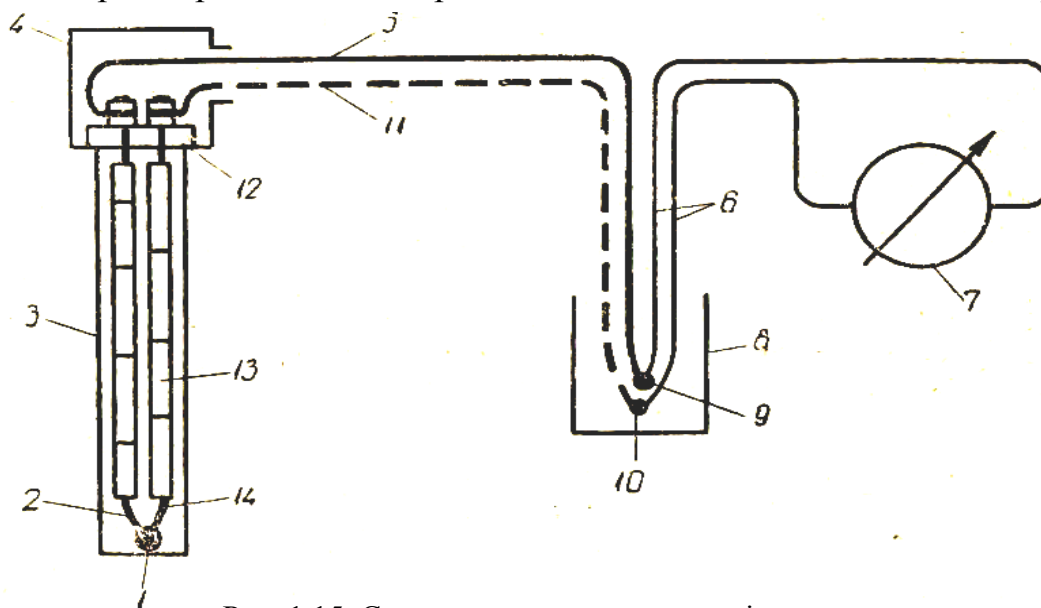


Рис. 1.15. Схема термоелектричного пірометра

виготовляють найчастіше з тих самих матеріалів, що й їх термоелектроди, тоді як для термопар з благородних металів, щоб здешевити вартість вимірювальної установки, компенсаційні проводи виготовляють з матеріалів, які розвивають у парі між собою в діапазоні температур 0-150°C таку саму термо-ЕРС, що й термопара, для якої вони призначені. Для термопар типу ТПП позитивна жила компенсаційного провода складається з міді, г негативна — з сплаву ТП (99,4% Cu і 0,6% Ni). Термопара типу ТХА застосовується з компенсаційними проводами з міді (позитивна жила) і константану (негативна жила).

Температуру вільних кінців термопарі на сталому рівні підтримують звичайно за допомогою термостата якої-небудь конструкції.

Схему термоелектричного пірометра з компенсаційним проводом зображено на рис. 1.15. Термоелектроди 2 і 14 термопарі, які утворюють робочий кінець 1, ізолювані один від одного фарфоровими трубками 13 і містяться в захисному чохлі 3. У головці 4 термопарі обидва термоелектроди за допомогою затискачів, укріплених на колодці 12, сполучені з жилами 5 і 11 компенсаційного провода, до якого за допомогою мідних з'єднувальних проводів 6 вмикають у точках 9 і 10, що є вільними кінцями термопарі, електровимірювальний прилад 7. Вільні кінці термопарі мають сталу температуру, яку підтримує термостат 8.

Часто як термостат застосовують масивну металеву коробку з тепловою ізоляцією, яка має ртутний термометр і два штуцери для введення компенсаційних і виведення мідних з'єднувальних проводів. Маючи велику теплову інерцію, коробка значно згладжує коливання температури навколишнього середовища і тим самим забезпечує сталість температури вільних кінців термопарі, які містяться в коробці. Іноді термостати виготовляють у вигляді металеві коробки з подвійними стінками (сорочкою), які охолоджуються проточною водою. Застосовують також термостати з електричним нагрівником, в яких температура повітря автоматично підтримується, на рівні 50°C вмиканням і вимиканням нагрівника за допомогою

біметалевого термореле. Коливання температури в такому термостаті не перевищують 1-1,5°C.

Електровимірвальні прилади, які застосовують у термоелектричних пірометрах, мають пристрої для автоматичного введення поправки на температуру вільних кінців термопари за допомогою, наприклад, нікельового опору або біметалевої пластинки. У цьому випадку обидва вільні кінці термопари переносяться компенсаційним проводом на затискачі електровимірального приладу.

Як електровимірвальні прилади в термоелектричних пірометрах застосовують пірометричні мілівольтметри і потенціометри.

5.4. Принцип дії і будова пірометричних мілівольтметрів

Пірометричний мілівольтметр — чутливий прилад магнітоелектричної системи. Його робота ґрунтується на взаємодії магнітного поля, утворюваного провідником, по якому проходить створюваний термопарою електричний струм, з магнітним полем постійного магніту, який є в приладі. Провідник, що має форму прямокутної рамки, яка складається з кількох послідовних витків тонкого ізолюваного дроту і може повертатись навколо вертикальної осі, міститься в магнітному полі постійного магніту паралельно напрямку силових ліній. При проходженні струму через рамку утворюється магнітне поле, перпендикулярне до її площини, яке, взаємодіючи з полем основного магніту, утворює дві однакові за величиною сили F , що діють за правилом лівої руки на обидві (бічні) сторони рамки в протилежних напрямках. Будову пірометричного мілівольтметра схематично зображено на рис. 1.16. Підковоподібний постійний магніт 11 з якісної сталі (хромистої, нікель-алюмінієвої або кобальтової) має полюсні наконечники 3 з циліндричною виточкою, між якими нерухомо закріплений циліндричний сердечник 14. У кільцевому повітряному зазорі завширшки близько 2 мм, утвореному полюсними наконечниками і сердечником, виготовленим з м'якої литої сталі, розміщені дві бічні (активні) сторони прямокутної рухомої рамки 13, яка складається з 100-300 послідовних витків ізолюваного мідного або/і алюмінієвого дроту діаметром 0,07-0,08 мм. Жорстко скріплена з стрілкою 9, рамка утворює рухому частину приладу, яка має можливість повертатись навколо осі сердечника завдяки двом стальним кернам 5, що сидять на рамці з торцевих сторін і спираються на закріплені в стояку 6. агатові підп'ятники 7. Біля опорних кернів діаметром близько 1 мм з кутом заточування 60° розміщені дві плоскі спіральні пружинки 4 з фосфористої бронзи, внутрішні кінці яких прикріплені до рамки, а зовнішні — біля верхньої пружинки — до осі важеля

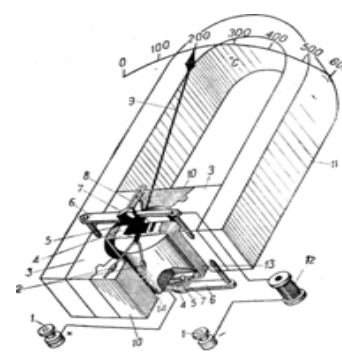


Рис. 1.16. Будова пірометричного мілівольтметра:

- 1 – затискачі; 2 – протизвага;
- 3 – полюсні наконечники;
- 4 – спіральні пружинки (волоски); 5 – керни;
- 6 – стояк; 7 – агатові підп'ятники; 8 – коректор нуля; 9 – стрілка;
- 10 – немагнітні вкладиші;
- 11 – постійний магніт;
- 12 – рамка; 14 – сердечник

(коректора нуля) 8 і біля нижньої — до штифта нерухомого стояка. З цими самими пружинками сполучені обидва кінці обмотки рамки і два затискачі, які призначені для вмикання приладу в коло термопари. Послідовно з рамкою введено додатковий манганіновий опір 12. У вільному просторі між полюсними наконечниками розміщені немагнітні вкладиші 10. Стрілка приладу, виготовлена з алюмінієвої трубки, зрівноважується двома пересувними противагами 2, насадженими на двох балансирних вусиках з різьєю. За допомогою противаг центр ваги рухомої частини розміщується на осі сердечника (рамки).

Якщо мілівольтметр увімкнути в коло працюючої термопари, то по рамці проходитиме струм, який надходить через спіральні пружинки, що завдяки виникненню обертаючого моменту зумовить повертання рамки і стрілки навколо осі сердечника. Одночасно з переміщенням рамки закручуються спіральні пружинки, які створюють протидіючий момент, величина якого в міру збільшення кута повертання рамки поступово зростає і приводить рухому частину в стан рівноваги. Отже, кут повертання рамки (стрілки) 1 приладу, який дорівнює куту закручування пружинки, залежить від величини струму, який у свою чергу залежить від термо-ЕРС термопари. На підставі градуювальних кривих різних типів термопар, шкали технічних мілівольтметрів градуують безпосередньо в °С. Градування термопари, для роботи з якою призначений мілівольтметр, звичайно проставляють на його шкалі. На відміну від цього мілівольтметри вищого класу точності (контрольні, лабораторні тощо), як правило, мають градування шкали в мілівольтах і можуть застосовуватись для роботи з різними термопарами.

5.5. Компенсаційний метод вимірювання температур

Вимірювання температури термоелектричним пірометром, у якого вторинним приладом є мілівольтметр, у більшості випадків не забезпечує потрібної точності через ряд похибок. Клас точності такого пірометра становить 1,5-2,5. Основною причиною невисокої точності є вплив на покази опору мілівольтметра і зовнішнього термоелектричного кола, яке змінюється при зміні температури навколишнього середовища. Цього впливу немає при вимірюванні температури компенсаційним (нульовим) методом, при якому замість пірометричного мілівольтметра застосовується потенціометр. Крім того, застосування потенціометра дає змогу легко здійснити автоматичне введення поправки на температуру вільних кінців термопари.

Принцип дії потенціометра полягає в тому, що термо-ЕРС, яку розвиває термопара, врівноважується (компенсується) однаковою з нею за величиною, але протилежною за знаком напругою від допоміжного джерела струму, яку потім вимірюють з більшою точністю.

Потенціометри — найдосконаліші вторинні прилади термоелектричних пірометрів з високою точністю. Тому їх широко застосовують як при лабораторних, так і технічних вимірюваннях.

На рис. 1.17 зображено принципову схему потенціометра, з термопарою. Прилад складається з трьох зв'язаних електричних контурів. Контур *I* утворює вимірювальне коло, в яке ввімкнені: джерело постійного струму (акумулятор або сухий елемент), регулювальний опір (реостат) R , контрольний опір R_K , вимірювальний опір (реохорд) R_p і кнопчний вимикач (ключ) B . Контур *II* являє собою коло нормального елемента HE , а контур *III* утворює коло термопар T .

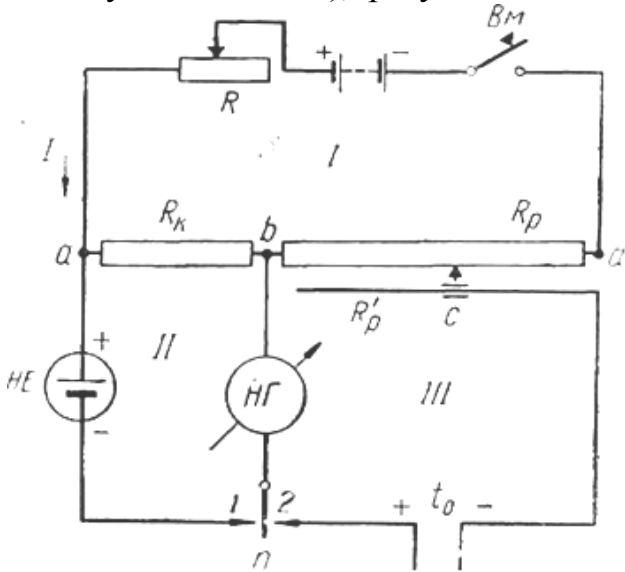


Рис. 1.17. Принципова схема потенціометра

Увімкнений у схему приладу нормальний гальванічний елемент не розвиває ЕРС при 20°C точно сталої величини (1,0186 в) і має дуже невеликий температурний коефіцієнт. Контрольний опір R_K виготовляють з манганіну; він має сталу і точно відому величину. Нульовий гальванометр чутливий прилад з нулем по середині шкали. Залежно від напрямку струму його стрілка відхиляється в той чи інший бік.

Увімкнений у схему приладу нормальний гальванічний елемент не розвиває ЕРС при 20°C точно сталої величини (1,0186 в) і має дуже невеликий температурний коефіцієнт. Контрольний опір R_K виготовляють з манганіну; він має сталу і точно відому величину. Нульовий гальванометр чутливий прилад з нулем по середині шкали. Залежно від напрямку струму його стрілка відхиляється в той чи інший бік.

5.6. Встановлення термоелектричних пірометрів

На точність показів термоелектричного пірометра значно впливає спосіб його встановлювання. Особливо велике значення має правильний монтаж термопар.

Однією з основних вимог до встановлення термопар є зменшення до мінімуму витоку тепла по її арматурі. Для цього термопару якомога глибше занурюють у вимірюване середовище, що зумовлює зростання її теплосприймаючої поверхні; вона розміщується в місцях з більшою швидкістю руху потоку, яка впливає на збільшення коефіцієнта теплопередачі.

При встановлюванні термопар в трубопроводах робочий кінець її поміщають у середину потоку, а при невеликих діаметрах трубопроводів — похило, назустріч потоку. При вимірюванні температури понад $700\text{--}800^{\circ}\text{C}$ найправильніше розмістити термопару вертикально, що помітно зменшує деформацію її захисного чохла під дією високих температур. Треба стежити, щоб у місця кріплення термопар до захисних стійок не потрапляло холодне повітря або крізь них не виривались назовні нагріті гази, бо це може призвести до неправильних показів і пошкодити захисний чохол і головку термопар.

На рис. 1.18 зображені способи кріплення термопар у цегляній кладці (рис. 1.18, а), у металевій стінці (рис. 1.18, б) і в стінці трубопроводу, який перебуває під тиском (рис. 1.18, в). При вимірюванні температури газового потоку можливі помилки внаслідок променистого теплообміну між термопарою і менш нагрітими поверхнями (стінками і склепінням топки та газоходів котла, поверхнями нагріву котла і т. д.), що перебувають у просторі, в якому вимірюють температуру. Теплові втрати термопари через випромінювання залежать від різниці температур між її захисним чохлом і навколишніми поверхнями. Чим більша ця різниця, тим інтенсивніший променистий теплообмін.

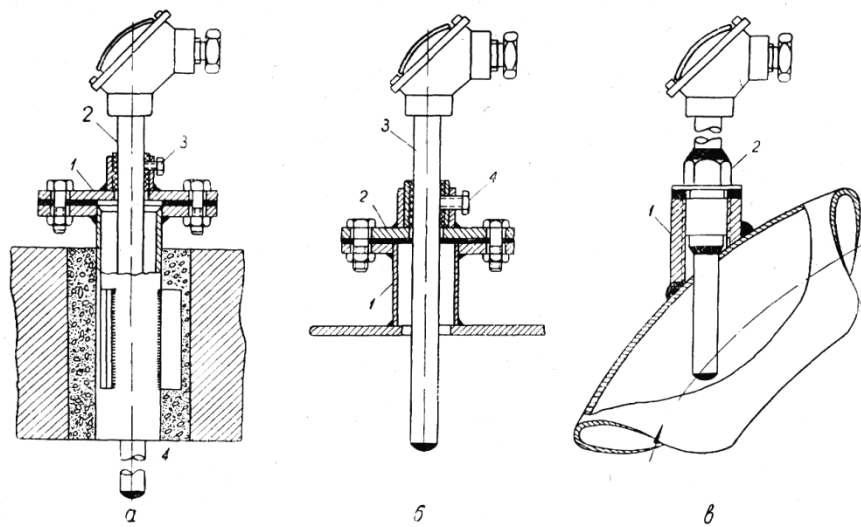


Рис. 1.18. Способи кріплення термопар:

а – у цегляній кладці: 1 – установочний фланець; 2 – термопара; 3 – стопорний гвинт; 4 – патрубок з ребрами; б – у металевій стінці: 1 – патрубок; 2 – установочний фланець; 3 – термопара; 4 – стопорний гвинт; в – у трубопроводі: 1 – втулка з різьєю; 2 – термопара з нерухомим штуцером

Для зменшення похибки від випромінювання теплову ізоляцію захисних стінок підсилюють, щоб максимально зменшити різницю температур між ними й газом. Розміщення термопари в місцях із значною швидкістю руху газу, яке сприяє, як вже було сказано, поліпшенню теплообміну між ним і термопарою, також зменшує втрати на променистий теплообмін.

Іноді, особливо при випробуванні і налагоджуванні парових дотлів, термопари встановлюють з екранами (одинарним, подвійним або потрійним) або ковпачками, які захищають термопари під прямого променистого теплообміну з навколишніми відносно холодними поверхнями. У цих самих випадках для максимального збільшення коефіцієнта тепловіддачі від газу до термопари додатково використовують штучне підвищення швидкості газу, який обмиває термопару, за допомогою місцевого відсмоктування газу водоструминним ежектором. Будову термопари з відсмоктуванням газу зображено на рис. 1.19. Тут термопару 2 встановлено у відкритій трубці (екран) 4, покритій зовні тепловою ізоляцією 3 для зменшення різниці температур між трубкою і термопарою. Через кільцевий зазор, утворений захисним чохлом термопари і трубкою, з великою швидкістю (50-100 м/сек) просмоктується ежектором за допомогою патрубку 1 газ, який виходить потім в атмосферу. Термопари з відсмоктуванням газу дають змогу значно підвищити точність вимірювання, бо витік тепла по арматурі і променистий теплообмін з навколишніми стінками в них незрівняно менший, ніж у звичайних термопар, а конвективний теплообмін з газом значно більший. Однак область застосування

термопар з відсмоктуванням газу обмежена потребою встановлювати потужні ежектори для створення високих швидкостей руху газу і порівняно швидким забрудненням пилом та золю відсмоктувальних каналів пристрою.

При прокладанні з'єднувальні лінії термопар захищають від механічних дій, електричних перешкод і впливу високої температури та вологості навколишнього середовища. Для цього їх вкладають у сталіні заземлені труби окремо від силових ліній для живлення вторинних приладів. Термопари до електричних автоматичних потенціометрів приєднують за допомогою компенсаційних проводів.

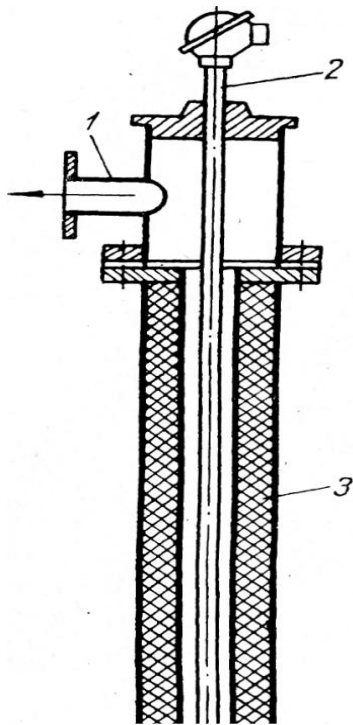


Рис. 1.19. Термопара з відсмоктуванням газу:
1 – відсмоктувальний патрубок; 2 – термопара;
3 – теплова ізоляція;
4 – трубчастий екран

Мал. 25 Термопара з відсмоктуванням газу:

1 – відсмоктувальний патрубок; 2 – термопара; 3 – теплова ізоляція; 4 – трубчастий екран

При вимірюванні температури поверхневими термопарами добиваються щільного прилягання робочого кінця до поверхні тіла, причому, щоб зменшити відведення тепла від спаю термопари по термоелектродах у навколишнє середовище, ділянкою останніх завдовжки 100-150 мм, яка прилягає безпосередньо до робочого кінця, розміщують по можливості в зоні вимірюваної температури.

Для потенціометрів температура навколишнього повітря не повинна спадати нижче 5°C і підніматись вище 35°C, щоб не пошкодити нормального елемента. Мілівольтметри і потенціометри монтують звичайно на щитах, причому корпуси автоматичних електронних потенціометрів треба заземлювати. При встановлюванні вторинних приладів у місцях, які можуть вібрувати, на щитах треба встановлювати амортизатори.

5.7. Перевірка термоелектричних пірометрів

Термопари і їх вторинні прилади (пірометричні мілівольтметри та автоматичні потенціометри) перевіряють звичайно окремо. Перевіряють або градуують термопари двома способами: порівнянням показів перевірюваних термопар з показами зразкової термопари і за сталими температурними точками плавлення (твердіння) та кипіння хімічно чистих речовин.

У першому випадку термопари до температури 300°C перевіряють у водяному і масляному термостатах (див. п. 2.2) за допомогою зразкового ртутного термометра і до температури 1300°C — в електричній трубчастій печі за допомогою зразкової платиноводій-платинової термопари. У процесі градуювання температуру вільних кінців термопар підтримують сталою (0°C) за допомогою термостата з танучим льодом.

Термо-ЕРС зразкової і перевірюваних термопар вимірюють за допомогою лабораторного або переносного потенціометра.

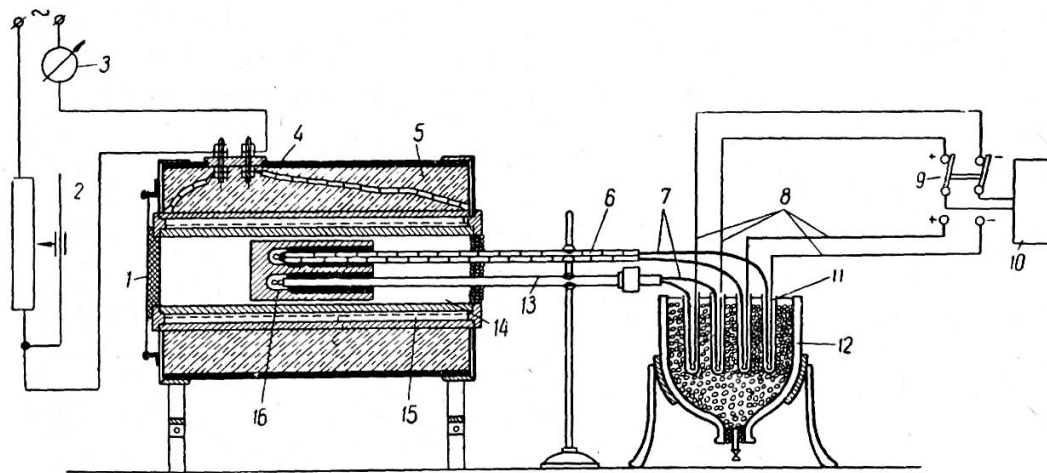


Рис. 1.20. Схема установки та перевірки термопар в електричній трубчастій печі: 1 – азбестова кришка; 2 – реостат; 3 – амперметр; 4 – кожух; 5 – теплова ізоляція; 6 – перевірювана термопара; 7 – компенсаційні проводи; 8 – з'єднувальні проводи; 9 – перемикач; 10 – потенціометр; 11 – пробірки з маслом; 12 – термостат; 13 – зразкова термопара; 14 – фарфорова трубка; 15 – електричний нагрівник; 16 – металевий блок

На рис. 1.20 подано схему установки для перевірки термопар в електричній трубчастій печі. Зразкову 13 і перевірюючу 6 термопари, вийняті з захисних чохлах, занурюють робочими кінцями в металевий блок 16, встановлений в електричну піч, яка складається з фарфорової трубки 14 з внутрішнім діаметром 20-80 мм і довжиною 0,4-1 м, обмотаної зовні нагрівальною дротиною 15 на останній накладено шар теплової ізоляції 5, покритий захисним стальним кожухом 4. Металевий блок, призначений для вирівнювання температур робочих кінців термопар, установлюють посередині фарфорової трубки, обидва кінці якої щільно закриті кришками 1 з прожареного азбесту. Температуру в печі до максимального значення 1300°C регулюють за допомогою реостата 2. Величину нагрівального струму контролюють, виходячи з показів амперметра 3.

До термоелектродів зразкової і перевірюваної термопар приєднують компенсаційні проводи 7, які відводять вільні кінці термопар у термостат 12 з танучим льодом. Вільні кінці термопар вставляють у пробірки 11 з маслом, які опущено в лід. За допомогою мідних з'єднувальних проводів 8 і двополюсного перемикача 9 термопари по черзі вмикають до потенціометра 10. Дійсну температуру в печі визначають за показами зразкової термопари. Число одночасно перевірюваних термопар звичайно не перевищує 7.

Термо-ЕРС технічних (робочих) термопар при перевірці вимірюють через кожні 100-200° С, починаючи від 300°C, до найвищої температурної межі тривалого застосування термопар. Всього перевіряють не менш як чотири температурні точки. Коли в печі буде досягнуто потрібної температури, струм у нагрівальній обмотці регулюють так, щоб швидкість зміни температури в печі не перевищувала 1-2°C за 5 хв. Після цього послідовно відлічують термо-ЕРС всіх термопар, починаючи від зразкової, спочатку в одному, а потім у зворотному порядку, причому для кожної термопари роблять не менш як чотири відліки, з яких потім визначають середнє арифметичне значення.

Перевірка термопар за сталими температурними точками дуже трудомістка і складна. Її застосовують здебільшого при градуванні зразкових платинородій-платинових термопар. У процесі градування вимірюють барометричний тиск, за яким і визначають точно температуру твердіння застосовуваних речовин.

Пірометричні мілівольтметри перевіряють способом порівняння їх показів з показами потенціометрів. Схему перевірки пірометричного мілівольтметра зображено на рис. 1.21. До джерела регульованої напруги 1 типу ИРН-53, що має два реостати для грубого і точного регулювання напруги

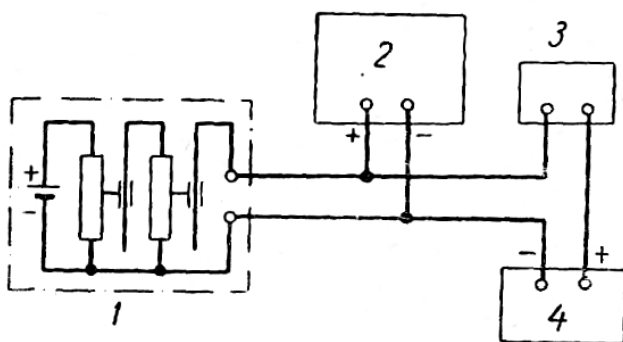


Рис. 1.21. Схема перевірки пірометричних мілівольтметрів:

- 1 – джерело регульованої напруги; 2 – потенціометр; 3 – магазин опорів;
- 4 – перевірюваний мілівольтметр

в межах 0-100 мВ, сухий елемент напругою 1-1,5 В і вимикач кола джерела живлення, вмикають паралельно лабораторний або переносний (контрольний) потенціометр 2 і перевірюваний мілівольтметр 4. Послідовно з мілівольтметром сполучають магазин опорів 3 типу МСР-54 або МСЛІ-49 з межами опору відповідно 0,01-1111,11 і 0,01-11111,11 Ом, які змінюються ступенями по 0,01 Ом. Змінюючи джерелом регульованої напруги

величину напруги, яка подається на затискачі перевірюваного мілівольтметра, перевіряють останній за допомогою потенціометра по всіх оцифрованих точках шкали, причому для приладів з шкалою в СГ на магазині опорів попередньо встановлюють величину опору зовнішнього кола мілівольтметра R30 В, при якій було проградувано шкалу приладу.

Мілівольтметр перевіряють спочатку при зростаючому, а потім при спадному значенні е.р.с. У кожній перевірюваній точці шкали роблять 1-2 відліки показів приладів. Якщо покази перевірюваного мілівольтметра відхиляються від дійсних значень ЕРС то величину додаткового опору R_u мілівольтметра змінюють за допомогою магазину опорів.

Автоматичні потенціометри перевіряють також порівнянням їх показів з показами лабораторного (або переносного) потенціометра за тією самою схемою, але без магазину опорів. Іншу схему перевірки потенціометрів подано

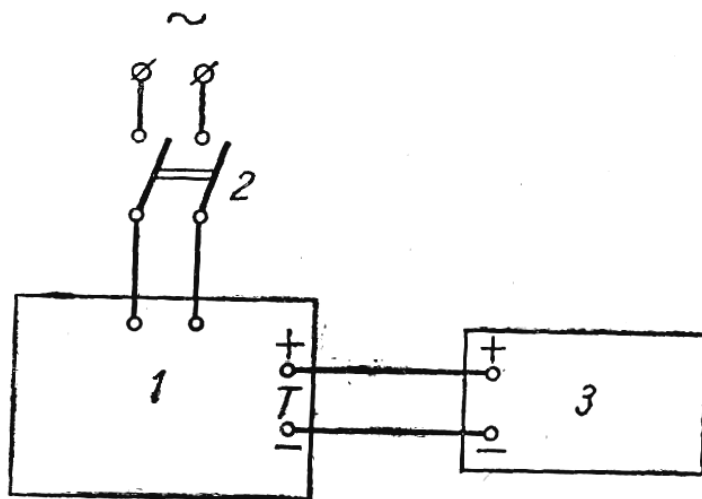


Рис. 1.22. Схема перевірки автоматичних потенціометрів:

- 1 – перевірюваний потенціометр; 2 – рубильник;
- 3 – лабораторний потенціометр

на рис. 1.22. Увімкнувши рубильником 2 перевірюваний автоматичний потенціометр 1 в сітку змінного струму, встановлюють у ньому і в лабораторному потенціометрі 3 нормальну величину робочого струму. Потім на затискачі перевірюваного потенціометра, що призначені для вмикання до них термопари, подають напругу, яка знімається безпосередньо з затискачів лабораторного потенціометра (тут він є джерелом регульованої напруги), що відповідає перевірюваними точкам шкали з урахуванням поправки на температуру вільних кінців термопари. Покази обох приладів порівнюють. Нульовий гальванометр лабораторного потенціометра під час подавання останнім напруги повинен бути накоротко замкнутий. Перевірити треба всі оцифровані точки шкали.

Тема 6. Будова та властивості термометрів опору

6.1. Електричні термометри опору та їх властивості

Вимірювання температури за допомогою електричних термометрів опору, які широко застосовуються для практичних цілей, ґрунтується на зміні електричного опору металевих провідників залежно від температури. Як відомо, при нагріванні метали збільшують свій опір. Отже, маючи залежність опору провідника від температури і визначаючи цей опір за допомогою електровимірювального приладу, можна судити про величину температури провідника. Термометр опору, виготовлений з тонкого металевого дроту (обмотки), нанесеного на каркас з електроізоляційного матеріалу (слюди кварцу, пластмаси) і вміщеного в металевий захисний чохол з головкою для підведення з'єднувальних проводів, є первинним приладом вимірювального пристрою, який живиться від стороннього джерела струму.

Як вторинні прилади, що працюють з термометрами опору, застосовують врівноважені вимірювальні мости, неуврівноважені вимірювальні мости і логометри. Верхня межа вимірювань термометрів опору, обумовлена стійкістю термометра при його нагріванні, дорівнює 500°C .

Позитивні якості термометрів опору такі: висока точність вимірювання, можливість виготовлення приладів з безнульовою шкалою на будь-який діапазон температур, легкість автоматичного записування та дистанційного передавання показів і можливість приєднання до одного вторинного приладу за допомогою перемикача кількох однотипних термометрів опору. Недолік цього методу вимірювання — потреба в сторонньому джерелі електричного живлення

До матеріалів, які застосовуються для виготовлення обмотки термометрів опору, ставлять такі вимоги:

- 1) стійкість фізичних і хімічних властивостей при нагріванні, зокрема, сталість залежності опору від температури, і стійкість провідника проти корозії;
- 2) високий і по можливості сталий температурний коефіцієнт електричного опору, що сприяє підвищенню чутливості приладу і забезпечує лінійну залежність зміни опору провідника від температури;
- 3) великий питомий опір провідника, що веде до зменшення габаритних розмірів термометра;

4) відтворення ступеня чистоти металу при окремих його плавках, яке забезпечує взаємозамінність виготовлюваних термометрів.

З чистих металів найбільш придатні для виготовлення термометрів опору платина (Pt), мідь (Cu), нікель (Ni) і залізо (Fe).

Хоч нікель та залізо і мають високий температурний коефіцієнт, проте їх широко не застосовують при виготовленні термометрії опору через трудність дістати потрібний ступінь чистоти цих металів, недостатню сталість температурного коефіцієнта і слабку опірність, особливо заліза, до окислення.

Найкращим матеріалом для термометрів опору є платина, яка має велику хімічну інертність в окислювальному середовищі і яку можна легко добути в чистому вигляді. Крім того, платина має досить великий температурний коефіцієнт електричного опору [$3,94 \cdot 10^{-3} (^{\circ}\text{C})$] і високий питомий опір ($0,099 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$). Верхня температурна межа застосування платинових термометрів опору внаслідок механічної міцності обмотки, яку виготовляють з дуже тонкого дроту, не перевищує 500°C .

Застосовують технічні, зразкові й еталонні платинові термометри опору. Еталонні термометри призначені для відтворення (інтерполяції) міжнародної температурної шкали в інтервалі температур $0-630^{\circ}\text{C}$.

Ступінь чистоти платини характеризується відношенням R_{100}/R_0 , де R_{100} і R_0 — опори термометра при 0 і 100°C . Для спектрально чистої платини це відношення дорівнює $1,392$, а для платини марки «Екстра», яку застосовують при виготовленні технічних термометрів — $1,388-1,390$.

Мідь також має ряд позитивних властивостей, які дають змогу використовувати її для виготовлення технічних термометрів опору. Позитивні якості міді — її дешевизна, легкість видобування в чистому вигляді і порівняно високий температурний коефіцієнт електричного опору [$4,25 \cdot 10^{-3} (^{\circ}\text{C})^{-1}$], а недоліки — невеликий питомий опір ($0,017 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$) і легка окислюваність при високих температурах, внаслідок чого верхня границя застосування мідних термометрів опору обмежується 100°C . Опір електричних термометрів при 0°C беруть $50-100 \text{ Ом}$. Збільшення опору термометра дає змогу зменшити похибку вимірювання, зв'язану із зміною опору з'єднувальних проводів під впливом температури навколишнього середовища. Однак застосування термометрів з вищим опором може призвести до похибки через нагрівання їх вимірювальним струмом, бо при одній і тій самій довжині обмотки, зумовленій розмірами термометра, для підвищення опору останнього треба зменшити діаметр дроту, що позначається також і на механічній міцності приладу. Величина вимірювального струму, який проходить по обмотці термометра опору, звичайно не перевищує $6-8 \text{ мА}$.

В Україні стандартні термометри опору виготовляють тільки з платини і міді. Платинові термометри опору мають умовне позначення ЕТП, мідні — ЕТМ. При 0°C опір цих термометрів R_0 дорівнює: платинових — 46 і 100 Ом , мідних — 53 Ом .

6.2 . Конструкції термометрів опору

Будову платинового термометра опору типу ЕТП-І градуїровки 11 подано на рис. 1.23. На каркасі із слюдяної пластинки 1 розмірами 120X10X0,3 мм (Рис. 1.23, а), що має по боках зубчасту насічку біфілярно намотано платиновий дріт 2 діаметром 0,07 мм і завдовжки близько 2 м. До кінців платинової обмотки припаяно два виводи 5 з срібного дроту діаметром 1 мм, які сполучені з затискачами в головці термометра. Слюдяну пластинку з обмоткою ізолювано з обох боків ширшими слюдяними накладками 4 і зв'язано з ними в один спільний пакет срібною стрічкою 3.

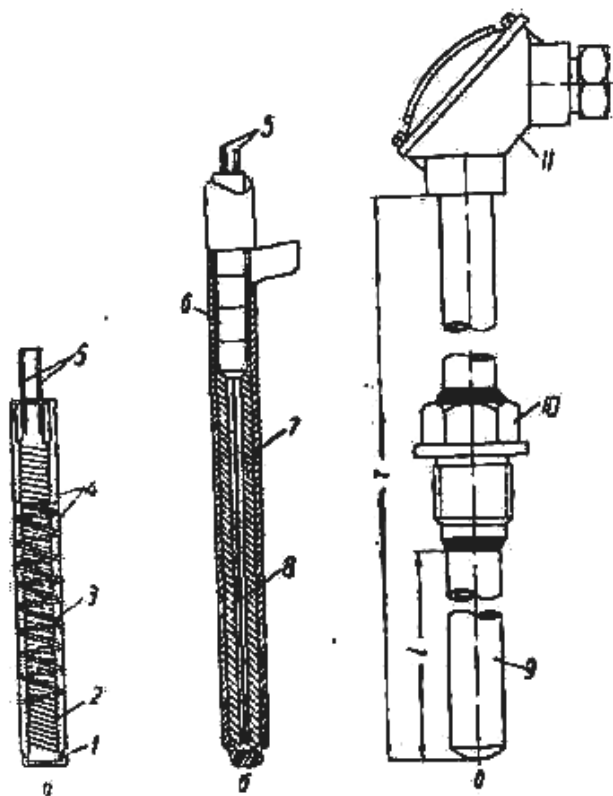


Рис. 1.23. Платиновий термометр опору ЕТП-І:

- а – чутливий елемент; б – внутрішня захисна арматура; в – зовнішня захисна арматура; 1 – слюдяна пластинка з насічкою; 2 – платиновий дріт; 3 – срібна стрічка; 4 – слюдяні накладки; 5 – срібні виводи; 6 – фарфорові буси; 7 – внутрішній чохол; 8 – алюмінієвий вкладиш; 9 – захисний чохол; 10 – нерухомий штуцер; 11 – головка

Утворений чутливий елемент термометра вставлено в плоский алюмінієвий вкладиш 8 (рис. 1.23, б) і разом з ним у трубчасту оболонку 7 з алюмінію. Срібні виводи ізолювані фарфоровими бусами 6. Оболонка з чутливим елементом міститься в сталевому захисному чохлі 9 зовнішнім діаметром 21 мм (рис. 1.23, в) з привареним до нього штуцером 10, що призначений для встановлення термометра на трубопроводах і резервуарах, які перебувають під тиском до 40 кг/см^2 .

У верхній частині захисного чохла, який виготовляють з сталі 20 або 1Х18Н9Т, закріплена алюмінієва головка термометра 11, всередині якої міститься бакелітовий вкладиш з двома затискачами для приєднання зовнішніх з'єднувальних проводів. За своєю будовою головки термометрів опору однакові з головками термопар. Робоча довжина l термометра типу ЕТП-І змінюється в межах 150-1300 мм, а загальна довжина L — в межах 350-1500 мм.

Платиновий термометр опору типу ЕТП-ІІІ відрізняється від термометра типу ЕТП-І тільки тим, що він має пересувний штуцер з сальниковим ущільненням. Термометр призначений для вимірювання температури при тиску середовища до 3 кг/см^2 . За допомогою переміщення штуцера по захисному чохлу робоча довжина термометра l може змінюватись від мінімального значення, яке дорівнює 150 мм, до максимального в межах 400-1900 мм. Загальна довжина термометра становить 500-2000 мм.

Для випадку, коли одну й ту саму температуру треба вимірювати одночасно двома окремими вторинними приладами, наприклад, показуючим і самопишучим, застосовують подвійні платинові термометри опору градуїровки 11 типів ЗТП-УШ (з нерухомим штуцером) і ЕТП-ІХ (з пересувним штуцером), які призначені для вимірювання температури при тисках відповідно до 40 і 3 $\kappa\Gamma/\text{см}^2$. Ці термометри мають два однакові чутливі елементи, які ізольовані один від одного і від вкладиша трьома слюдяними пластинками і зв'язані в один пакет. У головці термометрів є по чотири затискачі для приєднання з'єднувальних проводів. Розміри приладів такі самі, що й у термометрів типів ЕТП-І і ЕТП-ІІІ.

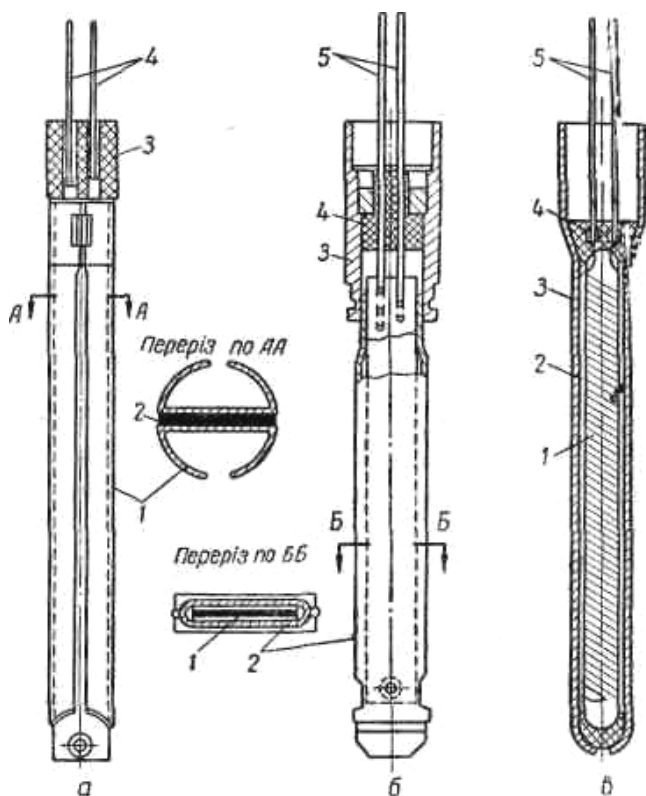


Рис. 1.24. Чутливі елементи платинових термометрів опору:

- a* – пелюстковий: 1 – пружна пелюстка;
- 2 – чутливий елемент; 3 – ізолятор; 4 – виводи;
- б* – опресований: 1 – чутливий елемент;
- 2 – оболонка; 3 – втулка; 4 – ізолятор;
- 5 – виводи; *в* – осклений: 1 – чутливий елемент;
- 2 – фольга; 3 – пружиняча трубка; 4 – ізолятор;
- 5 – виводи

(рис. 1.24, б) відрізняється від пелюсткового тим, що в ньому пелюстки замінені плоскою металевою оболонкою, яка щільно притискується за допомогою преса до слюдяного пакета. Щоб захистити опресований елемент від механічних дій, його поміщають у круглий перфорований сталевий чохол. В оскленому (герметизованому) чутливому елементі (рис. 1.24, в) платинова дротина, намотана на скляний каркас, оплавлена зовні склом. Елемент обгорнуто гофрованою мідною фольгою і вставлено в пружну (розрізану) металеву трубу з азбестовими опорними пробками, яку вставляють у сталевий захисний чохол термометра.

Для вимірювання температури пари і живильної води, які перебувають під тиском до 250 $\kappa\Gamma/\text{см}^2$, застосовують платинові малоінерційні термометри

з'єднувальних проводів. Розміри приладів такі самі, що й у термометрів типів ЕТП-І і ЕТП-ІІІ.

Для зменшення теплової інерції платинових термометрів опору останнім часом розроблені нові їх типи, в яких замість чутливого елемента з алюмінієвим вкладишем застосовуються так звані пелюсткові, опресовані і осклені чутливі елементи, подані на рис. 30. Пелюстковий чутливий елемент (рис. 1.24, а) складається з пакета з платиновою обмоткою, затиснутого по всій довжині з бічних сторін двома пружними пелюстками з листового дюралюмінію завдовжки 0,1 мм. Пелюстки, щільно притиснуті до пакета і стінок захисного чохла термометра, поліпшують умови теплопередавання і тим самим у 2-3 рази знижують інерційність приладу порівняно з термометром, який має алюмінієвий вкладиш. Опресований чутливий елемент

опору типів ЕТП-ХХІ (одинарні) і ТП-ХХІІ (подвійні) градуїровки 11. Ці термометри (рис. 1.24) мають конічний захисний чохол, виготовлений з сталі 2Х13, з нерухожим штуцером. Чутливий елемент термометра — пелюсткового типу. Робоча довжина термометра зміниться в межах 150-300 мм, а загальна — 350 мм. Головка термометрів є гнучкий металевий шланг завдовжки 500 мм для захисту підвідних проводів.

Новий платиновий малогабаритний і малоінерційний термометр опору типу ЗТП-236 градуїровки 11 призначений для вимірювання температури підшипників у межах 0-100°C при тиску середовища до 6 кг/см². Чутливий його елемент складається з біфілярно намотаної двошарової плоскої спіралі, виконаної з емальованого платинового дроту діаметром 0,05 мм. Спіраль, ізольована фторопластовими накладками укладена на дно мідного захисного чохла діаметром 8 мм. Термометр стійкий проти вібраційного й ударного навантаження і має інерційність 20 сек. Головка приладу водозахищена, невеликих розмірів. Робоча довжина термометра змінюється в межах 20-200 мм. Мідний термометр опору типу ЕТМ-Х має чутливий елемент, виготовлений з мідного емальованого дроту 1 (рис. 1.25, а) діаметром 0,1 мм, намотаного в кілька шарів на циліндричний каркас 2 з пластмаси. Довжина чутливого елемента 40 мм. До кінців його обмотки припаяно два мідних виводи 3 діаметром 1,5 мм, які сполучають чутливий елемент із затискачами в головці термометра (рис. 1.25, б). Виводи ізольовані в нижній частині азбестовим шнуром, а у верхній - фарфоровими бусами.

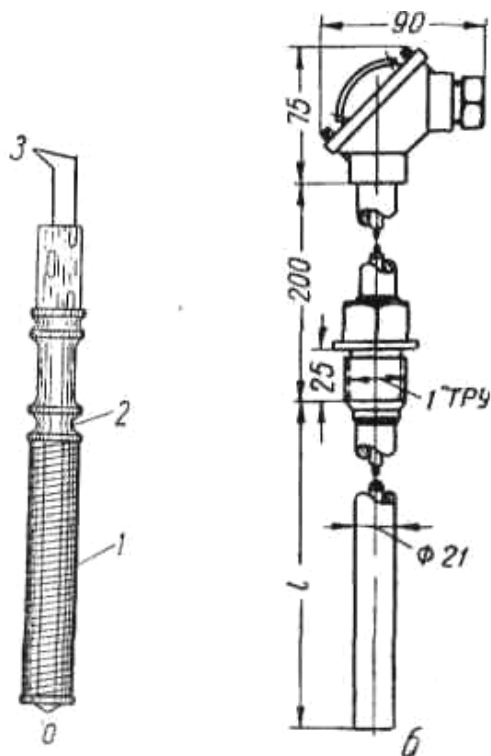


Рис. 1.25. Мідний термометр опору типу ЗТМ-Х:

а – чутливий елемент; б – загальний вигляд термометра: 1 – обмотка; 2 – каркас; 3 – виводи

Чутливий елемент міститься з металевій оболонці, яку вставлено в захисний чохол з нерухожим штуцером. Чохол виготовляють з сталі 20 або 1Х18Н9Т. Зовнішній діаметр чохла 21 мм. Робоча довжина термометра дорівнює 150-1300 мм, а загальна довжина — 50-1500 мм. Термометр призначений для вимірювання температури при тисках середовища до 40 кг/см². Усі мідні термометри опору одинарні і вібростійкі. Останнім часом поряд з термометрами опору з металевих провідників (платини і міді) для вимірювання температури, а також для багатьох інших цілей починають застосовувати напівпровідникові термоопори (термістори), які виготовляють із суміші окислів деяких металів марганцю (Mn₂O₃), міді (Cu₂O₃), калію (K₂O), нікелю (NiO) і т. д. опресованої і спеченої при високій температурі. Термоопори, які являють собою об'ємні нелінійні електричні

опори, на відміну від металів при нагріванні зменшують свій опір. При температурах 50°C і нижче вони мають більший, ніж у металів (у 5-10 раз), негативний температурний коефіцієнт електричного опору, що забезпечує порівняно велику зміну їх опору R залежно від температури.

Крім того, термоопори мають малу питому електропровідність (близько $0,001 \text{ мм} \cdot \text{ом}^{-1}$), що дає змогу діставати з них компактні та малоінерційні електричні термометри з великим опором (1-1000 кОм) і, отже, не враховувати впливу на результати вимірювань опору проводів, які сполучають термометри з вторинними приладами. Найбільше поширені термоопори типу ММТ-4 (суміш окису міді і марганцю) і КМТ-4 (суміш окислів калію і марганцю), які розраховані на максимальну робочу температуру 120°C і мають відповідно при температурі 20°C опори 1-200 і 20-1000 кОм і допустиму величину вимірювального струму 2 і 12 мА . Обидва термоопори, тривалість служби кожного з яких дорівнює 5000 год., призначені для роботи в умовах підвищеної вологості і навколишнього середовища і в рідинах.

Описані вище термоопори мають порівняно велику сталість електричних властивостей, однак ступінь відтворення їх величини ще недосить надійний; відхилення окремих опорів від номінального значення становить близько $\pm 20\%$, що не забезпечує потрібної взаємозамінності цих пристроїв.

6.3. Конструкції зрівноважених вимірювальних мостів

Для точного вимірювання опорів електричних термометрів застосовують зрівноважені мости постійного струму – лабораторні типів МОД-47 і МКЛ-49 і переносний типу МВУ-49. Ці мости використовуються в електровимірювальній

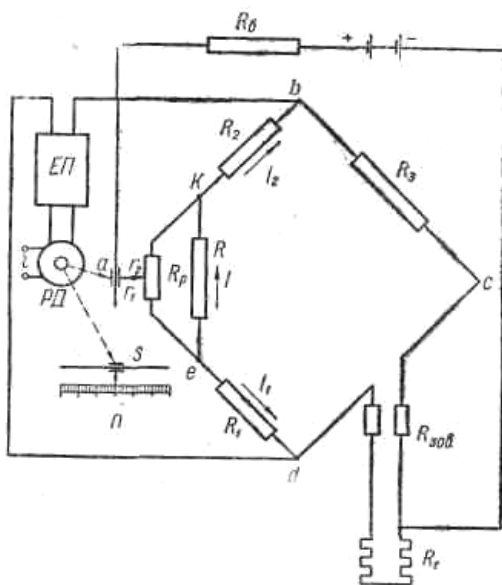


Рис. 1.26. Схема електронного автоматичного зрівноваженого моста:
 а – із зміною опору плеча;
 б – із зміною відношень опорів плеча

практиці при вимірюванні опорів і належать звичайно до розряду електровимірювальних приладів.

Для вимірювання температури в промислових установках за допомогою термометрів опору широко застосовують автоматичні показуючі і самопишучі зрівноважені мости. За своєю будовою вони поділяються на електронні й електромеханічні і мають таку саму кінематичну систему і конструкцію, що й відповідні автоматичні потенціометри. Для зрівноважування моста прилад має спеціальний пристрій з невеликим електродвигуном для переміщення повзунка реохорда.

Щоб зменшити похибку вимірювання внаслідок зміни опору з'єднувальних проводів від температури навколишнього повітря, термометри опору вмикають в автоматичний зрівноважений міст за три-провідною системою.

На рис. 1.26 зображено схему електронного автоматичного зрівноваженого моста.

У схему входять: сталі опори (плечі) R_1, R_2, R_3 ; реохорд R_p , розділений повзунком a на дві частини r_1 і r_2 ; джерело живлення постійного струму напругою $1,5\text{ В}$; термометр опору R_t опір з'єднувальних проводів $R_{зоб}$ з двома підгінними опорами, призначений для підганяння опору кожного привода до градуювального значення; опір R , який шунтує реохорд для обмеження робочого струму, що проходить по ньому; опір R_6 , який обмежує струм у колі джерела живлення.

Замість нульового гальванометра в діагональ моста bd увімкнуті електронний підсилювач $ЕП$ і невеликий реверсивний двигун $РД$, який керує залежно від величини вимірюваної температури повзунком a реохорда і рухомою кареткою 5 показчика $П$, на якому встановлена стрілка, перо або друкуючий барабан.

Електронні автоматичні зрівноважені мости типу ЕМД-202, ЕМП-209, ЕМВ-21, МС1, МСР1, МПР, МСРМ та ін., які виготовляв вітчизняна промисловість, схожі за своєю будовою з відповідними типами електронних автоматичних потенціометрів і мають такі самі основні технічні характеристики.

Однією з різновидностей електронного моста ЕМД-202 (рис. 1.26) є електронний міст типу ЕМД-212, який додатково має трипозиційний електроконтактний пристрій для сигналізації (регулювання) температури.

До розроблених останнім часом малогабаритних електронних автоматичних зрівноважених мостів належать прилади типів ЕМВ-21 (Рис. 1.27, б), МС1 і МСР1 (Рис. 1.27, а), МПР (Рис. 1.27, в) і МСРМ (Рис. 1.27, г).

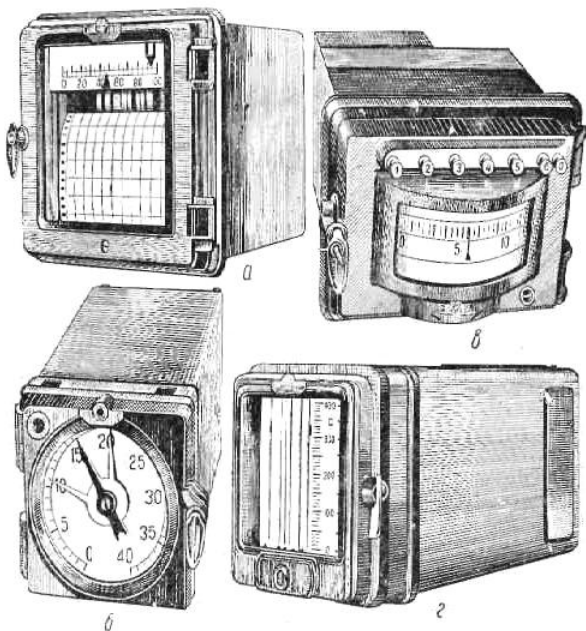


Рис. 1.27. Малогабаритні електронні мости: а – показуючий і самопишучий (типу МС1); б – показуючий і сигналізуючий (типу МПР); в – показуючий з обертовою шкалою (типу ЕМВ-21); г – показуючий, самопишучий і аналізуючий (типу МСРМ)

Перші чотири прилади відповідно аналогічні малогабаритним електронним потенціометрам типів ЕПВ-01, ПС1, ПСР1 і ПП. Міст типу МСРМ — одноточковий показуючий і самопишучий прилад, який має сигналізуючий пристрій. Довжина його шкали і ширина діаграмної стрічки — 100 мм . Перо пробігає, всю шкалу за 3 сек. ; швидкості руху діаграмної стрічки — $20, 60$ і 180 мм/год. Споживана потужність – 30 Вт . Основна похибка показу і запису дорівнює $\pm 1\%$. Габаритні розміри приладу типу МСРМ $186 \times 186 \times 380\text{ мм}$.

Шкали приладів виготовляють як з нулем на початку, так і безнульовими, та градуують при опорі з'єднувальних проводів 5 ом (опір кожного основного провода $2,5\text{ ом}$).

6.4. Логометри та їх конструкції

Одним з найбільш поширених вторинних приладів, що працюють у комплекті з термометром опору, є логометр магніто-електричної системи, який належить до групи технічних приладів. Рухома частина логометра складається з двох жорстко зв'язаних схрещених під невеликим кутом рамок (обмоток), які повертаються на спільній осі в нерівномірному магнітному полі постійного магніту. Принцип дії логометра полягає у вимірюванні відношення струмів, що проходять у двох паралельних електричних колах, які живляться від стороннього джерела постійного струму I в кожне з яких увімкнено відповідну рамку приладу.

В рухомій частині логометра немає пружинок або пружних розтяжок для її зрівноважування; цього досягають за допомогою взаємодії обертаючих моментів обох рамок, напрямлених назустріч один одному. Покази логометра в певних межах не залежать від коливань напруги джерела живлення, що є перевагою цих приладів порівняно з іншими.

На рис. 1.28 подано схему логометра, сполученого з термометром опору

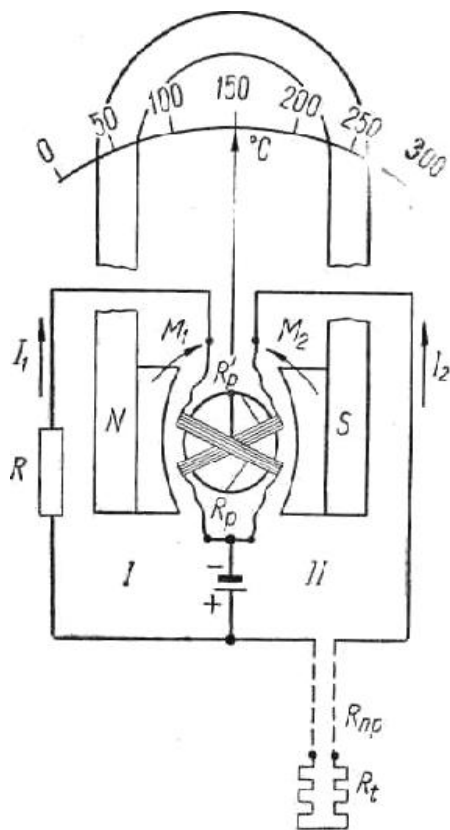


Рис. 1.28. Принципова схема логометра

R_t і джерелом живлення. Між полюсними наконечниками постійного магніту, які мають овальну виточку, розміщений сталевий циліндричний сердечник, що утворює з ними змінний по ширині повітряний зазор, який поступово зменшує магнітну індукцію від середини наконечників до їх країв. У зазорах переміщуються дві однакові схрещені рамки R_p і R_p з тонкого мідного ізольованого проводу, які жорстко скріплені між собою і з стрілкою приладу.

Вимірювальна схема логометра складається з двох паралельних кіл I і II, які живляться від спільного джерела струму. У коло I ввімкнені рамка R_p і сталевий опір R , а в коло II — рамка R_p термометр опору R_t і з'єднувальні проводи $R_{пр}$. Через рамки логометра R_p і R_p проходять струми I_1 і I_2 які обернено пропорціональні за величиною опорам кіл I і II утворюють свої магнітні поля. Взаємодія останніх з полем основного магніту створює два обертаючі моменти M_1 і M_2 , які діють на схрещені рамки в протилежних напрямках.

Якщо опори кіл I і II однакові, тобто

$$R_p + R = R_p' + R_t + R_{пр}$$

то

$$I_1 = I_2.$$

Тоді при симетричному розміщенні рамок R_p і R_p' відносно полюсних наконечників обертаючі моменти M_1 і M_2 будуть однакові. У цьому положенні при певному значенні R_t рухома частина логометра перебуває в стані рівноваги, а стрілка приладу встановлюється на середині шкали.

При підвищенні температури в місці вимірювання і при збільшенні опору термометра струм I_2 у колі П зменшиться і момент M_1 буде більший, ніж момент M_2 . Під впливом цієї різниці обертаючих моментів рухома частина логометра почне повертати її у бік дії більшого моменту (на рис. 1.28 — за стрілкою годинники) доти, поки не настане новий стан рівноваги, який виникає внаслідок того, що рамка R_p з більшою величиною струму входить у частину повітряного зазора, яка розширюється, тобто в ділянку слабшого магнітного поля, тим самим поступово зменшуючи момент M_1 . Одночасно з цим рамка R_p з меншою величиною струму, навпаки, входить у частину повітряного зазора, яка звужується тобто в більше магнітне поле, що збільшує момент M_2 . Новий стан рівноваги рухомої частини приладу настане в положенні, при якому обертаючі моменти рамок будуть однакові.

Отже, кут відхилення стрілки логометра залежить тільки від величини опору термометра R_t , яка визначається температурою останнього. Це дає змогу для даного типу термометра градувати шкалу приладу безпосередньо в $^{\circ}\text{C}$. Практично для логометрів відхилення напруги джерела живлення від норми допускається в межах $\pm 20\%$, бо при дуже малій напрузі зростає вплив пружності провідників, які підводять струм до рамок, і сил тертя при переміщенні рухомої частини, а при дуже великій напрузі обмотки термометра і рамок приладу нагріваються, що змінює відношення струму в паралельних колах логометра.

Струм до рамок логометра підводиться за допомогою трьох дуже тонких спіральних волосків, які при повертанні рухомої частини створюють дуже малий протидіючий пружний момент. На відміну від мілівольтметра у логометрі обидва обертаючі моменти, які діють на рухома частину, при вимиканні струму зникають, тому, якщо не передбачити особливого пристрою, стрілка логометра залишатиметься в тому положенні, при якому було вимкнено живлення, і, отже, це може створити помилкове уявлення про роботу приладу.

Вплив на покази логометра зміни опору з'єднувальних проводів залежно від їх температури зменшують тими самими методами, що й у вимірювальних мостів. Вітчизняна промисловість виготовляє показуючі логометри типу ЛПр-53 з профільною шкалою, які призначені для вимірювання температури в комплекті з стандартними термометрами опору, які вмикають по дво- або три-проводній системі.

Схему логометра типу ЛПр-53 з три-провідною системою вимкнення термометра опору зображено на рис. 1.29. Тут логометр поєднаний з невірноваженим вимірювальним мостом, що збільшує чутливість приладу, можливість здійснення його температурної компенсації і полегшує побудову шкали на будь-які межі вимірювання за допомогою добору величин сталих опорів моста. Сталі манганінові опори R_1 , R_2 і R_3 утворюють троє плечей моста, причому опори R_2 і R_3 за величиною однакові. У четверте плече вмикають сталий опір R_b , термометр опору R_t і один з'єднувальний провід із зрівняльним

опором R_3 . Другий провід з опором R_3' належить до плеча моста R_1 . Обидві рамки R_p і R_p' логометрії ввімкнені в діагональ моста ab . У другу діагональ cd подається напруга постійного струму 4в від джерела живлення. Середня точка e між рамками логометра сполучена з вершиною моста C через два послідовно ввімкнені опори R_4 і R_5 , перший з яких манганіновий, а другий — мідний; вони призначені відповідно для зміни кута відхилення рухомої частини і температурної компенсації приладу.

Вимірювальний міст перебуває в стані рівноваги при опорі термометра, який відповідає середині шкали приладу. При цьому внаслідок рівності потенціалів у вершинах a і b спади напруги на I- опорах R_2 і R_3 , а отже, і струми в рамках R_p і R_p' однакові і обидві рамки розміщуються в магнітному полі симетрично відносно осі полюсних наконечників.

При підвищенні або зниженні вимірюваної температури проти значення, яке відповідає середній позначці шкали, рівновага моста порушуватиметься. При підвищенні температури (тобто збільшенні опору термометра) це веде до зменшення струму в рамці R_p і відповідного збільшення струму в рамці R_p' а при зниженні температури, тобто при зменшенні опору термометра,— до збільшення струму в рамці R_p і до зменшення його в рамці R_p' . Різниця обертових моментів рамок, яка виникає в обох випадках, примушує рухому, частину повертатись у той чи інший бік до настання рівноваги, зумовленої вирівнюванням моментів рамок внаслідок нерівномірної ширини повітряного простору.

Після підгонки опору з'єднувальних приводів правильність сполучень перевіряють за допомогою контрольного опору R_k , який міститься в приладі. Для цього до вмикання джерела живлення основні з'єднувальні проводи закорочують на затискачах головки термометра, а протилежний кінець одного з них, який сполучений з затискачем k , переносять у затискач $л$. У цьому випадку при ввімкненні живлення стрілка логометра повинна встановитись над контрольною червоною рисою, нанесеною посередині шкали, після перевірки попередні сполучення відновлюють. Вимірювальний механізм логометра типу ЛПр-53 (рис. 1.30), який закріплений на платі в корпусі з пластмаси, складається з постійного нікель-алюмінієвого магніту з полюсними наконечниками і обойми з рухомою частиною (двома рамками і стрілкою) та сердечником. Закріплені на двох сталевих кернах рамки прикладу, які обертаються в агатових підп'ятниках, схрещені під кутом 22° і розміщені в повітряному зазорі, утвореному циліндричним сердечником і полюсними

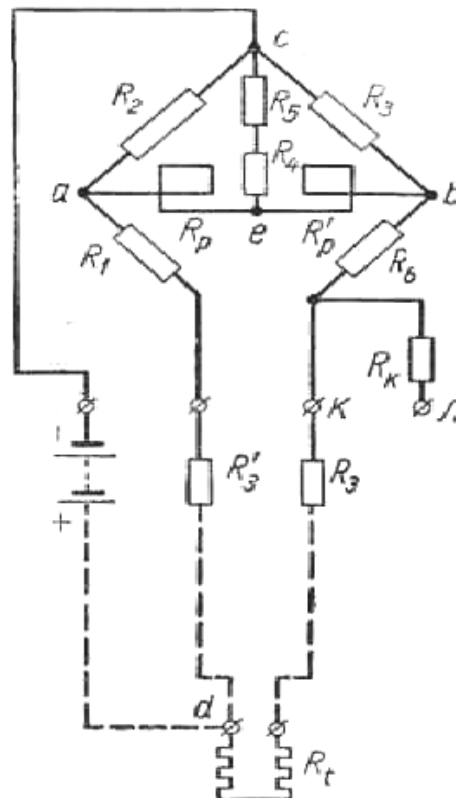


Рис. 1.29. Схема логометра типу ЛПр-53

наконечниками з овальною виточкою. Струм до рамок підводять за допомогою трьох невеликих спіральних пружин, які одночасно використовуються для встановлення стрілки на червону позначку зліва від початку шкали при вимкненні струму.

Корпус логометра типу ЛПр-53, який має всередині сталевий екран, пристосований для заглибленого (щитового) монтажу. На тильному боці корпуса розміщені чотири затискачі для приєднання логометра до зовнішнього кола і джерела живлення. Межі вимірювання приладу такі самі, що й автоматичних зрівноважених мостів. Ціна поділки шкал логометрів становить для мідних термометрів 1, 2 і 5°C, для платинових -5°C.

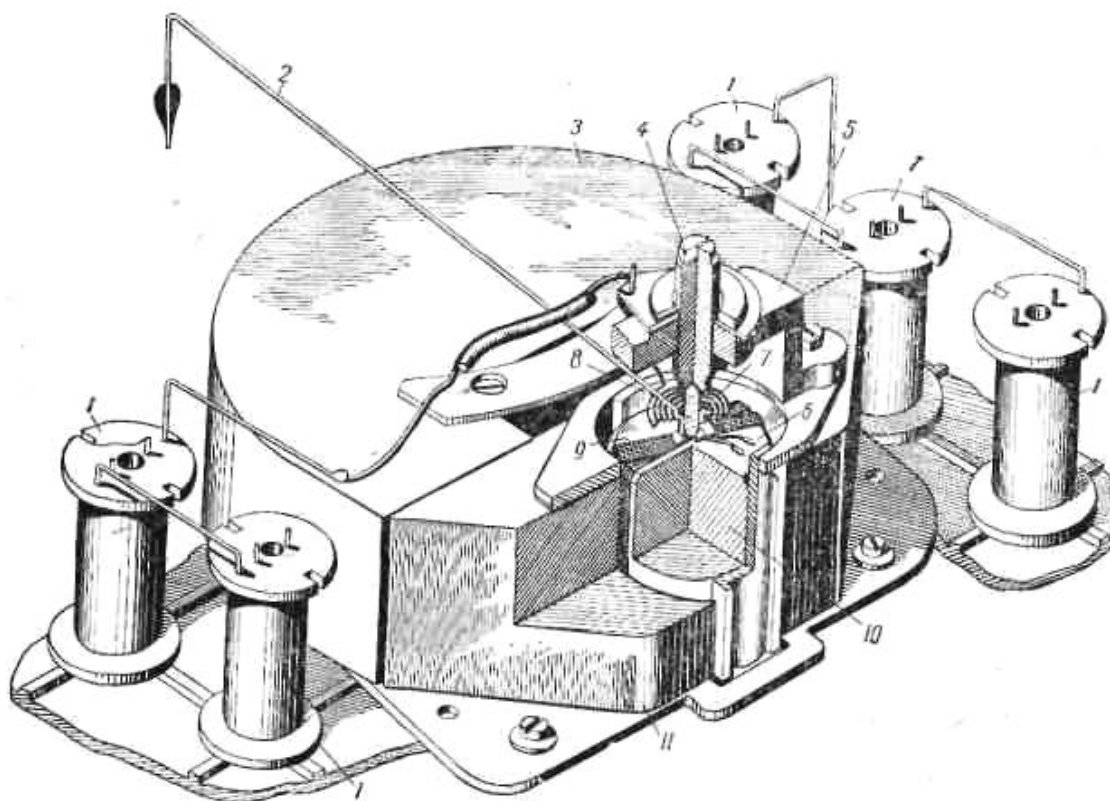


Рис. 1.30. Вимірювальний механізм логометра типу ЛПр-53:
 1 – електричні опори схеми; 2 – стрілка; 3 – постійний магніт; 4 – гвинт з агатовим підп'ятником; 5 – обойма з містком; 6 – тягарці для зрівноважування рухомої частини; 7 – керн; 8 – спіральний волосок; 9 – рамки; 10 – сердечник; 11 – полюсний наконечник

Логометр типу ЛПр-53 за точністю належить до класу 1,5. Додаткова похибка приладу при зміні температури навколишнього середовища на $\pm 10^\circ\text{C}$ нормальної величини (20°C) становить не більш як $\pm 0,75\%$ діапазону шкали, а при зміні напруги джерелі живлення на $\pm 10\%$ номінального значення (4 В) — не більш як $\pm 1,5\%$ діапазону шкали.

Потужність, яку споживає логометр, становить 0,6-0,9 *вт* (залежно від меж вимірювань).

6.5. Пірометри випромінювання

Пірометри випромінювання застосовують для вимірювання температур нагрітих тіл у межах 400-3000°C. Дія цих приладів ґрунтується на вимірюванні випромінюваної нагрітим тілом енергії, яка залежить від його температури і фізико-хімічних властивостей. На відміну від інших типів пірометрів на сприймаючу частину (первинний прилад) пірометра випромінювання не впливають високі температури і вона не спотворює температурного поля, оскільки міститься поза вимірюваним середовищем.

З підвищенням температури нагрітих тіл інтенсивність їх випромінювання швидко зростає. При нагріванні до 500°C тіло випромінює невидимі інфрачервоні (теплові) промені з великою довжиною хвилі, однак подальше збільшення температури спричинює появу і коротших видимих променів, завдяки чому тіло починає світитись. Спочатку розжарене тіло має темно-червоний колір, який у міру зростання температури і появи променів з довжиною хвилі, що поступово спадає, переходить у червоний, оранжевий, жовтий і, нарешті, у білий колір, що складається з комплексу променів різної довжини хвилі.

Одночасно із збільшенням температури нагрітого тіла і зміною його кольору дуже зростає інтенсивність монохроматичного (одноколірного) випромінювання для даної довжини хвилі (яскравість), а також помітно збільшується інтегральне (повне) випромінювання тілом енергії (радіація), що дає змогу використати ці дві властивості нагрітих тіл для вимірювання їх температури.

Різні фізичні тіла, нагріті до однієї й тієї самої температури, мають неоднакову монохроматичну й інтегральну інтенсивність випромінювання і різні коефіцієнти поглинання, які являють собою відношення енергії, поглинутої тілом, до енергії, яка падає на тіло. Найбільшу здатність випромінювання і поглинання енергії має так зване абсолютно чорне тіло, уявний ідеальний випромінювач, якого в природі не існує. Це тіло поглинає всі промені, які падають на нього, тобто має коефіцієнт поглинання, що дорівнює одиниці, і найбільшу інтенсивність випромінювання.

Закони випромінювання абсолютно чорного тіла добре вивчені, тому його випромінювальна здатність може бути ніби еталоном для порівняння з випромінювальною здатністю різних фізичних тіл, що мають при одній і тій самій температурі меншу інтенсивність випромінювання, ніж абсолютно чорне тіло. Фізичні тіла мають здатність відбивати частину променів, що падають на них і отже, завжди мають коефіцієнт поглинання менший від одиниці. Інтенсивність випромінювання і поглинання енергії при даній температурі залежить від хімічного стану речовини і стану його поверхні. Тіло, яке має темну і шорстку поверхню за своїми властивостями ближче до абсолютно чорного тіла, ніж тіло з світлою і полірованою поверхнею. На практиці можна мати тіло (модель), яке матиме властивості абсолютно чорного, якщо скористатись замкнутою, камерою з непрозорими і рівномірно нагрітими стінками з невеликим отвором в одній з них. Цей отвір практично поглинатиме всі промені, які на нього падатимуть, незалежно від матеріалу

стінок камери, бо промінь, який пройшов крізь отвір у порожнину камери, може вийти назад тільки дуже ослабленим після багаторазового відбивання.

Так, наприклад, при десятиразовому відбиванні променя в замкнутій кульовій камері з коефіцієнтом поглинання стінок 0,5 (рис. 1.31) промінь ослаблюється в 1024 рази, що дає коефіцієнт поглинання отвору 0,999, тобто дуже близький до одиниці. Отже, невеликий отвір у стінці замкнутого простору, зокрема, в обмурівці топки парового котла, поглинає майже всі промені, що падають на нього, і має найбільшу випромінювальну здатність, як абсолютно чорне тіло.

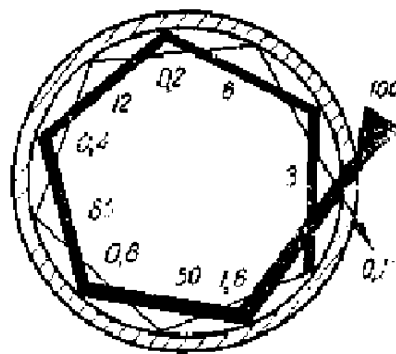


Рис. 1.31. Модель абсолютного чорного тіла

$$E_m = \sigma T^4 (\text{ккал/м}^2 \cdot \text{год}) \quad (1.16)$$

де σ – стала, яка дорівнює $4,96 \cdot 10^{-2} \cdot \text{°K}$.

Рівняння (1.16) покладено в основу вимірювання температури за інтенсивністю монохроматичного випромінювання (яскравості) нагрітого тіла в променях певної довжини хвилі λ , що дорівнює звичайно 0,65 мк (червоний колір), за допомогою приладів, які називаються оптичними і фотоелектричними пірометрами. Цей самий закон використано і для виведення інтерполяційного рівняння міжнародною температурою шкали для визначення температур вище від точки тверднення міді (1083°C). Отже, оптичні і радіаційні пірометри є відповідно пірометрами часткового (монохроматичного) і повного (інтегрального) випромінювання. Оскільки інтенсивність монохроматичного й інтегрального випромінювання залежить, від фізичних властивостей речовини, то шкали оптичних і радіаційних пірометрів градуують за випромінюванням абсолютно чорного тіла, тобто в градусах так званої чорної (умовної) температури. Усі фізичні тіла, як було зазначено вище, мають випромінювальну здатність меншу, ніж абсолютно чорне тіло, тому обидва названі вище пірометри показують чорну температуру: перший — температуру яскравості і другий — радіаційну, яка завжди нижча від дійсної температури нагрітого тіла. Температура яскравості і радіаційна температура фізичного тіла чисельно дорівнюють температурі абсолютно, чорного тіла, при якій відповідно монохроматичні яскравості обох тіл для даної довжини хвилі або інтегральні потужності випромінювання цих тіл однакові.

Температура яскравості і радіаційна температура будь-якого фізичного тіла, виміряна оптичним або радіаційним пірометром, перебуває в певному співвідношенні з дійсною температурою тіла, що дає змогу обчислити останню за результатами вимірювання.

6.6. Оптичні, фотоелектричні та радіаційні пірометри

В оптичному пірометрі порівнюється монохроматична яскравість (у променях певної довжини хвилі) нагрітого тіла і нитки, вбудованої в прилад пірометричної лампи, розжарення якої регулюють реостатом від руки. При

вимірюванні температури яскравості дугоподібну нитку пірометричної лампи через оптичний пристрій (телескоп) наводять на поверхню нагрітого тіла і

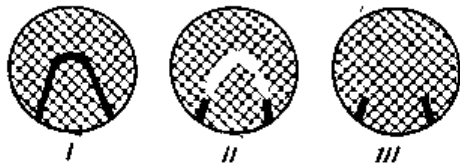


Рис. 1.32. Яскравість нитки розжарювання в оптичному пірометрі:

I – температура нитки нижча від температури нагрітого тіла; II – температура нитки вища від температури нагрітого тіла; III – температура нитки дорівнює температурі нагрітого тіла

добиваються однакової яскравості обох джерел світла за допомогою зміни величини струму, який живить нитку лампи. Якщо яскравість нитки буде менша, ніж яскравість нагрітої поверхні, температуру якої вимірюють (рис. 1.32), то на світлому фоні нитка здаватиметься чорною (положення I); коли, навпаки, нагріта світна

поверхня матиме меншу яскравість, нитка проектуватиметься світлою лінією на темнішому фоні (положення II). Коли монохроматична яскравість нитки і нагрітого тіла будуть однакові, тобто коли настане рівновага, зображення середньої зігнутої частини нитки, що має вищу температуру, ніж її кінці, зіллється з світлим фоном поверхні випромінювання і ніби зникне з поля зору спостерігача (положення III). У цей момент і відлічують температуру яскравості тіла по шкалі вольтметра, увімкненого до затискачів пірометричної лампи і проградуйованого в $^{\circ}\text{C}$. Внаслідок параболічної залежності температури нитки лампи від величини струму, який проходить по ній, оптичні пірометри мають нерівномірну шкалу, звужену на початку і розтягнуту в кінці. В Україні виготовляють переносний оптичний пірометр типу ОППІР-55, призначений для періодичних вимірювань температур у межах $800\text{-}2000^{\circ}\text{C}$. Схему пірометра зображено на рис. 1.33. Прилад складається з телескопа Т з магнітоелектричним вольтметром і джерела живлення постійного струму напругою $2\text{-}2,5\text{ В}$. Телескоп пірометра типу ОППІР-55 — це розширена посередині зорова труба 2 з двома лінзами: об'єктивом 1 і окуляром 10. У фокусі об'єктива встановлена пірометрична лампа 4 з дугоподібною вольфрамовою ниткою, сполученою послідовно з кільцевим реостатом 13, який призначений для зміни розжарення лампи. Реостат розміщений у розширеній частині зорової труби і має кільцеву ручку 15 з повзунком 14, яка дає змогу спостерігачеві регулювати струм, не відволікаючи уваги від розжарення нитки, випромінювання з довжиною хвилі $0,65\text{ мкм}$, перед окуляром установлюють червоний скляний світлофільтр 12, а за

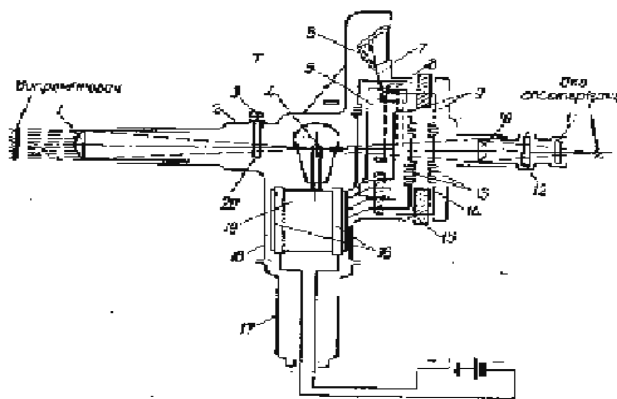


Рис. 1.33. Схема оптичного пірометра типу ОППІР-55: 1 – об'єktiv; 2 – зорова труба; 3 – поворотна головка; 4 – пірометрична лампа; 5 – постійний магніт; 6 – шкала; 7 – стрілка; 8 – рамка вольтметра; 9 – кінцеві контакти; 10 – окуляр; 11 – вихідна діафрагма; 12 – червоний світлофільтр; 13 – кільцевий реостат; 14 – повзунок реостата; 15 – ручка реостата; 16 – контактні стержні; 17 – ручка телескопа; 18 – відросток зорової труби; 19 – колодка; 20 – поглинаюче скло

ним — вихідну діафрагму 11, перед якою при вимірюванні повинно бути око спостерігача. Між об'єктивом і пірометричною лампою розміщене поглинаюче (затемнене) скло 20, укріплене на поворотній головці 3, за допомогою якої його можна або поставити перед лампою, або відвести вбік. Поглинаюче скло збільшує верхню межу показів пірометра, оскільки воно ослаблює видиму яскравість випромінювання нагрітого тіла при незмінній яскравості нитки лампи. Вольфрамову нитку пірометричної лампи не можна нагрівати вище 1500°C, бо при цьому можна порушити градування шкали приладу внаслідок розпилення (потоншення) нитки при її перерозжарюванні і забруднення при цьому внутрішніх стінок колби лампи. Тому вбудований у телескоп пірометра вольтметр, який складається з рамки 8, постійного магніту 5, стрілки 7 і шкали 6, має два діапазони вимірювань (подвійну шкалу): один — при роботі без поглинаючого скла з межами 800-1400°C і другий — при введеному склі з межами 1200-2000°C. Вольтметр пірометра вимірює спад напруги на пірометричній лампі, який змінюється залежно від струму розжарення нитки, а отже, і її температури. Для встановлення нуля вольтметр має коректор з гвинтом, виведеним на зовнішню частину корпусу телескопа. Пірометрична лампа встановлена на колодці 19 з двома контактними стержнями 16, до яких приєднані проводи від джерела живлення (лужного акумулятора), розміщеного (щоб було зручно переносити) в спеціальній сумці. Кожний прилад має індивідуальне градування, яке дійсне тільки для даної пірометричної лампи. При заміні лампи шкалу приладу треба переградувати. Величина струму, яку споживає лампа при нагріванні її до 1400°C, становить близько 0,4 А. При повертанні кільцевої ручки 15 вліво до упору повзунок 14 сходиться з обмотки реостата і розриває коло розжарення, вимикаючи цим лампу.

У процесі вимірювання температури пірометр типу ОППІР-55 на вимірюваний об'єкт наводять рукою, для чого циліндричний відросток 18 телескопа має внизу ручку 17. Для настроювання оптичної системи пірометра на фокус і для ока спостерігача об'єктив 1 і окуляр 10 можна переміщати вздовж осі зорової труби. Оптична система приладу дає змогу вимірювати температуру на відстані 0,7-5 м від джерела випромінювання.

На точність вимірювання оптичного пірометра помітно впливають ступінь відхилення властивостей джерела випромінювання від властивостей абсолютно чорного тіла, а також величина променепоглинання проміжного середовища, крізь яке ведуть спостереження. На результати вимірювання впливають пил, дим і значна кількість двоокису вуглецю, які є в навколишньому середовищі. Крім того, всяке забруднення оптичної системи пірометра, яке затримує промені, також збільшує похибку вимірювання. Клас точності оптичного пірометра типу ОППІР-55 при вимірюванні температури тіл, які за своїми властивостями близькі до абсолютно чорного тіла, становить 1,5.

Габаритні розміри пірометра (телескопа) 300x135x290 мм і вага (без акумулятора) 1,8 кг.

Позитивними якостями оптичного пірометра є порівняно висока точність вимірювання, компактність приладу і простота користування ним. До його недоліків слід віднести потребу в джерелі живлення, неможливість

стаціонарного вимірювання температури і автоматичного його записування, а також певну суб'єктивність методу вимірювання, оскільки він ґрунтується на спектральній чутливості ока спостерігача.

Прилади цієї групи призначені для вимірювання температур нагрітих тіл у межах 600-2000°C. Перед оптичними пірометрами вони мають істотні переваги, оскільки дають змогу визначати температуру об'єктивним і

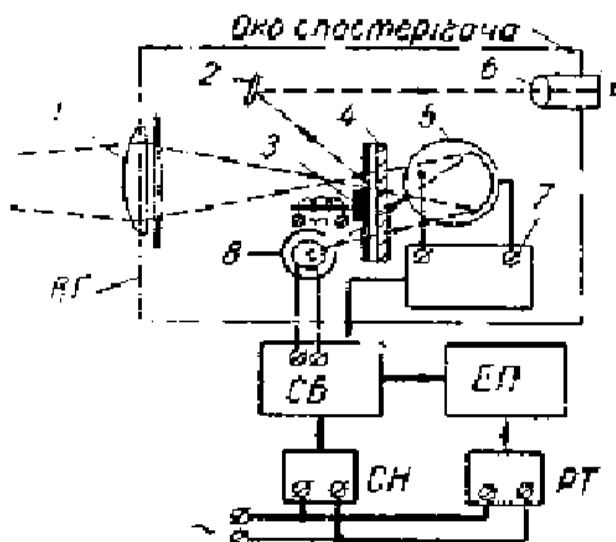


Рис. 1.34. Схема фотоелектричного пірометра типу ФЗП-3: 1 – об'єктив; 2 – відбивач; 3 – вібруюча заслінка; 4 – червоний світлофільтр; 5 – фотоелемент; 6 – окуляр; 7 – електронний підсилювач; 8 – лампа розжарювання

безінерційним методами. Дія фотоелектричного пірометра ґрунтується на властивості фотоелемента змінювати фотострум, який виникає в ньому, пропорційно до світлового потоку, що падає на нього від випромінювача. Утворений фотострум, який характеризує температуру випромінювача, дуже малий; щоб його збільшити, застосовують електронний підсилювач.

Фотоелектричні пірометри бувають показуючими і самопишучими з дистанційним передаванням. їх застосовують для вимірювання температури теплових процесів, які швидко

протікають, а також для регулювання температури в теплових установках.

На рис. 1.34 подано схему фотоелектричного пірометра типу ФЗП-3 з межами вимірювань 800-1300°C. Прилад складається з візирної головки ВГ, силового блока СБ, ферорезонансного стабілізатора напруги СН, швидкодіючого електронного потенціометра ЕП і роздільного трансформатора РТ. Візирну головку пірометра встановлюють перед випромінювачем, зображення якого фіксується об'єктивом 1 з діафрагмою в площині верхнього отвору касети червоного світлофільтра 4, розміщеного перед фотоелементом 5. На нижній отвір касети падають промені від лампи розжарювання 8, яка ввімкнена в анодне коло вихідного каскаду силового блока СБ і призначена для зворотного зв'язку по світловому потоку. Верхній і нижній отвори касети відкриваються по черзі з частотою 50 гц за допомогою вібруючої заслінки 3 під впливом котушки, яка живиться змінним струмом. Завдяки вибраній формі отворів касети на фотоелемент потрапляє синусоїдальна зміна світлових потоків від випромінювача і лампи розжарювання. В результаті до електронного підсилювача 7 подається змінна напруга, амплітуда якої залежить від різниці фотострумів, що виникають при освітленні фотоелемента випромінювачем і лампою розжарювання. Внаслідок цього при вимірюванні температури струм у колі лампи розжарювання змінюється автоматично до величини, яка забезпечує однакову освітленість фотоелемента під обох джерел світла. Спад напруги, спричинений цим струмом на сталому опорі, вимірюється

електронним потенціометром і є мірилом температури випромінювача. Правильне наведення пірометра на випромінювач здійснюють за допомогою окуляра 6 і відбивача 2. Фотоелектричний пірометр дає змогу вимірювати температуру на відстані 1 м і більше від випромінювача, причому діаметр візованої поверхні не повинен бути меншим цієї відстані. Клас точності приладу 1.

Вимірювання температури радіаційними пірометрами ґрунтується на використанні теплового випромінювання нагрітого тіла. Уловлювані пірометром теплові промені концентруються за допомогою збірної лінзи (рефракторний тип приладу) на термочутливому елементі, який складається з невеликої термобатарей (ряду послідовно сполучених термопар). Променистий потік спрямовується лінзою на робочі кінці термобатарей, за ступенем нагрівання яких судять про температуру вимірювача. Як вторинний прилад, що приєднується до термобатарей, застосовують пірометричний мілівольтметр або потенціометр.

Радіаційний пірометр має ряд переваг порівняно з оптичним, які полягають в об'єктивності методу вимірювання, відсутності стороннього джерела живлення і можливості застосування дистанційного передавання на вторинні показуючі і самопишучі прилади.

Завдання

1. Які основні фізичні властивості покладені в основу роботи приладів для вимірювання температури?
2. Чим визначаються межі шкали вимірювання приладів?
3. Принцип роботи термометрів розширення, манометричних термометрів?
4. Принцип роботи термометрів опору та термоелектричних термометрів?
5. Безконтактний принцип вимірювання температури.

Розділ 2. ТИСК

Тема 7. Вимірювання тиску

7.1. Види тиску. Одиниці та методи вимірювання тиску

Тиском рідини, газу або пари називають силу, що діє рівномірно на площу, а одиницею тиску – одиницю сили, що діє рівномірно на одиницю площі. Для вимірювання тиску застосовується одиниця Па (паскаль), яка є похідною одиницею тиску системи СІ. Одиниця тиску – паскаль (Па) рівна тиску на площу 1 м^2 сили в 1 Н , де Н (ньютон) – сила, що повідомляє масі в 1 кг прискорення в 1 м/с^2 .

В даний час майже всі прилади для вимірювання тиску градууються в одиницях кгс/см^2 і кгс/м^2 . Позасистемна одиниця тиску (1 кгс/см^2) рівна тиску на площу 1 см^2 сили в 1 кгс , де 1 кгс – сила, що повідомляє масі в 1 кг нормальне прискорення вільного падіння в $9,81 \text{ м/с}^2$. Одиниця тиску системи МКГСС (метр, сила кілограма, секунда) рівна 1 кгс/м^2 . У рідинних приладах з водяним або ртутним заповненням скляних трубок вимірювання тиску проводиться в міліметрах водяного або ртутного стовпа (мм вод. ст. або мм рт. ст.). Значення, заміряні в цих одиницях, звичайно відносять до нормального прискорення вільного падіння тіл і нормальної температури, рівної для води 4 і ртуть 0°C .

Неважко встановити, що тиск в 1 мм вод. ст. рівно тиску в 1 кгс/м^2 . Позасистемна одиниця тиску – бар, рівна тиску $1 \cdot 10^5 \text{ Па}$ або $1,01972 \text{ кгс/см}^2$. Ця одиниця зручна в тому відношенні, що числа, що виражають тиск в барах і кгс/см^2 , відрізняються між собою не більше ніж на 2% . Зважаючи на те що вказані одиниці – кгс/см^2 , мм вод. ст., мм рт. ст. і бар – в даний час мають розповсюдження, вони тимчасово допускаються до застосування разом з одиницями системи СІ. У англійській вимірювальній системі одиницею тиску є 1 англ. фунт-сила ($4,45 \text{ Н}$) на 1 кв. дюйм ($0,645 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$), рівна 6890 Па . Для наближеного перерахунку тиску, вираженого в кгс/см^2 і кгс/м^2 , в тиск, виражений відповідно в МПа і Па, необхідно в першому випадку числове значення зменшити в 10 разів, а в другому – збільшити в 10 разів. Так, наприклад, тиск в 100 кгс/см^2 відповідає тиску в 10 МПа , а тиск в 100 кгс/м^2 – тиску в 1000 Па .

При вимірюванні розрізняють: атмосферний, надлишковий, вакуумметричний і абсолютний тиск. Атмосферний (барометричний) тиск P_6 створюється масою повітряного стовпа земної атмосфери. Воно має змінне значення, залежне від висоти місцевості над рівнем моря, географічної широти і метеорологічних умов (погода). Надлишковий тиск p виражає перевищення тиску середовища над атмосферним тиском. Вакуумметричний тиск p середовища характеризує тиск (вакуум), недостатній до атмосферного тиску. Іноді вакуумметричний тиск виражають у вигляді відносної величини V у відсотках атмосферного тиску:

$$V = \frac{P_6}{P_6} \cdot 100. \quad (2.1)$$

Абсолютний тиск p_a середовища може бути більше або менше атмосферного. У першому випадку абсолютний тиск рівний сумі атмосферного і надмірного тиску:

$$P_a = P_6 + P_a. \quad (2.2)$$

У другому випадку абсолютний тиск менше атмосферного на величину вакуумметричного тиску, тобто

$$P_a = P_6 - P_6. \quad (2.3)$$

У окремому випадку, коли p або p^e рівне нулю, абсолютний тиск рівний атмосферному. Повний тиск рухомого середовища p^H складається із статичного p^c і динамічного p^d тиску, тобто

$$P_H = P_c + P_d \quad (2.4)$$

Таблиця 2.1

Одиниця тиску	Фіз. атм.	кГ/см ²	мм.рт. ст.	м.вод. ст.	гпз або б	Англ. фунтів на кв. дюйм
1 Фіз. атм.....	—	1,0333	760,0	10,333	0,0132	14,696
1 кГ/см ²	0,9678	—	735,56	10,0	0,9806	14,223
1 ммрт.ст.....	0,00131	0,00136	—	0,0136	0,0013	0,01931
1 мвод.ст.....	0,0968	0,1	73,556	—	3	1,4223
1 гпз або 1 б.....	0,9869	1,0197	750,06	0,197	0,098	14,504
1 англ. фунтів на кв. дюйм.....	0,0680	0,0703	51,715	0,703	0,0689	—

Статичний тиск p^o потоку може бути надлишковим або вакуумметричним, в окремому випадку він може бути рівним атмосферному.

У метеорології застосовують у 1000 раз більшу одиницю тиску — мілібар (мб).

В англійських мірах одиницею тиску є 1, англійський фунт (0,4536 кг) на квадратний дюйм (6,452 см²).

Для переведення практично застосовуваних одиниць тиску в технічні атмосфери (кГ/см²) користуються рівністю

$$p \text{ кГ/см}^2 = 1,0333 \quad (p \text{ фіз.атм.}) = 0,00136 \quad (h \text{ мм рт.ст.}) = 0,1 \quad (H \text{ м вод.ст.}) = 0,0703.$$

Співвідношення між різними одиницями тиску подано в табл. 2.1.

Тиск, поданий у кГ/см² (технічні атмосфери), умовно позначають через p і тиск у кГ/м² (мм вод. ст.) — через P . Обидві ці розмірності тиску зв'язані рівністю

$$P = p \cdot 10^4. \quad (2.5)$$

Як правило, барометричний тиск і вакуум вимірюють у мм рт. ст., надлишковий тиск — у кГ/см² і мм вод. ст. і розрідження — у мм вод. ст. Абсолютний тиск найчастіше вимірюють у технічних атмосферах.

Коли тиск подано, у технічних атмосферах, одиницю абсолютного тиску позначають скорочено ата, а надлишковий — ати.

Позначення кГ/см² також звичайно стосується надлишкового тиску.

Повний тиск рухомого середовища складається з статичного тиску і динамічного тиску (швидкісного напору), тобто

$$P_H = P_{ст} + P_d. \quad (2.6)$$

Динамічний тиск, який звичайно вимірюють у кГ/м² (мм вод. ст.), визначають для рідини, а також для газу і пари при помірних швидкостях за формулою

$$P_d = \frac{\omega^2 \gamma}{2g}. \quad (2.7)$$

- де p_0 — динамічний тиск потоку, кг/м^2 ;
 ω — швидкість руху речовини, м/сек ;
 γ — питома вага речовини, кг/м^3 ;
 g — нормальне прискорення сили тяжіння, м/сек^2 .

Ці способи вимірювання тиску і розрідження ґрунтуються переважно на зрівноважуванні діючих зусиль за допомогою стовпа рідини або за рахунок пружної деформації різного виду пружин.

Залежно від призначення прилади для вимірювання тиску і розрідження поділяють на такі основні групи:

- 1) манометри — для вимірювання надмірного тиску;
- 2) тяго – і напороміри — для вимірювання невеликого розрідження і невеликого надлишкового тиску;
- 3) вакуумміри — для вимірювання значного розрідження (вакууму);
- 4) мановакуумміри — для вимірювання надмірного тиску і розрідження;
- 5) барометри — для вимірювання атмосферного тиску;
- 6) баровакуумміри — для вимірювання абсолютного тиску;
- 7) диференціальні манометри — для вимірювання різниці тисків.

Диференціальні манометри, широко застосовуються як вторинні прилади дросельних витратомірів.

Завдання

1. Як Ви розумієте поняття тиску? Чим воно обґрунтовується і на яких фізичних принципах воно осноїшне?
2. Види тисків, їх взаємозв'язок. Фізична суть цих понять та їх зв'язок з будовою приладів.
3. Різновиди тисків та приладів для вимірювання тиску.
4. Які Ви знаєте одиниці вимірювання тиску, та співвідношення між ними?
5. Принципи роботи, будова та призначення диференціального манометра.

Тема 8. Манометри

8.1. Вимірювання невеликих тисків рідинними скляними манометрами

Існуючі типи манометрів за принципом дії поділяють на такі групи:

- 1) рідинні скляні;
- 2) пружинні;
- 3) поршневі;
- 4) електричні.

У рідинних скляних манометрах величиною, яка характеризує вимірюваний тиск, є висота стовпа робочої рідини у скляній трубці; у пружинних — ступінь пружної деформації вигину різного виду пружин; у поршневих — переміщення поршня з зовнішнім,

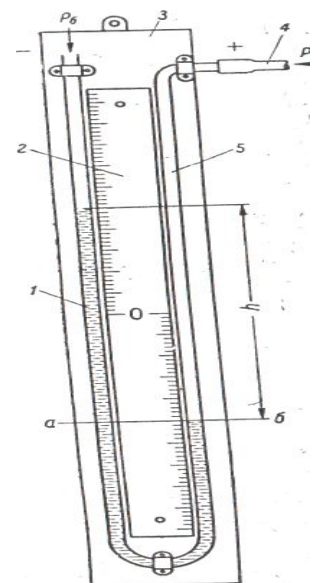


Рис. 2.1. Двотрубний рідинний манометр: 1 і 5 — скляна вимірювальна трубка; 2 — шкала; 3 — дошка; 4 — з'єднувальна трубка

протитиском; (каліброваним тягарцем), що діє на нього, і електричних — зміна під дією тиску, деяких електричних величин. Дія електричних манометрів ґрунтується на залежності від тиску зміни електричного опору провідників (манганіновий манометр опору), виникнення електростатичних зарядів на поверхні кристалічних мінералів (п'єзоелектричний манометр із застосуванням кристалів кварцу, турмаліну або сегнетової солі), зміни електричної ємності (ємнісний манометр) і т.д. Електричні манометри, які застосовують переважно при вимірюванні високих, надвисоких і швидкозмінних тисків, є приладами спеціального призначення і тому їх тут не розглядатимемо.

Рідинні скляні манометри бувають двох видів: двотрубні (U-подібні) та однотрубні (чашкові). Ці досить точні і водночас дуже прості прилади призначені для вимірювання невеликих надмірних тисків, які не перевищують — у середньому 2 кГ/см^2 . Рідинні скляні манометри застосовують переважно при контрольних вимірюваннях, а також при науково-дослідницьких і налагоджувальних роботах. Робочою (вимірною) рідиною в них найчастіше є ртуть або вода і — рідше — спирт. Найчастіше застосовують двотрубний рідинний манометр (рис. 2.1), який складається з скляних вимірювальних трубок 1 і 5, сполучених унизу і закріплених на вертикальній дошці 3. Між трубками міститься міліметрова шкала 2 з нульовою позначкою посередині. Вимірювальні трубки наповнюють робочою рідиною до нульової позначки шкали. Трубку 5 металевою або гумовою трубкою 4 сполучають з вимірюваним середовищем, яке перебуває під абсолютним тиском p_a , а трубку 1 — з атмосферою, що має барометричний тиск p_b . Звичайно, трубку 5, сполучену з середовищем більшого тиску, позначають знаком “+” (плюсова трубка), а трубку 1, сполучену з середовищем меншого тиску, знаком “-” (мінусова трубка).

При включенні манометра в роботу вимірюваний тиск зрівноважується висотою стовпа робочої рідини h , яку відлічують по шкалі приладу. Оскільки, рівень рідини в трубці 5 знизиться, а в трубці 1 відповідно, збільшиться, то загальна висота стовпа h дорівнюватиме сумі відліків, зроблених по шкалі вище і нижче від нульової позначки.

Речовини, які застосовують як робочу рідину, з їх питомою вагою залежно від температури подано в табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Назва рідини	Хімічна формула	Питома вага γ , кг/м^3 , при температурі, $^{\circ}\text{C}$					
		10	15	20	25	30	35
Етиловий спирт	C_2H_5OH	817	813	809	804	800	796
Вода.....	H_2O	1000	999	998	997	996	994
Чотирехлористий вуглець.....	CCl_4	1614	1604	1594	1585	1575	1566
Бромфорт.....	$CNBr_3$	2920	2904	2890	2878	2868	-
Ртуть.....	Hg	13570	13560	13550	13530	13520	13510

Якщо робочою рідиною, є вода або спирт, то покази відлічують по нижній точці меніска, а якщо ртуть — то по верхній точці.

Отже, надлишковий тиск вимірюваного середовища дорівнює добутку висоти стовпа робочої рідини в манометрі на питому вагу цієї рідини при даній температурі і не залежить від площі поперечного перерізу вимірювальних трубок. Крім того, для обмеження висоти рідинного манометра, яка за умовами його механічної міцності і зручності відліку не повинна перевищувати 1,5 м, при вимірюванні порівняно високих надмірних тисків (до 2 кг/см^2) треба застосовувати робочу рідину з більшою питомою вагою (ртуть), а при незначних тисках — з малою питомою вагою (воду, спирт і т. д.).

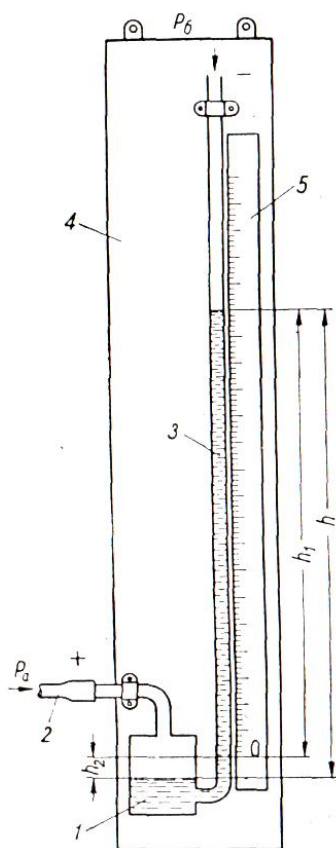


Рис. 2.2. Однотрубний рідинний манометр:
1 – металева посудина;
2 – з'єднувальна трубка;
3 – склайна вимірювальна трубка; 4 – дошка;
5 – шкала

Промисловість випускає двотрубні рідинні манометри типу ПР на межі вимірювань 0 – 100, 300 і 600 мм стовпа робочої рідини.

При вимірюванні тиску за допомогою двотрубного рідинного манометра дуже незручно те, що рівні рідини треба відлічувати одночасно, в обох вимірювальних трубках. При значних коливаннях (пульсації) вимірюваного тиску точно відлічувати покази приладу важко. У таких випадках, щоб зменшити амплітуду коливань рівнів рідини, іноді переріз, з'єднувальної лінії частково звужують (дроселюють). На рис. 2.2 подано схему однотрубного рідинного манометра, будова якого відрізняється від двотрубного тим, що замість другої вимірювальної трубки він має широку металеву посудину (чашку) 1. До нижньої частини посудини приєднана склайна вимірювальна трубка 3, поруч з якою закріплена міліметрова шкала 5. Прилад змонтовано на дерев'яній дошці 4. Посудина манометра сполучена з вимірюваним середовищем за допомогою трубки 2. Вільний кінець вимірювальної трубки, сполучений з атмосферою. Посудину і вимірювальну трубку наповнюють робочою рідиною до нульової, поділки шкали.

Під тиском вимірюваного середовища, який становить

$$p = p_a - p_b,$$

(2.8)

рівень робочої рідини в склайній трубці піднімається на висоту h_1 , а в широкій посудині опускається на висоту h_2 . Загальна висота стовпа рідини h , яка зрівноважує вимірюваний тиск, дорівнюватиме

$$h = h_1 + h_2 \quad (2.9)$$

Оскільки об'єм рідини, витісненої з посудини, і об'єм рідини, яка ввійшла у вимірювальну трубку, однакові, то, позначивши через f площу перерізу трубки і через F — площу перерізу посудини, дістанемо:

$$h_1 f = h_2 F \quad (2.10)$$

Розв'язуючи сумісно рівняння (2.9) і (2.10), знаходимо:

$$h = h_1 \left(1 + \frac{f}{F}\right) \quad (2.11)$$

або

$$h = h_1 \left(1 + \frac{d^2}{D^2}\right), \quad (2.12)$$

де d і D — внутрішні діаметри вимірювальної трубки і широкої посудини манометра. З рівняння (2.12) випливає, що загальна висота стовпа робочої рідини буде більша від вимірної по шкалі приладу на величину $h_1 \frac{d^2}{D^2}$.

Однак, якщо відношення $\frac{d^2}{D^2} \leq \frac{1}{400}$, то для більшості практичних випадків вимірювань зниженням рівня рідини в посудині, тобто висотою h_2 , можна знехтувати. Тоді матимемо:

$$h = h_1 \quad (2.13)$$

або

$$p = h_1 \gamma. \quad (2.14)$$

При точних вимірюваннях h визначають за формулою (2.12) або по шкалі проградуєваної з урахуванням величини $h_1 \frac{d^2}{D^2}$.

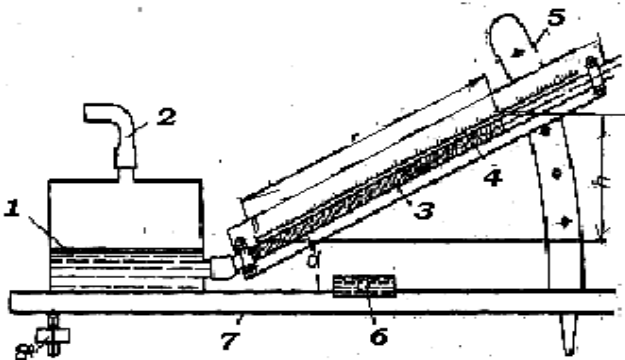


Рис. 2.3. Схема мікроманометра: 1 – широка посудина; 2 – з'єднувальна трубка; 3 – скляна вимірювальна трубка; 4 – шкала; 5 – стояк; 6 – рівень; 7 – підставка; 8 – гвинтова ніжка

Кожна поділка такої шкали, яка має ціну 1 мм, буде фактично меншою від цієї величини.

Точність однострубного манометра нижча двострубного, зате істотною перевагою першого є можливість робити тільки один відлік.

Обидві розглянуті конструкції рідинних манометрів непридатні для вимірювання невеликих тисків порядку кількох міліметрів або десятків міліметрів

водяного стовпа, оскільки при цьому похибка показів стає дуже значною. Так, наприклад, при вимірюванні тиску, який дорівнює 10 мм вод. ст., і можливій похибці при відліку показів неозброєним оком у 1 мм відносна похибка становитиме 10%, що недопустимо.

Для точних вимірювань невеликих тисків газу, (повітря) застосовують однострубні рідинні манометри з похилою вимірювальною трубкою, які називаються мікроманометрами. Схему мікроманометра зображено на рис. 2.3.

Мікроманометр має широку посудину 1 сполучену з нею одним кінцем похилу вимірювальну трубку 3 з міліметровою шкалою 4, розміщену під кутом α до горизонталі. З вимірюваним середовищем прилад сполучено трубкою 2.

Застосування похилої скляної трубки дає змогу, зменшуючи кут α , збільшувати довжину стовпа рідини n , відлічувану по шкалі приладу, при одній і тій самій дійсній висоті стовпа h , що підвищує точність відліку.

У мікроманометрах діаметр широкої посудини, досить великий, тому при вимірюваннях зниженням рівня в цій посудині нехтують. Дійсну висоту стовпа робочої рідини визначають за формули

$$h = n \sin a, \quad (2.15)$$

де n — довжина стовпа рідини, відлічувана по шкалі приладу, мм.

Мінімальний кут нахилу трубки a беруть 8-10°, оскільки при менших кутах нахилу точність вимірювання різко знижується.

Надлишковий тиск за допомогою мікроманометра визначають за формулою

$$p = n \gamma \sin a. \quad (2.16)$$

Робочою рідиною в мікроманометрі звичайно бувають спирт або дистильована вода. Шкалу приладів, часто градуують безпосередньо в мм вод. ст., враховуючи питому вагу γ застосовуваної робочої рідини. Якщо при вимірюванні питома вага цієї рідини під тиском температури зміниться або мікроманометр буде заповнений іншою робочою рідиною, то до показів приладу вводять поправку на нове значення питомої ваги γ згідно з виразом

$$h = h' \frac{\gamma'}{\gamma}, \quad (2.17)$$

де h і h' — дійсний і виміряний тиски середовища, мм вод. ст.

На рис. 2.4 зображено загальний вигляд мікроманометра типу ММН з похилою трубкою. Прилад складається з широкої сталевий циліндричної посудини 8, яка сполучена гумовою трубкою 1 з вимірювальною скляною трубкою 7. Трубка 7 закріплена на кронштейні 14, який повертається на шарнірній осі. По довжині вимірювальної трубки нанесено у вигляді насічки міліметрову калу завдовжки 250 мм. Вільний кінець скляної трубки 7 гумовою трубкою 5 сполучено з триходовим краном 4, який призначений для включення приладу в роботу і перевірки нульової позначки шкали. Рівень робочої рідини в трубці на нульову позначку встановлюють гвинтом коректора нуля 6, який переміщує всередині посудини поршень 13, частково занурений у робочу рідину. З вимірюваним середовищем і атмосферою прилад сполучають за допомогою штуцерів 2 і 3.

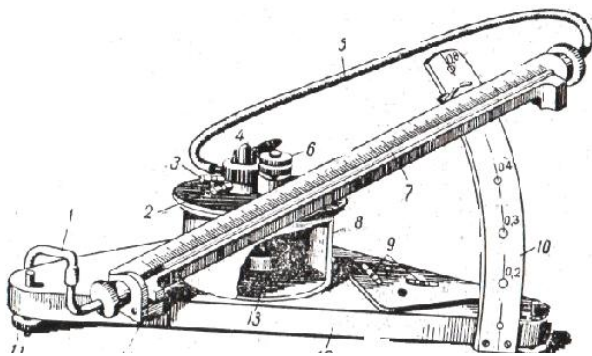


Рис. 2.4. Мікроманометр типу ММН:

- 1 – гумова трубка; 2 і 3 – штуцери;
- 4 – триходовий кран; 5 – гумова трубка;
- 6 – коректор нуля; 7 – вимірювальна трубка;
- 8 – циліндрична посудина; 9 – рівні;
- 10 – стояк; 11 – гвинтові ніжки; 12 – плита;
- 13 – поршень; 14 – кронштейн

За допомогою дугоподібного стояка 10 вимірювальну трубку можна встановити, з п'ятьма різними кутами нахилу, позначеними на стояку біля отворів для закріплення трубки цифрами 0,2; 0,3; 0,4; 0,6; 0,8. Ці цифри відповідають значенням і сталої приладу K , яка дорівнює добутку $\gamma \sin a$, або, що те саме, ціні поділки його шкали у мм вод. ст. На цю величину відповідно множать покази, відлічені в міліметрах по шкалі мікроманометра, щоб перевести їх у мм вод. ст. Усі частини приладу змонтовані на металевій плиті

12, яка має гвинтові ніжки 11 і два рівні 9. Робочою рідиною для мікроманометра є етиловий спирт з питомою вагою $0,81 \text{ Г/см}^3$ при температурі 20°C . Верхня межа показів приладу залежно від кута нахилу трубки становить 50, 75, 100, 150 і 200 мм вод. ст. Відношення площ трубки, і посудини дорівнює 1:500.

Мікроманометри типу ММН мають клас точності 0,5 і 1. Прилади випускають на робочий тиск вимірюваного середовища до 1000 мм вод. ст.

Загальні недоліки, які властиві рідинним манометрам, такі: відсутність дистанційного передавання показів, незначна межа і вимірювань, недостатня наочність показів і ламкість приладів.

8.2. Поправки до показів рідинних скляних манометрів

На точність вимірювання тиску за допомогою рідинних скляних манометрів впливають правильність установлення приладів, а також правильність відліку висоти стовпа і визначення питомої ваги робочої рідини. Щоб запобігти відхиленням від правильних результатів вимірювання, рідинні манометри закріплюють нерухомо у вертикальному положенні (за допомогою виска) в місцях, де немає вібрації і надмірного нагрівання. Коли манометр встановлений вище або нижче від точки відбору тиску, а підвідна з'єднувальна трубка і простір над робочою рідиною в плюсовій вимірювальній трубці або посудині заповнені іншою рідиною з питомою вагою , наприклад, водою (при вимірюванні тиску води або пари, коли в з'єднувальній лінії є конденсат), до показів приладу треба вводити поправку, яка враховує тиск висоти стовпа цієї рідини.

Завдання

1. Яким чином і чим характеризується вимірюваний тиск?
2. Будова та основні відмінності однотрубного та двотрубного манометрів?
3. Будова, призначення та принцип роботи мікроманометрів?
4. Чому при вимірюванні рідинними приладами обмежується величина вимірюваного тиску? Який найбільший тиск можна виміряти рідинним вимірювальним приладом?
5. Яким чином впливає на результат вимірювання кут нахилу похилої трубки мікроманометра?

Тема 9. Вимірювання тиску приладами з деформуючими пристроями

9.1. Пружинні манометри

Для вимірювань надлишкового тиску рідини, газу і пари широко застосовують пружинні манометри, які відзначаються досить простою і надійною конструкцією, наочністю показів і невеликими розмірами. Істотні переваги цих приладів перед іншими такі: простота будови, велика межа вимірювань, можливість застосовувати дистанційне передавання і автоматичне записування показів.

Принцип дії, пружинних манометрів ґрунтується на використанні пружної деформації спеціальних пружин, яка виникає під дією вимірюваного тиску. Величина цієї деформації передається показуючій або самопишучій частині приладу, проградуйованого в одиницях тиску.

За родом застосовуваних пружин манометри поділяють на трубчасті і мембранні.

Взагалі пружинні манометри поділяються на такі чотири групи:

- з одновитковою трубчастою пружиною;
- з багатовитковою (гвинтовою) трубчастою пружиною;
- з плоскою гофрованою мембраною;
- з гармонійовою мембраною (сильфоном).

Основними видами приладів для вимірювань надмірного тиску є манометри з трубчастими пружинами, які відіграють дуже велику роль у технічних вимірюваннях. Ці пружини являють собою трубку з поперечним перерізом у вигляді еліпса або сплюснутого кола. Під дією внутрішнього тиску заздалегідь зігнута трубчаста пружина розкручується внаслідок зміни її перерізу, який намагається набрати форми кола.

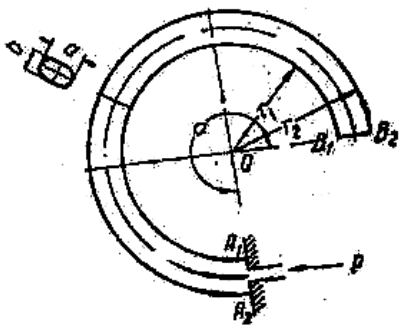


Рис. 2.5. Схема одновиткової трубчастої пружини

На рис. 2.5 зображено схему одновиткової трубчастої пружини. Зігнута по дузі кола, трубка з перерізом у вигляді еліпса, велика вісь якого розміщена перпендикулярно до площини рисунка, одним кінцем, сполученим з вимірюваним середовищем, закріплена нерухомо. Другий вільний кінець трубки наглухо запаятий. Переміщення вільного кінця одновиткової трубчастої пружини під дією тиску перебуває в прямій залежності від величини цього тиску, внаслідок чого шкала манометра рівномірна.

Перехід за границю, яка називається границею пропорціональності, приводить до швидкого переміщення кінця пружини h порівняно із зростанням діючого тиску p , що спричинює залишкову деформацію пружини, внаслідок чого манометр стає непридатним для вимірювань.

Границя пропорціональності трубчастої пружини є однією з найважливіших її характеристик і залежить в основному від співвідношення осей перерізу трубки, товщини її стінок, механічних властивостей матеріалу і величини радіуса закруглення пружини. Підвищення границі пропорціональності пружини зв'язане із зменшенням її чутливості, яка характеризується величиною переміщення вільного кінця трубки на одиницю тиску. Максимальний тиск (верхня межа вимірювання), при якому допустима робота трубчастої пружини манометра, становить звичайно не більш як 50% границі її пропорціональності.

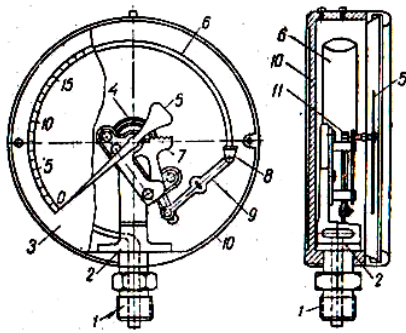


Рис. 2.6. Манометр з секторним передавальним механізмом: 1 – штуцер; 2 – тримач; 3 – шкала; 4 – спіральна пружинка (волосок); 5 – стрілка; 6 – трубчаста пружина; 7 – зубчастий сектор; 8 – пробка з шарнірною віссю; 9 – хомутик; 10 – корпус; 11 – шестерня

Відношення осей перерізу пружини вибирають найчастіше в межах 2-3, тобто в інтервалі найбільшого зростання границі пропорціональності. Кут закручування пружини дорівнює в середньому 270° . Для тисків до 50 кг/см^2 трубчасті пружини манометрів виготовляють звичайно з мідних сплавів (латуні, берилійової і фосфористої бронзи тощо), а вище – з сталі. На точність вимірювань пружинними манометрами дуже впливає пружна післядія трубки, яка являє собою різницю між переміщеннями її кінця при однаковому тиску: у випадку поступового підвищення (прямий хід) і зниження (зворотний хід) тиску. Ця різниця зникає, тобто переміщення кінця трубки збігається через деякий час (кілька хвилин або годин), який залежить від механічних властивостей трубки. Пружна післядія є одним з основних недоліків пружинних манометрів, оскільки вона зв'язана з несталістю показів останніх. Вона в значній мірі визначає собою, клас точності приладу. Максимальне переміщення вільного кінця одновиткової трубчастої пружини в манометрах дуже мале (5-8 мм), тому, щоб підвищити чутливість приладу і збільшити наочність його показів, це переміщення збільшують за допомогою секторного (зубчастого) передавального механізму.

Будова показуючого манометра з одновитковою трубчастою пружиною зрозуміла з рис. 2.6. Трубчаста пружина 6 еліптичного перерізу одним кінцем жорстко з'єднана з тримачем 2, закріпленим гвинтами в круглому корпусі 10 манометра. Тримач несе на собі штуцер 1 з різьбою, призначений для сполучення приладу з вимірюваним середовищем. Вільний кінець пружини закритий пробкою 8 з шарнірною віссю і запаяний. За допомогою хомутика 9 він зв'язаний з секторним передавальним механізмом, який складається з латунного зубчастого сектора 7 зчепленого з шестірнею (трибком) 11, що сидить нерухомо на осі разом з вказівною стрілкою 5 приладу. Поряд з трибком розміщена плоска спіральна пружинка (волоска) 4; один кінець її з'єднаний з трибком, а другий закріплений нерухомо на стояку, що підтримує передавальний механізм. Пружинка завжди притискує трибок до однієї сторони зубців сектора, внаслідок чого при зміні тиску у зворотний бік мертвого ходу в зубчастому зачепленні секторного механізму не буває.

Манометри з одновитковою трубчастою пружиною виготовляють переважно показуючими, оскільки зусилля, яке розвиває пружина, звичайно буває не досить, щоб забезпечити надійну роботу самопишучого пристрою.

Ці манометри випускають трьох видів: технічні (робочі) типів М і ЕКМ, контрольні — типу МКД і зразкові — типу ОМ.

Технічні показуючі манометри типу М мають клас точності 1,5 і 2,5. Прилади виготовляють з діаметром корпусу 100 (М-100), 150 (М-150), 200 (М-200) і 250 (М-250) мм. Найбільш поширений розмір діаметра корпусу — 150 мм. Для зручності монтажу корпус технічних манометрів виготовляють з переднім або заднім бортом (для заглибленого і виступаючого монтажу на щиті) і без борта.

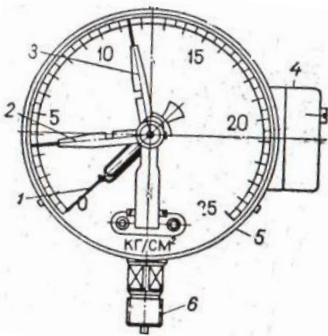


Рис. 2.7.

Електроконтактний пружинний манометр типу ЕКМ-1:

- 1 – вказівна стрілка; 2 і 3 – граничні стрілки;
- 4 – коробка з затискачами;
- 5 – корпус; 6 – штуцер

Для вимірювання і сигналізації (регулювання) тиску в промислових установках застосовують технічні двопозиційні електроконтактні манометри типу ЕКМ з одновитковою трубчастою пружиною. Прилади мають будову, яка схожа з будовою електроконтактних манометричних термометрів типу ЕКТ.

Манометри випускають двох видів: типу ЕКМ-1 з трубчастою пружиною з латуні Л-62 на верхню межу вимірювань 1-100 кг/см² і типу ЕКМ-2 з пружиною з легованої сталі на 160-1600 кг/см². Загальний вигляд електроконтактного пружинного манометра типу, ЕКМ-1 зображено на рис. 2.7. Прилад має стрілку-показчик 1 дві рухомі стрілки (мінімальну і максимальну) граничних електроконтактів 2 і 3, які встановлюють від руки за допомогою ключа на задані

значення тисків, і коробку 4 з затискачами для приєднання до приладу зовнішнього кола сигналізації.

Механізм манометра вкладений у виготовлений з алюмінійового сплава круглий корпус 5 діаметром 150 мм. Штуцер 6 з різьбою сполучає прилад з вимірюваним середовищем.

При досягненні будь-якого із заданих граничних тисків контакт, в'язаний з стрілкою-показчиком, дотикається до контакту, розміщеного на відповідній граничній стрілці, і замикає електричне коло сигналізації тиску.

Манометри типу ЕКМ належать до класу точності 2,5 і придатні для вимірювань тисків, які плавно змінюються. Електроконтактний пристрій приладу живиться від сітки змінного струму напругою 220 В. Допустима розривна потужність контактів 10 ва при максимальній величині струму 1 а.

Контрольні манометри типу МКД – переносні прилади, призначені для періодичних, більш точних вимірювань тиску, а також для перевірки технічних манометрів на робочому місці. Щоб підвищити надійність показів, пружини

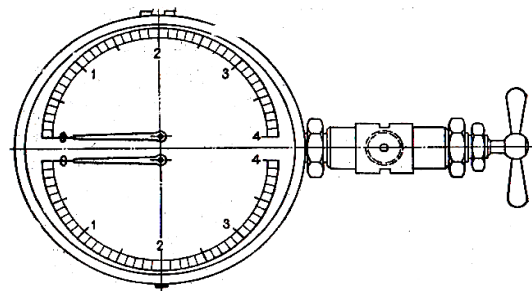


Рис. 2.8. Контрольний манометр типу МКД-1

контрольних манометрів виготовляють з високоякісних матеріалів. Ці манометри (рис. 2.8) випускають здвоєними, тобто з двома незалежними вимірювальними системами, розміщеними в одному корпусі. Прилад має дві симетрично встановлені одновиткові трубчасті пружини з кутом закручування 180° кожна, впаяні в спільний тримач і приєднані до одного штуцера, два секторні передавальні механізми, дві стрілки і дві дугові шкали. При справному стані такого манометра покази обох його стрілок повинні збігатись (з урахуванням величини основної похибки кожної системи). Якщо вони не збігаються, то манометр непридатний для вимірювань.

Для паралельного підключення до технічного манометра під час його перевірки контрольний манометр для тиску до 100 кг/см^2 має невеликий голчастий вентиль з штуцером з різьбою. За допомогою цього штуцера і перехідної муфти з фланцем діаметром 30 мм та струбцини, які додаються до

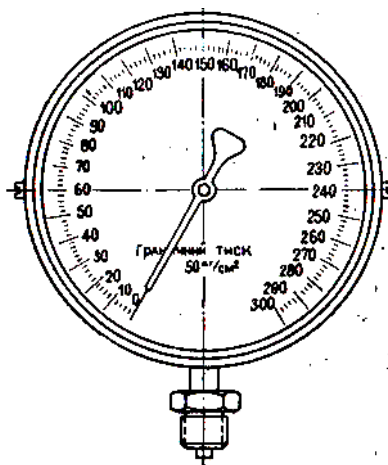


Рис. 2.9. Зразковий манометр типу ОМ

приладу, манометр приєднують до фланця триходового крана робочого манометра. Контрольні манометри для тисків понад 100 кг/см^2 мають для встановлення звичайний штуцер з різьбою. За точністю контрольні манометри типу МКД належать до класу 1. Верхня межа вимірювань цих приладів становить 0,6-60 (тип МКД-1) і 100-1600 кг/см^2 (тип МКД). Корпус манометрів виготовляють з алюмінієвого сплаву; він має зовнішній діаметр 130 і 150 мм. Зразкові пружинні манометри типу ОМ (рис. 2.9) застосовують для перевірки технічних і контрольних манометрів, а також при вимірюванні тисків у лабораторних умовах. Прилади мають

трубчасту пружину з латуні для невеликих тисків і з сталі для високих тисків. Пружина і секторний передавальний механізм розміщені в металевому нікельованому корпусі діаметром 180 мм. У цих манометрах застосовують пружини високої якості і старанно виконані передавальні механізми. Прилади випускають з верхньою межею вимірювань 1-60 (тип ОМН) і 100-1600 кг/см^2 (тип ОМВ). Шкала зразкового манометра утворює кут 300° і незалежно від верхньої межі вимірювань для всіх манометрів має 300 рівномірних поділок (кутових градусів) з оцифровкою через кожні 10 поділок. Для переведення показів приладу з кутових градусів у кг/см^2 зразкові манометри мають перевідну таблицю (свідоцтво) або графік. Граничний тиск зазначають на шкалі приладу. Зразкові манометри типу ОМ мають основну похибку вимірювання $\pm 0,35\%$. Застосовувати їх можна в межах усієї шкали при температурі навколишнього повітря $15-25^\circ\text{C}$.

Манометри з багатовитковою трубчастою пружиною випускають переважно як технічні показуючі і самопишучі прилади. Переріз цієї пружини являє собою сплюснуте коло з невеликим внутрішнім просвітом ($\approx 0,3 \text{ мм}$).

Пружина має невеликі розміри: діаметр її становить близько 30 мм, кількість витків — 6-9. По суті багатовиткова трубчаста пружина складається з ряду послідовно сполучених одновиткових пружин, внаслідок чого вільний кінець має порівняно велике переміщення (до 15 мм) і значне переставне

зусилля, що дає змогу здійснити автоматичне записування і дистанційне передавання показів. Кут розкручування багатовиткової пружини становить приблизно 50-600, що дає можливість застосовувати найпростіший важільний передавальний механізм. Принципову схему самопишучого манометра типу МГ з багатовитковою трубчастою пружиною зображено на рис. 2.10. Будова цього приладу схожа на конструкцію самопишучого манометричного термометра типу ТГ (рис. 1.21). Трубчаста гвинтова пружина 3, яка одним кінцем нерухомо закріплена на кронштейні 2, з'єднана з капілярною підвідною трубкою 1. Вільний кінець пружини запаяний і за допомогою важеля 4 з'єднаний з віссю 5. При переміщенні вільного кінця пружини під дією

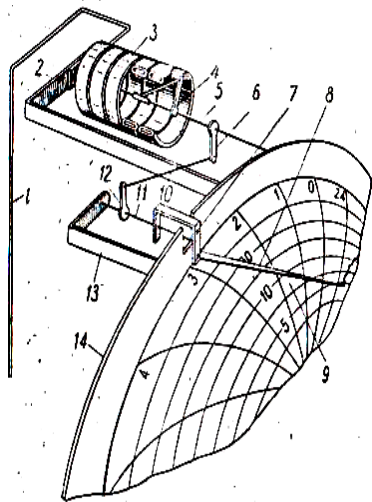


Рис. 2.10. Схема самопишучого манометра типу МГ:

1 – капіляр; 2 і 13 – кронштейни; 3 – гвинтова пружина; 4, 6 і 12 – важелі; 5 і 11 – осі; 7 – місток; 8 – дискова діаграма; 9 – важіль пера; 10 – тяга; 14 – нерухомий сектор

вимірюваного тиску вісь 5 повертається і за допомогою важелів 6, 12 і тяги 10 обертає в протилежний бік вісь 11 з закріпленим на ній містком 7, який несе важіль з пером 9. Покази записують на дисковій діаграмі 8, яка приводиться в рух від годинникового механізму або синхронного двигуна. Кронштейни 2 і 13, які підтримують трубчасту пружину і передавальний механізм з пером, закріплені на нерухомому секторі 14. Діаметр корпуса приладу 367 мм і дискової діаграми 270 мм. Протягом доби діаграма робить 1 оберт. Корпус манометра пристосований для виступаючого і заглибленого монтажу. Клас точності приладів з верхньою межею шкали до 25 кг/см^2 дорівнює 1,5, а понад – 1. Манометри виготовляють з верхньою межею показів 6-160 кг/см^2 .

Невеликі розміри багатовиткових трубчастих пружин манометрів типу МГ дають змогу помістити в одному корпусі дві самостійні манометричні системи, які записують покази на спільній діаграмі. Крім того, частину цих приладів, так само як і манометричних термометрів типу ТГ, виконують з трипозиційним електроконтактним пристроєм для сигналізації (регулювання) величини контролюваного тиску. Електроконтактний пристрій має ртутний скляний вимикач, яким керує через кожні 15 сек. синхронний двигун залежно від положення вказівної стрілки або пера відносно двох контрольних стрілок, установлюваних від руки на задане максимальне і мінімальне значення тисків. Якщо вказівна стрілка або перо містяться між контрольними стрілками, то ртутний скляний вимикач займає горизонтальне положення і замикає коло сигналізації нормального тиску. При переміщенні вказівної стрілки чи пера вліво або вправо від

вимірюваного тиску вісь 5 повертається і за допомогою важелів 6, 12 і тяги 10 обертає в протилежний бік вісь 11 з закріпленим на ній містком 7, який несе важіль з пером 9. Покази записують на дисковій діаграмі 8, яка приводиться в рух від годинникового механізму або синхронного двигуна. Кронштейни 2 і 13, які підтримують трубчасту пружину і передавальний механізм з пером, закріплені на нерухомому секторі 14. Діаметр корпуса приладу 367 мм і дискової діаграми 270 мм. Протягом доби діаграма робить 1 оберт. Корпус манометра пристосований для виступаючого і заглибленого монтажу. Клас точності приладів з верхньою межею шкали до 25 кг/см^2 дорівнює 1,5, а понад – 1. Манометри виготовляють з верхньою межею показів 6-160 кг/см^2 .

Невеликі розміри багатовиткових трубчастих пружин манометрів типу МГ дають змогу помістити в одному корпусі дві самостійні манометричні системи, які

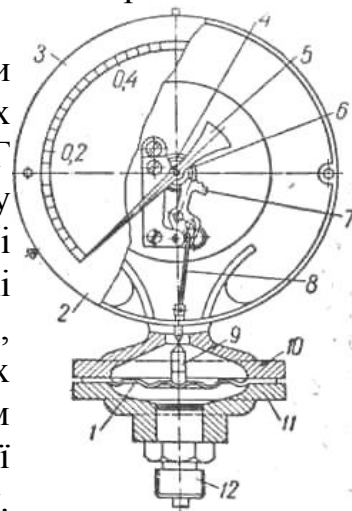


Рис. 2.11. Манометр з плоскою мембраною:

1 – плоска мембрана; 2 – шкала; 3 – корпус; 4 – спіральна пружинка; 5 – стрілка; 6 – трибок; 7 – зубчастий сектор; 8 – поводок; 9 – штифт; 10, 11 – фасонні фланці; 12 – штуцер

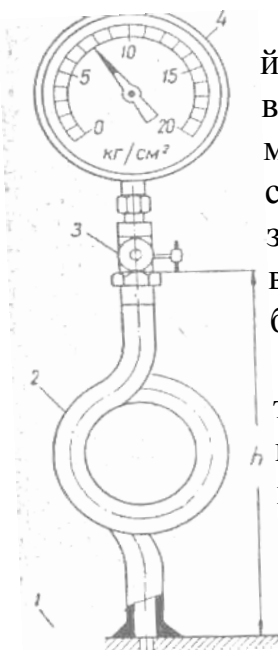
контрольних стрілок ртутний вимикач повертається синхронним двигуном відповідно в лівий або правий бік і замикає коло сигналізації мінімального або максимального тиску.

Допустима величина змінного струму, який проходить через ртутний скляний вимикач при напрузі 127 і 220 В, відповідно дорівнює 5 і 3 А.

Манометри типу ММ з плоскою металевою мембраною застосовують для вимірювання тисків до 25 кг/см^2 . Будову такого манометра зображено на рис. 2.11. Пружна металева мембрана 1, яка для більшої еластичності гофрована по колу, щільно затиснута між двома фасонними фланцями 10 і 11, з'єднаними відповідно з штуцером 12 і корпусом 3 манометра. Прогин мембрани від тиску, який діє знизу, передається за допомогою прикріпленого до її центра штифта 9 повідку 8 і через зубчастий сектор 7 і трибок 6 – стрілці 5 приладу. Найбільше переміщення центральної частини мембрани не перевищує 2,5-3 мм, тому механізм приладу має велике передаточне число, що знижує чутливість і точність цих манометрів порівняно з трубчастими.

Для малих тисків мембрану виготовляють з латуні, а для великих – із сталі. Шкала манометра – рівномірна, оскільки до певної межі величина прогину мембрани пропорціональна діючому тиску. Із збільшенням верхньої межі вимірювань манометра збільшується і товщина мембрани. Позитивними якостями манометри з плоскою мембраною є невелика чутливість до струсів і можливість вимірювання тиску дуже в'язких та агресивних речовин, оскільки нижню поверхню мембрани легко захистити від хімічної дії, застосувавши захисну фольгу з стійких металів (срібла, платини тощо).

9.2. Вибір і встановлення пружинних манометрів



Манометр вибирають керуючись вимогами до точності його показів і враховуючи особливості приладу та умови вимірювання. Виходячи з надійності роботи манометра, верхню межу його шкали вибирають так, щоб вона перевищувала середню вимірювану величину при сталому або плавно змінному тиску в 1,5 раза, а при коливному – в 2 рази. В обох випадках мінімальний вимірювальний тиск повинен бути більший від $1/3$ шкали приладу.

Покази пружинного манометра залежать від температури пружини, тому прилад встановлюють так, щоб виключити вплив на нього високих температур як вимірюваного, так і навколишнього середовища.

Температура повітря, яке оточує прилад, нормально не повинна перевищувати 40°C , тому манометри не слід встановлювати біля дуже нагрітих поверхонь. Трубчасту

Рис. 2.12. Установлення пружини або мембрану манометра від надмірного пружинного манометра на нагрівання при вимірюванні тиску пари або гарячої паропроводі: 1 – стінка паропроводу; 2 – сифонна трубка; 3 – триходовий кран; 4 – манометр

рідини і забезпечує манометр, від безпосереднього стикання з нагрітим вимірюваним середовищем. Загальний вигляд установа пружинного манометра на паропроводі зображено на рис. 2.12. Манометр 4 вгвинчують штуцером триходовий пробковий кран 3, з'єднаний з кільцевою сифонною трубкою 2, яка приварена до стінки 1 паропроводу. Висота сифонної трубки h — не/менш як 300 мм.

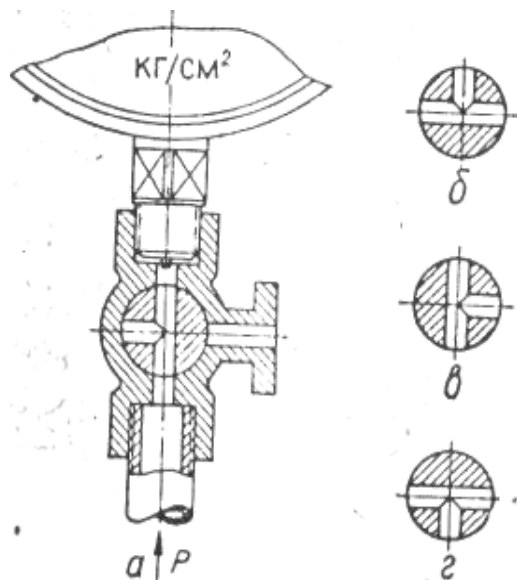


Рис. 2.13. Триходовий пробковий кран:

- а – робоче положення ;
- б – перевірка нуля; в – перевірка за контрольним манометром;
- г – продування з'єднувальної лінії

При повертанні пробки триходового крана манометр можна отримати з вимірюваним середовищем (рис. 2.13, а), а у випадку відключення приладу або перевірки нульової позначки шкали — з атмосферою (рис. 2.13, б). За допомогою цього самого крана при перевірці приладу на робочому місці паралельно підключають (струбциною до фланця крана) контрольний манометр (рис. 2.13, в), а також періодично продувають з'єднувальну лінію і сифонну трубку (рис. 2.13, г). Для забезпечення правильності переключень положення каналів у пробці триходового крана зазначено на торці його рукоятки рисками.

Пружинні манометри, особливо з трубчастими пружинами, треба встановлювати в місцях, які не зазнають струсів, що негативно позначаються на роботі і стані приладів. Нормальне (робоче) положення пружинного манометра —

штуцером униз. Для забезпечення щільності з'єднувальної лінії і обмеження запізнювання показів довжина її до манометра рідко перевищує 40-50 м. Внутрішній діаметр мідних або сталевих з'єднувальних трубок вибирають у межах 6-15 мм залежно від довжини лінії. Як ущільнювальні прокладки при встановлюванні манометрів застосовують: шкіру (до 20 кГ/см^2); свинець і пароніт (до 50 кГ/см^2); відпалену червону мідь, алюміній і фібру (до 150 кГ/см^2).

9.3. Правила вимірювання пружинними манометрами

Включати й виключати пружинні манометри треба так, щоб тиск у приладі змінювався плавно, без стрибків і різких ударів (щоб не пошкодити передавального механізму). Щоб запобігти залишковим деформаціям пружини, при вимірюваннях не допускають перевищення тиску понад граничне значення шкали. У манометрах, які вимірюють швидкозмінний тиск, наприклад, у трубопроводах після насосів, компресорів і т.д., швидко спрацьовується передавальний механізм, що утруднює правильне відлічування показів, тому для зменшення коливань стрілки приладу, і які при цьому виникають, на з'єднувальній трубці встановлюють спеціальний дросель або частково прикривають триходовий кран. Треба мати на увазі, що за правилами технічної

експлуатації прикривати триходові крани у манометрів, які вимірюють тиск у парових котлах, категорично забороняється.

Після продування з'єднувальної лінії манометра, який вимірює тиск пари або гарячої води, повторно прилад включати в роботу можна тільки через деякий час, достатній для того, щоб рідина в системі сифонної трубки охолонула.

Залежно від потрібної точності вимірювань до показів пружинних манометрів вводять у загальному випадку такі поправки:

- основну;
- на розміщення манометра відносно місця відбору тиску (якщо з'єднувальна трубка заповнена рідиною);
- на температуру приладу.

Основну поправку визначають за атестатом або свідоцтвом манометра, а додаткові – з умов вимірювання.

Поправка на розміщення приладу залежить від висоти стовпа рідини в з'єднувальній трубці; при потребі її вводять так само, як і при вимірюванні тисків рідинними скляними манометрами.

Збільшення температури манометра понад градувальне значення спотворює його покази в бік завищення вимірюваного тиску. Щоб точно визначити поправку на температуру приладу, треба знати величину його температурного коефіцієнта, яка навіть для манометрів одного й того самого типу коливається в широких межах. Наближено можна припустити, що додаткова похибка манометра з одновитковою трубчастою пружиною при відхиленні температури навколишнього повітря від $20 \pm 5^\circ\text{C}$ не перевищує $\pm 0,4\%$ в діапазоні температур від -40 до $+60^\circ\text{C}$.

9.4. Поршневі манометри

Принцип дії поршневих (вантажних) манометрів полягає в зрівноважуванні сили тиску вимірюваного середовища на поршень, що вільно пересувається в циліндрі, з силою, яку створюють калібровані тягарці. За величиною ваги цих тягарців визначають величину тиску, який діє на поршень.

Поршневі манометри мають високу чутливість і точність показів. Прилади цього типу за точністю показів наближаються до рідинних скляних манометрів, але на відміну від них можуть мати широкі межі вимірювань (до $10\,000\text{ кГ/см}^2$).

Поршневі манометри бувають двох типів: зразкові і технічні (робочі). Перші широко застосовують для перевірки і градування пружинних манометрів, а другі через їх складність і недостатню надійність у роботі для практичних вимірювань використовують дуже рідко.

На рис. 2.14 зображено схему зразкового поршневого манометра. У посудині 1 з циліндричною

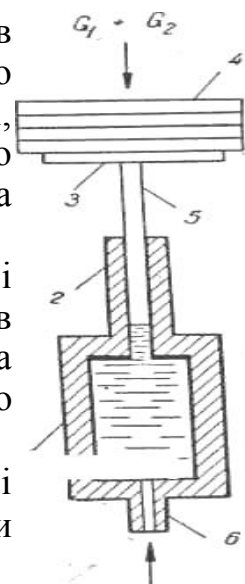


Рис. 2.14. Схема зразкового поршневого манометра: 1 – посудина; 2 – колонка; 3 – тарілка; 4 – калібровані тягарці (гирі); 5 – поршень; 6 – штуцер

колонкою 2, яка заповнена маслом і сполучена за допомогою з'єднувального штуцера 6 з вимірюваним середовищем, ходить вертикально з дуже невеликим зазором стальний поршень (плунжер) 5. Зовнішній кінець поршня скріплений із тарілкою 3, на яку залежно від величини вимірюваного тиску кладуть калібровані тягарці (гири) 4, що зрівноважують тиск, який сприймає поршень. Величину цього тиску в стані рівноваги системи можна визначити за формулою

$$p = \frac{G_1 + G_2}{F}, \quad (2.18)$$

де p – вимірюваний тиск, кГ/см^2 ; G_1 і G_2 – вага поршня з тарілкою і тягарців (гир), кг ; F – площа поршня, см^2 .

Поршень манометр з старанно пришліфовують до внутрішньої поверхні колонки, внаслідок чого між ними, утворюється дуже незначний кільцевий зазор (близько 0,003-0,005мм), що перешкоджає виходу масла з колонки назовні і сприяє руху поршня без зайвого тертя.

Поршень зразкового і манометра найчастіше має площу 1см^2 . Вага поршня з тарілкою (без тягарців) створює звичайно тиск, який дорівнює 1кГ/см^2 . До комплекту приладу входять калібровані тягарці, які дають змогу діставати тиски через 0,5; 1 і $5,5\text{кГ/см}^2$.

За точністю, зразкові поршневі манометри поділяються на три розряди, залежно від яких вони мають основну похибку в межах $\pm (0,02 \div 0,2)\%$.

Основним недоліком поршневих манометрів є вплив на їх чутливість сил тертя, які спричиняють заїдання поршня в циліндрі, тому в зразкових манометрах треба точно вертикально встановлювати прилади і періодично повертати поршень навколо осі рукою, а в технічних – за допомогою спеціальних пристроїв (електродвигунів або електромагнітних вібраторів).

9.5. Перевірка манометрів

Рідинні і поршневі манометри при відповідному їх встановленні і справному стані забезпечують досить високу точність показів, яка майже не залежить від часу і тому як правило їх не треба перевіряти. Ці манометри застосовують для перевірки пружинних манометрів.

Чутливі елементи пружинних манометрів (трубчасті пружини і мембрани) з часом частково втрачають свої пружні властивості внаслідок залишкових деформацій. На точність показів цих приладів впливає також спрацювання передавального механізму. Через це пружинні манометри треба періодично перевіряти, а при зростанні похибки вимірювань понад допустиму величину - і переградуїовувати шкалу. Перевірку приладу можна виконувати як на робочому місці, так і в лабораторії.

При перевірці пружинних технічних манометрів у лабораторії застосовують рідинні (ртутні) манометри для тисків до 3кГ/см^2 , поршневі зразкові (до 60кГ/см^2) і пружинні зразкові – від $1,5\text{кГ/см}^2$ і вище.

Звичайно пружинні манометри перевіряють за допомогою зразкових поршневих манометрів різних типів. На рис. 2.15 зображено будову зразкового поршневого манометра типу МОП-60 3-го розряду, призначеного для перевірки технічних пружинних манометрів класу точності 1 і нижче.

Прилад складається з латунної колонки 10 поршневого манометра, щільно приєднаної до корпусу 15 гвинтового гідравлічного преса. У канал колонки вставлений при шліфованій до його поверхні сталевий поршень (шток) 8, який несе на верхньому кінці тарілку 6 для накладання каліброваних тягарців 7. Паралельно з поршневим манометром до преса приєднані штуцери 3 і 11, які призначені для встановлення на приладці одного чи двох перевірюваних пружинних манометрів 9. Поршневий і пружинний манометри виключають від

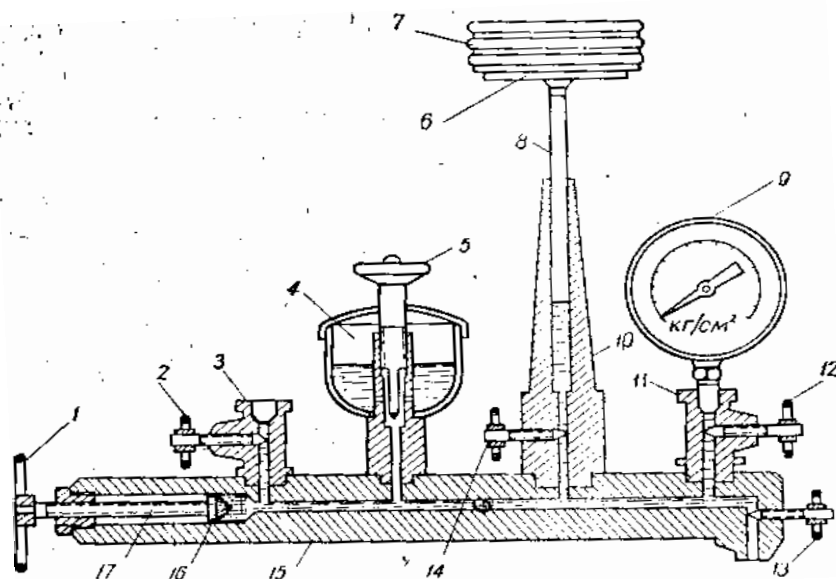


Рис. 2.15. Зразковий поршневий манометр тину МОП-60:

- 1 – маховик; 2, 5, 12, 13 і 14 – голчасті вентиля; 3 і 11 – штуцери; 4 – лійка;
- 5 – тарілка; 7 – калібровані тягарці; 8 – поршень;
- 9 – перевірюваний манометр; 10 – колонка; 15 – корпус;
- 16 – манжетний поршень; 17 – гвинтовий шток

преса за допомогою голчастих вентилів 2, 12 і 14.

У розширеній частині порожнини преса є гвинтовий шток 17 з манжетним поршнем 16, який переміщає маховик 1. Робочою рідиною (вазелиновим трансформаторним маслом) прилад наповнюють за допомогою встановленої на корпусі преса лійки 4 з запірним вентилям 5. Випускають масло з приладу за допомогою вентиля 13. Поршень манометра в точно вертикальне положення становляють за допомогою гвинтових ніжок і рівня (на рис. 2.15 не показані).

При перевірці манометр установлюють у штуцер 3 або 11 і, регулюючи маховиком гвинтовий прес так, щоб поршень 8 занурився в колонку приблизно на $2/3$ його довжини, кладуть послідовно на тарілку 6 тягарці, які відповідають перевірюваним точкам шкали манометра. Щоб усунути вплив тертя рукою надають поршню 8 з тягарцями обертального руху з швидкістю 20-50 об/хв і записують покази перевірюваного манометра. Основна похибка поршневого манометра дорівнює $\pm 0,2\%$ дійсного значення вимірюваного тиску.

Зразковий поршневий манометр типу МОП-60 має верхню межу вимірюваного тиску 60 кг/см^2 , тому для перевірки манометрів на вищій межі (до 250 кг/см^2) застосовують зразковий пружинний манометр, який установлюють на одному з штуцерів преса. При тисках, близьких до граничного для поршневого манометра, відключають останній вентилям 14, обертаючи рукою маховик 1 гвинтового преса, підвищують тиск далі, порівнюючи покази перевірюваного приладу з показами зразкового пружинного манометра.

У лабораторії шкалу перевірюваного приладу перевіряють приблизно в п'ятьох точках через однакові інтервали, спочатку при тиску, який плавно

зростає, а потім при тиску який знижується для тих самих точок шкали. Коли буде досягнуто верхньої граничної позначки шкали, перевірюваний манометр витримують під цим тиском протягом 5хв., щоб визначити при наступному зниженні тиску пружну післядію пружини. У кожній перевірюваній точці шкали після відлічування показів роблять другий відлік, легко постукавши пальцем по корпусу манометра. Стрибокподібне переміщення стрілки, яке буває при цьому, свідчить про наявність зазорів і тертя в передавальному механізмі приладу.

9.6. Манометри з дистанційним передаванням показів

Найбільша відстань між манометром і місцем приєднання його до обслуговуваного об'єкта обмежується, як зазначалось вище, допустимою довжиною з'єднувальної лінії (трубки), яка дорівнює 40-50 м, що часто є недостатнім. У цих випадках застосовують манометри з електричним, дистанційним передаванням показів, які мають датчики, що перетворюють одержуваний приладом механічний імпульс в електричний, який передається по проводах вторинному електровимірювальному приладу, установлюваному в зручному для спостережень місці.

Для здійснення дистанційного передавання показів у пружинних манометрах застосовують датчики переважно змінного струму – індуктивні й індукційні (трансформаторні), які не мають контактів у вимірювальних колах;

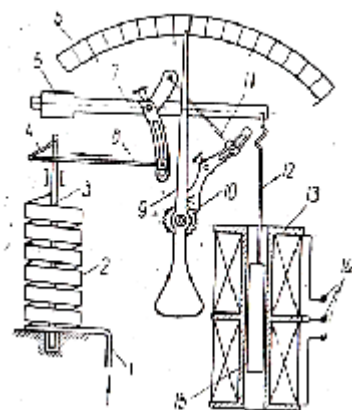


Рис. 2.16. Схема манометра типу МУЕ:

- 1 – з'єднувальна трубка; 2 – гвинтова трубчаста пружина;
- 3 – вісь; 4 – важіль; 5 – противага; 6 – шкала; 7 – коромисло; 8, 11 і 12 – тяги;
- 9 – стрілка; 10 – секторний передавальний механізм;
- 13 – здвоєна індуктивна котушка; 14 – виводи котушки; 15 – плунжер

вони мають невелику інерційність і живляться безпосередньо від місцевої сітки. На рис. 2.16 подано схему механізму показуючого манометра типу МУЕ з індуктивним датчиком. Манометр має багатовиткову трубчасту пружину 2, яка жорстко закріплена нижнім кінцем і з'єднана трубкою з вимірюваним середовищем. Верхній вільний кінець пружини скріплений з віссю 3, яка повертається пружиною при зміні тиску. За допомогою важеля 4 і тяги 5 повертання осі 3 передається коромислу 7, яке для зрівноважування рухомої частини приладу має противагу 5 і з'єднане з тягами 11 і 12. Тяга 11 приводить у рух секторний передавальний механізм 10, зв'язаний з стрілкою 9, а тяга 12, яка належить до індуктивного датчика, переміщує по вертикалі підвішений до неї плунжер 15 з м'якої сталі, розміщений усередині здвоєної індуктивної котушки 13 з трьома виводами 14. Манометр має круглий корпус діаметром 367 мм і колову шкалу 6.

Корпус приладу допускає виступаючий або заглиблений монтаж, залежно від чого штуцер і гнучкий трижильний шнур завдовжки 300мм, які призначені для підключення манометра, приєднують до нижньої або задньої сторони корпусу. Прилад має механічний аретир.

Манометр типу МУЭ передає покази на відстань за схемою так званого індуктивного моста (рис. 2.17), який живиться від сітки змінного струму напругою 127 в і частотою 50 гц. Міст складається з двох здвоєних індуктивних

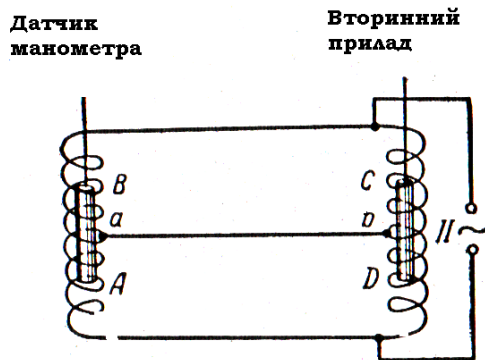


Рис. 2.17. Схема індуктивного моста

катушок 1 і 11, які мають однакові секції А, В, С і D (плечі моста). Всередину обох катушок вставлені плунжери з м'якої сталі. Плунжер катушки 1, установленої в корпусі манометра, з'єднаний важільною передачею з вільним кінцем трубчастої пружини (рис. 2.16), а плунжер катушки 11, розміщеної на відстані в корпусі вторинного приладу, – з передавальним механізмом, який керує рухом стрілки або пера вторинного приладу. Обидві катушки

сполучені трьома проводами, з яких провід ab, що зв'язує середні виводи катушок, є зрівняльним (діагоналю моста). При середньому положенні плунжерів у катушках 1 і 11 відносно виводів а і b індуктивний опір усіх секцій катушок однаковий, а отже, однакова й величина струму, що проходить через кожен секцію окремо. У цьому випадку втягуючі зусилля секцій, а також потенціали в точках а і b однакові і струму в зрівняльному проводі немає. Отже, середнє положення плунжерів у катушках характеризує стан рівноваги моста. Підвищення вимірюваного тиску спричинює переміщення вгору плунжера в катушці 1, внаслідок чого індуктивний опір секції А знижується, а секції В, навпаки, зростає на таку саму величину. В результаті рівновага моста порушується, оскільки спад напруги в секції А зменшується, що спричинює появу різниці потенціалів у точках а і b, а отже, і виникнення струму в зрівняльному проводі. Струм цей проходить через секцію С і, додаючись до основного струму, який проходить через катушку 11, збільшує втягуюче зусилля секції С порівняно з розміщеною нижче від неї секцією D, що примушує плунжері катушки 11 переміститись угору. Одночасно з рухом цього плунжера завдяки збільшенню індуктивного опору секції С струм у ній поступово спадатиме, поки не зрівняється з струмом, який проходить через секцію D. В цей момент втягуюче зусилля секції С все ще буде більше, ніж секції D, внаслідок того, що струми цих секцій мають різні кути зсуву фаз відносно напруги. Ця обставина спричинює дальше переміщення плунжера в катушці 11 вгору і зменшення струму в секції С, поки втягуючі зусилля обох половин катушки не зрівноважаться. При стані рівноваги плунжера в катушці 11 струм у секції С буде менший, ніж у секції D і по зрівняльному проводу йтиме додатковий струм. Отже, хід струму в зрівняльному проводі не буде тільки тоді, коли струми в секціях С і D будуть однакові, що відповідає середньому положенню сердечника в обох катушках. Максимальний хід плунжера в катушках дорівнює 30,5 мм. Манометри типу МУЕ випускають для граничних тисків до 10-160 кг/см² і звичайно комплектують з одним вторинним показуючим або самопишучим приладом типу Е. На рис. 2.18, а подано схему вторинного показуючого приладу типу Е-280. Плунжер 10, який розміщений у здвоєній індуктивній катушці 9, за допомогою тяги 7 зв'язаний з коромислом 4, що має противагу 1. При переміщенні плунжера вгору або вниз, коромисло за допомогою важеля 3, тяги 6 і секторного передавального механізму 8 відхиляє

стрілку приладу 5.

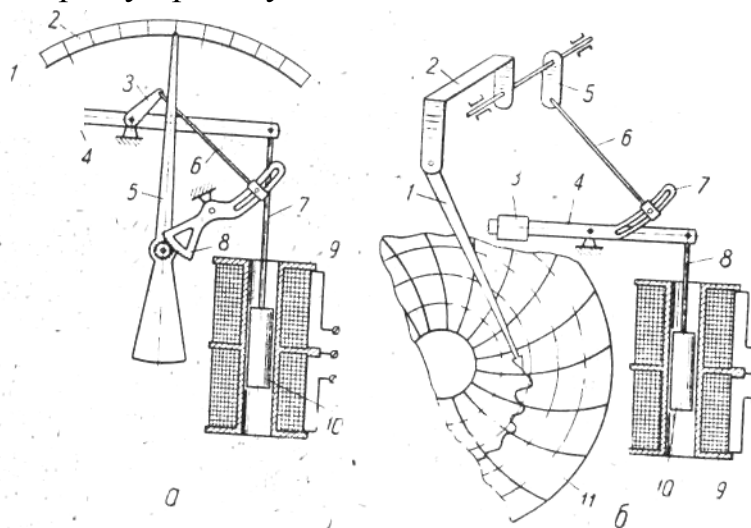


Рис. 2.18. Схеми вторинних приладів типу Е:
 а – показуючий прилад типу Е-280; 1 – протизвага; 2 – шкала; 3 – важіль; 4 – коромисло; 5 – стрілка; 6 і 7 – тяги; 8 – секторний передавальний механізм; 9 – індуктивна котушка; 10 – плунжер;
 б – самопишучий прилад типу Е-610; 1 – важіль пера; 2 – місток; 3 – протизвага; 4 – коромисло; 5 і 7 – важелі; 6 і 8 – тяги; 9 – індуктивна котушка; 10 – плунжер; 11 – дискова діаграма

Комплект манометра типу МУЕ градуують при опорі з'єднувальних проводів, який дорівнює 3 ом, і живленні пристрою від вторинного приладу. Потужність, яку споживає індуктивний міст одним вторинним приладом, становить 110 ва. Коливання напруги в сітці в межах $\pm 0,5\%$ і частоти $\pm 1\%$ номінальних значень практично не позначається на результатах вимірювань. Клас точності манометра комплекту 2,5. На рис. 2.19 подано будову пружинного манометра типу МЕД з індукційним датчиком. Прилад має одновиткову трубчасту пружину 1, вільний кінець якої зв'язаний важелем 3 з сталевим плунжером індукційного датчика 4 і секторним передавальним механізмом 5, що діє на вказівну стрілку (на рис. 2.19 її не показано). Механізм манометра міститься в металевому корпусі 7 діаметром 200 мм. Для встановлення приладу призначений штуцер 6 з різьбою, а для підключання з'єднувальних проводів — виводи 2 з затискачами, розміщеними в коробці, закріпленій з заднього боку корпусу манометра.

Пружинні манометри типу МЕД випускають на низький і високий тиски з верхньою межею вимірювання 1-100 і 100-1600 $\text{кг}/\text{см}^2$; вони поділяються на показуючі і без

Схему вторинного самопишучого приладу типу Е-610 зображено на рис. 2.18, б. Тут переміщення плунжера 10, який втягують секції індуктивної котушки 9, за допомогою тяги 8 передається коромислу 4 з протизвагою 3 і за допомогою важеля 7, тяги 6 і важеля 5 повертає місток 2, який несе важіль 1 з пером. Дискова діаграма 11 приводиться в рух вбудованим у прилад синхронним двигуном типу СД-60.

Вторинні прилади типу Е мають круглий металевий корпус (його діаметр 367 мм і глибина 118 мм), пристосований для виступаючого і заглибленого монтажу.

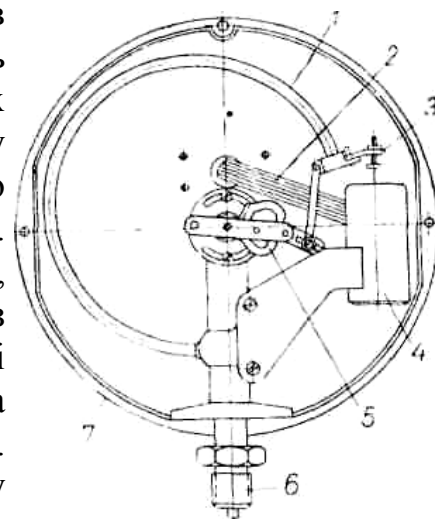


Рис. 2.19. Пружинний манометр типу МЕД з індукційним датчиком: 1 – трубчаста пружина; 2 – виводи з затискачами; 3 – важіль; 4 – індукційний датчик; 5 – секторний механізм; 6 – штуцер; 7 – корпус

шкальні прилади. Основна похибка показуючого приладу становить $\pm 1\%$ діапазону шкали. Додаткова температурна похибка не перевищує $0,3\%$ на кожні 10°C відхилення температури навколишнього середовища від нормального значення (20°C).

Завдання

1. В чому відмінність роботи первинних перетворювачів приладів для вимірювання надлишкового тиску?
2. В чому різниця застосування приладів з одновитковою та багатовитковою пружинами?
3. В чому різниця застосування приладів з плоскою та гармонізованою мембраною (сильфоном)?
4. Принцип роботи та основні вимоги при встановленні манометра ОБМ-160.
5. Правила пуску в дію та перевірки роботи безпосередньо на робочому місці.
6. Для чого необхідне встановлення перед приладом з деформуючим перетворювачем сифонної трубки та приходового крана?
7. Які Ви знаєте основні вимоги, що повинні дотримуватись при пуску манометра в роботу?
8. Принцип роботи, будова та призначення поршневих та ваго поршневих манометрів?

Тема 10. Вимірювання невеликого тиску та розрідження

10.1. Тягонапороміри

Тягомірами, напоромірами і тягонапоромірами називаються прилади, призначені для вимірювання невеликих розріджень і надлишкових тисків газу (повітря). Ці прилади широко застосовують при вимірюванні тиску, розрідження або різниці тисків у топці, газоходах і повітроходах котельного агрегату і мають шкалу, проградуєвану в мм вод. ст. Тягонапороміри виготовляють з нулем по середині шкали; вони призначені для вимірювання як тиску, так і розрідження.

Оскільки за будовою між тягомірами, напоромірами і тягонапоромірами немає принципової різниці, надалі для простоти викладу ці прилади називатимемо тягонапоромірами. Існуючі типи цих приладів поділяються на такі групи:

- рідинні скляні;
- ковпакові;
- мембранні;
- кільцеві.

10.2. Рідинні, скляні та мембранні тягонапороміри

Рідинні тягонапороміри по суті нічим не відрізняються від одно- і двотрубних

рідинних манометрів їх використовують для контрольних, лабораторних і технічних вимірювань тисків та розріджень у межах 0-600 мм вод. ст. Прилади наповнюють робочою рідиною з невеликою питомою вагою, найчастіше спиртом або дистильованою водою. При точних вимірюваннях невеликих надлишкових тисків або розріджень (приблизно до 200 мм вод. ст.) застосовують однострубні (чашкові) рідинні тягонапороміри з похилою вимірювальною трубкою і описані вище мікроманометри

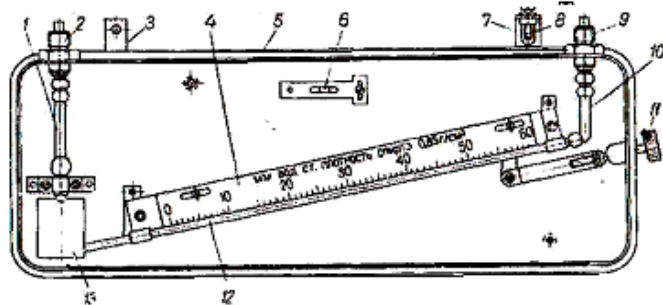


Рис. 2.20. Однострубний тягонапоромір типу ТНЖ:
1 – гумова трубка; 2 – посудина; 3 – вимірювальна трубка; 4 – шкала; 5 – рама; 6 – ходовий гвинт

металевій основі 5. Вздовж трубки розміщена шкала 4, проградуєвана в мм вод. ст. Прилад закріплюють на стіні (щиті) за допомогою вушок 3 і 8. Для встановлення приладу в горизонтальне положення користуються гвинтом 7 (у вушку 8 і рівнем 6). Тягонапоромір з вимірюваним середовищем при вимірюванні тиску сполучають через штуцер 2, а розрідження – через штуцер 9. Штуцери, пристосовані для закріплення на них накидної гайки зовнішньої лінії, приєднані до скляної трубки і посудини за допомогою гумових трубок 1 і 10. Гвинт 11 з головкою є коректором нуля, який дає змогу при встановленні приладу суміщати нульову позначку шкали з меніском робочої рідини в трубці. Тягонапороміри типу ТНЖ виготовляють з верхньою межею вимірювань 16-100 мм вод. ст. і розраховані на робочий тиск $0,2 \text{ кг/см}^2$. Як робочу рідину застосовують підфарбований спирт з питомою вагою $0,85 \text{ Г/см}^3$ при температурі 20°C . Основна похибка приладу $\pm 1,5$ діапазону шкали. Додаткова температурна похибка не перевищує $0,6\%$ на кожні 5°C відхилення температури навколишнього середовища від нормального значення.

Мембранні тягонапороміри належать до групи пружинних приладів. За принципом дії вони схожі на мембранні манометри. Мембранні тягонапороміри виготовляють як з профільною, так і плоскою коловою шкалами. Прилади призначені для роботи при температурі навколишнього і вимірюваного середовища, яка не перевищує 60°C . Найбільше застосовують мембранні тягонапороміри з горизонтальною і вертикальною профільними шкалами, які мають важільний передавальний механізм. Їх позитивні якості: простота будови, невеликі розміри, наочність показів і зручність розміщення на щитах керування. На рис. 2.21 зображено схему мембранного напороміра типу 746 з горизонтальною профільною шкалою. Прилад має щільно закритий корпус (на схемі не показаний), всередині якого на платі 13 за допомогою штуцера 17 прикріплена пружна латунна коробочка 18, яка складається з двох спаяних по краях гофрованих дискових мембран. Внутрішня порожнина мембранної

тягонапоромір типу ТНЖ з похилою трубкою (рис. 2.20) дуже поширений прилад. Він складається з скляної посудини 13 з приєднаною до неї під кутом скляною вимірювальною трубкою 12 внутрішнім діаметром 2-2,5 мм, закріпленої на

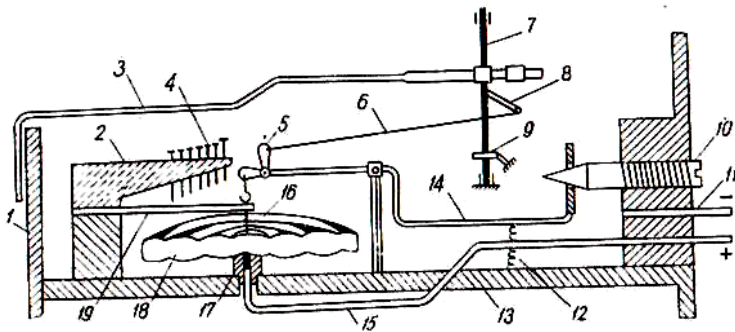


Рис. 2.21. Мембранний напоромір типу 746 з горизонтальною профільною шкалою

1 – ткала; 2 – кронштейн (глобан); 3 – стрілка; 4 – установочні гвинти; 5 – колінчастий важіль; 6 – тяга; 7 – вісь стрілки; 8 – важіль; 9 – спіральна пружина (волосок); 10 – коректор нуля; 11 і 15 – з'єднувальні трубки; 12 – пружина; 13 – плата; 14 – двоплечий важіль; 16 – штифт; 17 – штуцер; 18 – мембранна коробка; 19 – плоска пружина

переміщення колінчастого важеля 5. тяги 6, важеля 8 і осі 7, скріпленої з стрілкою 3 приладу. Стрілка пересувається вздовж горизонтальної профільної шкали 1. Максимальний кут відхилення стрілки 72° . Спіральна пружинка (волосок) 9, закріплена одним кінцем на осі стрілки і другим на нерухомій частині, приладу, усуває вплив зазорів (люфтів) у зчленуваннях важільного механізму.

Застосування мембранної коробки замість звичайної плоскої мембрани дає змогу майже вдвічі збільшити прогин пружного елемента при одній і тій самій різниці тисків, що помітно підвищує чутливість і точність приладу. Деформація мембранної коробки і плоскої пружини не пропорціональна зміні тиску і помітно спадає із зростанням останнього, тому, щоб вирівняти шкалу тягоміра, застосовують пристрій, який складається з кронштейна (глобана) 2 з установочними гвинтами 1. При збільшенні вимірюваного тиску пружина 19 обгинає кінні установочних гвинтів глобана, які є лекалом, що внаслідок підвищення жорсткості пружини вирівнює хід мембранної коробки, а отже, і шкалу напороміра.

Коректор нуля 10, який має вигляд гвинта з конусом, призначений для встановлення стрілки (приладу) на початкову позначку шкали. При обертанні гвинта конус переміщається в круглим отворі двоплечого важеля 14, притиснутого до конуса пружиною 12 і спричинює піднімання або опускання зв'язаного з стрілкою колінчастого важеля 5.

Мембранні тягоміри типу 746 відрізняються від напоромірів нього самого типу тільки тим, що в них глобан з установочними гвинтами розміщений під плоскою пружиною, яка обгинає лежало при стисканні мембранної коробки, внутрішній простір якої сполучається з вимірюваним середовищем. У тягонапоромірах типу 746 є відповідно дві плоскі пружини і два глобани, причому один глобан розміщений над пружиною, а другий — під нею. Щоб напрям руху стрілки по шкалі (зліва направо — при збільшенні розрідження) був правильний, важіль 5 (рис. 2.21) у тягомірі повернутий навколо осі 7 на 180° відносно свого положення в напоромірі і тягонапоромірі. Прилади

коробки трупкою 15 сполучається з вимірюваним середовищем, а внутрішня порожнина корпуса трубною 11 — з атмосферою. Для збільшення жорсткості пружної системи верхня частина коробки за допомогою ведучого штифта 16 зв'язана з кінцем плоскої пружини 19, закріпленої другим кінцем нерухомо.

Під дією різниці тисків мембранна коробка стискається або розтискається, спричиняючи разом із згинанням пружини

виготовляють на граничні тиски або розрідження: з одnobічною шкалою – до 40-1600 мм вод. ст., а з двобічною – до $\pm (20 \div 500)$ мм вод. ст. Корпус приладів має габаритні розміри $295 \times 125 \times 250$ мм і пристосований для заглибленого монтажу.

10.3. Ковпакові та кільцеві тягонапороміри

Принцип дії ковпакового тягонапороміра ґрунтується на зміні глибини занурення ковпака, опушеного в посудину з робочою рідиною, залежно від різниці тисків газового (повітряного) середовища зовні і всередині ковпака, яку він сприймає. Схему дії ковпакового тягонапороміра подано на рис. 2.22.

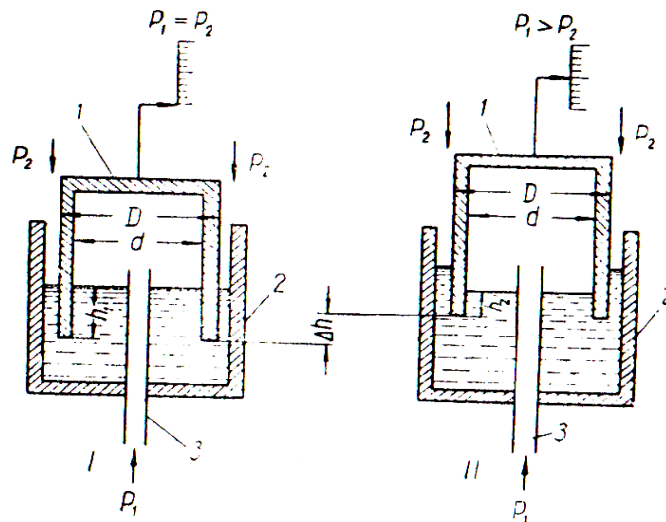


Рис. 2.22. Схема дії ковпакового тягонапороміра:

1 – стан рівноваги при рівності тисків; 11 – стан рівноваги при нерівності тисків;
1 – ковпак; 2 – посудина; 3 – з'єднувальна трубка

Умова рівноваги ковпака 1, який плаває в рідині, налитій у посудину 2, при однаковому тиску під ковпаком P_1 і над ковпаком P_2 (положення I) визначається рівнянням

$$G = 0,785(D^2 - d^2)h_1\gamma, \quad (2.19)$$

де G – вага ковпака, кг;

d і D – внутрішній і зовнішній діаметри ковпака, м;

h_1 – глибина занурення ковпака, м;

λ – питома вага робочої рідини, кГ/м^3 .

При збільшенні тиску вимірюваного середовища, який передається під ковпак за допомогою трубки 3, тобто при $p_1 > p_2$ (положення 11), ковпак впливає і глибина його занурення зменшується до величини h_2 . У новому стані рівноваги ковпака маємо

$$G + 0,785d^2 p_2 = 0,785(D^2 - d^2)h_2\gamma + 0,785d^2 p_1. \quad (2.20)$$

Віднімаючи рівняння (2.20) від рівняння (2.19) і скоротивши подібні члени, дістанемо

$$(D^2 - d^2)(h_1 - h_2)\gamma = d^2(p_1 - p_2). \quad (2.21)$$

Незначним зниженням рівня під ковпаком внаслідок витиснення рідини

в невеликий кільцевий простір між ковпаком і стінками посудини можна знехтувати. Тоді, позначивши величину піднімання ковпака через $\Delta h = h_1 - h_2$, а зміну тиску під ковпаком через $\Delta p = p_1 - p_2$, матимемо

$$\Delta h = \frac{d^2}{D^2 - d^2} \cdot \frac{\Delta p}{\gamma} \quad (2.22)$$

З рівняння (2.22) випливає, що величина піднімання ковпака пропорційна зміні тиску в просторі під ним, віднесеному до питомої ваги робочої рідини, і не залежить від ваги ковпака. На величину піднімання впливають лише діаметр і товщина стінок ковпака.

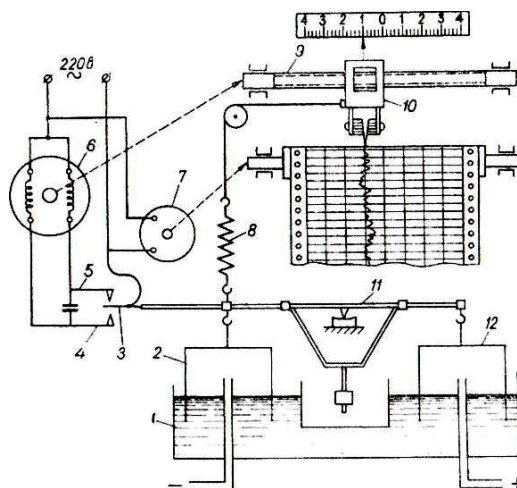


Рис. 2.23. Ковпаковий тягонапоромір тину ТНСК:

- 1 – бак; 2 і 12 – ковпаки; 3 – контактна пластинка; 4 і 5 – контакти; 6 – реверсивний двигун;
7 – синхронний двигун; 8 – пружина; 9 – ходовий гвинт; 10 – каретка; 11 – коромисло

Промисловість випускає показуючий і самопишучий ковпаковий тягонапоромір типу ТНСК (рис. 2.23) для вимірювання тиску і розрідження з однобічною шкалою – до 16 мм вод. ст., а з двобічною – до ± 8 мм вод. ст. Прилад, виготовлений за схемою ковпакових терезів, має автоматичний балансірний механізм. Він розрахований на робочий тиск до 25 мм вод. ст. Чутливим елементом тягонапороміра є ковпаки 2 і 12, підвішені до коромисла 11 і опущені в бак 1 з трансформаторним маслом. Простір під ковпаками сполучають трубками з вимірюваним середовищем і атмосферою. На одному з плечей коромисла закріплена контактна пластинка 3, розмішена між нерухомими контактами 4 і 5, яка при відхиленні коромисла від горизонтального положення залежно від зміни вимірюваної різниці тисків включає в роботу конденсаторний реверсивний двигун 6. Останній, обертаючи в той чи інший бік ходовий гвинт 9, переміщає каретку 10 з вказівною стрілкою і пером. Каретка рухається доти, поки прикріплена до неї і коромисла струна, перекинута через блок, не змінить ступеня розтягу робочої пружини 8 до величини, то відповідає новому стану рівноваги (компенсації) вимірювальної системи, при якому коромисло розімкне коло живлення реверсивного двигуна, і він зупиниться.

Привод стрічкової діаграми приладу шириною 120 мм здійснює синхронний двигун 7 з швидкістю 20 мм/год. Час проходження стрілкою

(пером) всієї шкали дорівнює 25 сек. Тягонапоромір типу ТНСК належить до класу точності 2,5. Прилад живиться від сітки змінного струму напругою 220 В і частотою 50 гц. Потужність, яку споживає прилад, становить 40 Ва. Прямокутний корпус приладу з габаритними розмірами 380×530×229 мм допускає виступаючий або заглиблений монтаж.

Схему кільцевого тягонапороміра, дія якого ґрунтується на принципі так званих кільцевих терезів, зображено на рис. 2.24. Прилад являє собою хитний двотрубний рідинний тягонапоромір, який складається з вертикально розміщеної металевої кільцевої трубки 6 круглого або прямокутного перерізу, що спирається за допомогою траверси 7 з призмою на нерухому подушку 2. Нижня половина кільцевої трубки заповнена робочою рідиною (ртуттю, трансформаторним маслом або водою), а верхня поділена на дві частини глухою перегородкою 4. З обох боків перегородки порожнини кільця сполучають з атмосферою і вимірюваним середовищем гнучкими металевими (спіральними) або гумовими трубками 3 і 5 невеликого діаметра. Трубку 3 сполучають з середовищем більшого тиску p_1 , а трубку 5 — з середовищем меншого тиску p_2 . Знизу до кільцевої трубки прикріплений робочий тягарець 8. Стрілка приладу 1 жорстко зв'язана з траверсою 7.

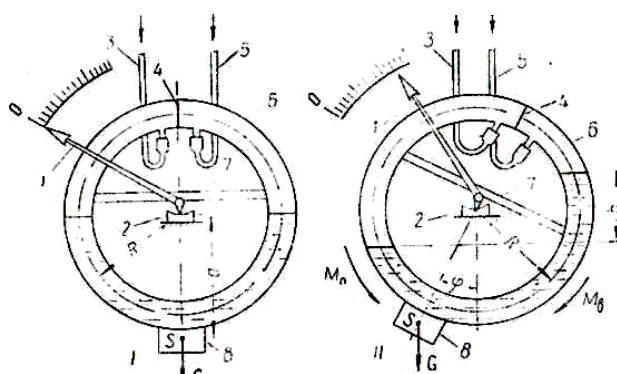


Рис. 2.24. Схема дії кільцевого тягонапороміра:

1 – тиски однакові; 11 – тиски неоднакові; 1 – стрілка; 2 – подушка; 3 і 5 – гнучкі з'єднувальні трубки; 4 – перегородка; 6 – кільцева трубка; 7 – траверса; 8 – тягарець

Коли тиски в обох порожнинах кільцевої трубки однакові, тобто коли $p_1 = p_2$ (положення 1), робоча рідина розміщується в кільці на одному рівні, тягарець 8 займає прямовисне положення і кінець стрілки збігається з нульовою позначкою шкали. Якщо тиск p_1 збільшиться або тиск p_2 зменшиться, тобто при $p_1 > p_2$ (положення 11), рівень рідини в лівій порожнині кільця опускатиметься, а в правій — підніматиметься доти, поки різниця тисків $\Delta p = p_1 - p_2$ не зрівноважиться стовпом рідини заввишки h . Одночасно під дією різниці тисків Δp на перегородку 4 кільця виникне обертаючий момент M_0 , який примусить кільце і стрілку приладу повернутись на кут φ , що відповідає новому стану рівноваги.

Стан рівноваги утворюється завдяки збільшенню протидіючого моменту M_n внаслідок відхилення від осі кільця робочого тягарця 8.

Обертаючий момент рухомої системи тягонапороміра

$$M_0 = \Delta p R F, \quad (2.23)$$

де R – середній радіус кільця, м;

F – площа поперечного перерізу кільця, м².

Протидіючий момент робочого тягарця при повертанні рухомої системи приладу на кут φ

$$M_{II} = G \sin \varphi, \quad (2.24)$$

де G – вага робочого тягаря, кг;

a – відстань центра ваги S робочого тягаря від точки опори кільця.

У стані рівноваги системи маємо:

$$M_O = M_{II} \quad (2.25)$$

або $\Delta p R F = G \sin \varphi$

звідки
$$\sin \varphi = \frac{R F}{G a} \Delta h. \quad (2.26)$$

За формулою (2.26) кут повороту кульця приладу, який дорівнює звичайно 50°, не залежить від питомої ваги робочої рідини, а отже, і від зміни температури навколишнього середовища. Однак вага робочої рідини визначає собою максимальну межу показів приладу. Оскільки для кожного приладу величини G , R , F і a сталі, то з рівняння (2.26) випливає, що вимірювана різниця тисків пропорційна синусу кута повороту кільця. Отже, при безпосередньому з'єднанні стрілки приладу з траверсою шкала тягонапороміра буде нерівномірною (помітно розтягнутою в кінці). Щоб дістати рівномірну шкалу, на кільці закріплюють лекало спеціального профілю, по якому ковзає ролик, зв'язаний ажільною передачею з стрілкою (пером) приладу. Верхню межу вимірювань кільцевого тягонапороміра встановлюють за допомогою зміни ваги робочого тягарця, який складається з окремих знімних пластин. За формулою (2.26) кут повороту кільця приладу, який дорівнює звичайно 50°, не залежить від питомої ваги робочої рідини, а отже, і від зміни температури навколишнього середовища. Однак вага робочої рідини визначає собою максимальну межу показів приладу. Кільцеві тягонапороміри типу ДК, які виготовляє промисловість, поділяються на механічні і з індуктивним датчиком для дистанційного передавання показів за схемою індуктивного моста. Прилади з водяним і масляним заповненням мають верхні межі шкали: однобічний до 25-250 мм вод. ст., двобічний — до ± 20 мм вод. ст. Вони розраховані на робочий тиск 0,25 кГ/см². Верхня межа шкали приладів з ртутним заповненням становить 400-2500 мм вод. ст. і робочий тиск — 32 кГ/см².

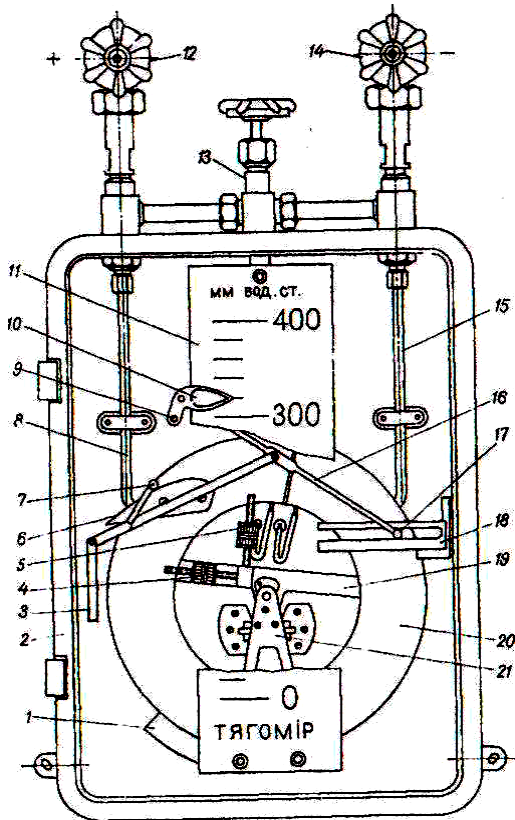


Рис. 2.25. Кільцевий тягонапоромір типу ДК:

- 1 – робочий тягарець; 2 – корпус; 3 і 9 – противаги; 4 і 5 – балансірні тягарці; 6 – лекало; 7 і 17 – ролики; 8 і 15 – трубки; 10 – стрілка; 11 – шкала; 12 і 14 – запірні вентиля; 13 – зрівняльний вентиль; 16 – передавальний механізм; 18 – кронштейн; 19 – траверса; 20 – кільце; 21 – нерухомий стояк

механізму 16 з роликами 7 і 17 і нерухомого кронштейна 18 з напрямними переміщає вздовж рівномірної вертикальної шкали 11 стрілку 10. Правильність дії важільного механізму забезпечується проти вагами 3 і 9. Прилад має прямокутний металевий корпус 2, пристосований для заглибленого і виступаючого монтажу.

10.4. Встановлення і перевірка тягонапоромірів

Профільні мембранні тягонапороміри призначені для встановлення на щитах при умові відсутності значних вібрацій, де яких вони дуже чутливі. Температура середовища, яке оточує прилад, не повинна перевищувати 60°C.

За допомогою з'єднувальних ліній тягонапороміри підключають до трубок для відбору тиску, встановлюваних у газоходах і повітроводах. При правильному встановленні відбірної трубки динамічний напір не повинен впливати на вимірюваний приладом статичний тиск. Для цього відбірну трубку встановлюють у місцях з невеликими швидкостями рухомої рідини; трубка на

Механічні кільцеві тягонапороміри бувають показуючі і самопишучі з приводом стрічкової діаграми завширшки 120 мм від годинникового механізму або синхронного двигуна з швидкістю 20 мм/год. Прилади з індуктивним датчиком поділяються на показуючі і безшкальні. Вони працюють у комплекті з одним або двома вторинними приладами типів ЕВП (показуючий) і ЕВС (самопишучий), аналогічних за принципом дії і будовою до вторинних приладів типів Е-280 і Е-610 (рис. 2.18). Клас точності механічних кільцевих тягонапоромірів 1,5, а з індуктивним датчиком – 2 і 2,5.

На рис. 2.25 подано кільцевий механічний тягомір типу ДК з ртутним заповненням. Порожнисте стальне кільце 20 з траверсою 19 спирається двома призмами на нерухомий стояк 21. До кільця прикріплено робочий тягарець 1, а до траверси — балансірні тягарці 4 і 5 для суміщення центра ваги рухомої частини приладу (крім тягарця 1) з центром ваги кільця. Порожнини кільця сполучають з вимірюваним середовищем трубками 8 і 15 із запірними вентилями 12 і 14, Вентиль 13 призначений для зрівнювання тисків у порожнинах кільця (при закритих запірних вентилях) при перевірці нуля приладу. Збоку на кільці закріплено лекало 6, яке за допомогою важільного передавального

кінці має зріз, паралельний напрямку потоку (рис. 2.26, а). Вплив динамічного напору може мати додатний або від'ємний знак залежно від того, як розміщений відносно руху потоку зріз відбірної трубки. Якщо отвір у трубці напрямлений назустріч потокові газу (рис. 2.26, б), то виміряна величина статичного тиску буде завищена, а при оберненому положенні трубки (рис. 2.26, в) — занижена. Найкраще встановлювати відбірну трубку врівень з внутрішньою поверхнею стінки (рис. 2.26, г). При вимірюванні тиску або розрідження вологих газів відбірну трубку розміщують похило в бік конденсаційної посудини, призначеної для відведення конденсату.

Щоб уникнути великого запізнювання показів приладу, відстань від місця встановлення тягонапороміра до відбірної трубки вибирають у межах до 30 м. З'єднувальні трубки прокладають похило з уклоном 0,03-0,05, причому в нижніх точках ліній передбачається дренавання конденсату, який утворюється в них.

Для правильної роботи тягонапоромірів потрібна добра щільність з'єднувальних ліній, тому кількість з'єднань труб, запірної арматури тощо треба скоротити до мінімуму. З цієї самої причини часто відмовляються від застосування перемикаючих кранів для почергового приєднання до одного приладу кількох пунктів вимірювання. Щільність з'єднувальних ліній перевіряють повітрям під тиском 200 мм рт. ст.

В експлуатації щільність з'єднувальних трубок перевіряють, відключаючи лінію разом працюючим тягоміром від відбірної трубки краном, який установлений біля останньої. Якщо покази тягонапороміра при цьому не змінюються, то лінія щільна, у противному разі стрілка приладу рухатиметься в бік початкової позначки шкали. Відбірні і з'єднувальні трубки періодично продувають від золи і сажі стисненим повітрям під тиском 1-3 кг/см². На час продування тягонапоромір

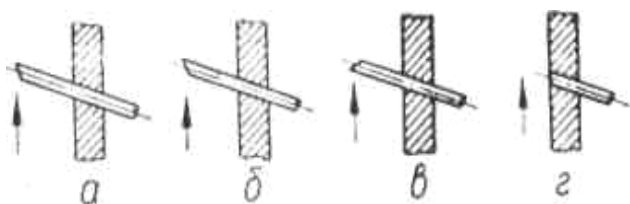


Рис. 2.26. Положення зрізу на кінці відбірної трубки:

- а – паралельно потоку;
- б – назустріч потоку

відключають від з'єднувальної лінії.

ВАКУУММЕТРИ І МАНОВАКУУММЕТРИ

Вакуумметри застосовують для вимірювання значних розріджень (вакуума) в конденсаторах парових турбін, у всмоктувальних лініях насосів і т.д. Величину вакуума V , віднесену до технічної атмосфери і подану в процентах, широко використовують для оцінки ефективності роботи конденсаційних установок турбін. Цю величину визначають за формулою

$$V = \frac{735,6 - (B_0 - h_0)}{735,6} \cdot 100, \quad (2.27)$$

де B_0 – атмосферний (барометричний) тиск, мм рт. ст. при 0°C;
 h_0 – вакуум у конденсаторі турбіни, мм рт. ст. при 0°C.

Мановакуумметри використовують тоді, коли абсолютний тиск вимірюваного середовища може набирати значень вищих або нижчих від атмосферного.

За своєю будовою вакуумметри і мановакуумметри поділяються на ртутні скляні та пружинні.

10.5. Ртутні скляні вакуумметри і мановакуумметри

За конструкцією ртутні вакуумметри схожі на рідинні манометри і так само поділяються на такі два типи:

- однотрубні (чашкові);
- двотрубні (U-подібні).

Найбільш поширений однотрубний ртутний вакуумметр, який схематично зображено на рис. 2.28.

У невелику скляну посудину (чашку) 1 з ртуттю опушена скляна вимірювальна трубка 2. Верхній кінець цієї трубки з'єднувальною трубкою 3 сполучений з вимірюваним середовищем. На відкриту поверхню ртуті в посудині тисне атмосферне повітря; отже, вакуум, або різниця між тисками атмосферним і вимірюваного середовища, визначається висотою ртутного стовпа над рівнем рідини в посудині. Внаслідок цього при вимірюванні однотрубним вакуумметром нульова позначка шкали повинна збігатися з рівнем ртуті в посудині.

Припустимо, що при якомусь вакуумі h_0 нульова позначка нерухомо закріпленої шкали вакуумметра була на рівні ртуті в посудині. При збільшенні вакуума до h рівень ртуті в трубці підвищився на h_1 і відповідно знизився в посудині на h_2 . Отже, повна величина вакуума визначається рівністю

$$h = h_0 + h_1 + h_2, \quad (2.28)$$

де $h_0 + h_1$ – частина загальної висоти стовпа ртуті, виміряна по шкалі приладу.

Оскільки об'єм ртуті, витісненої з посудини, дорівнює об'єму ртуті, яка ввійшла у вимірювальну трубку, то, позначивши через f площу перерізу трубки і через F площу перерізу посудини, дістанемо

$$h_1 f = h_2 (F - f), \quad (2.29)$$

звідки, визначивши значення h_2 і підставивши його в рівняння

(2.28), матимемо

$$h = h_0 + h_1 \left(1 + \frac{f}{F - f} \right). \quad (2.30)$$

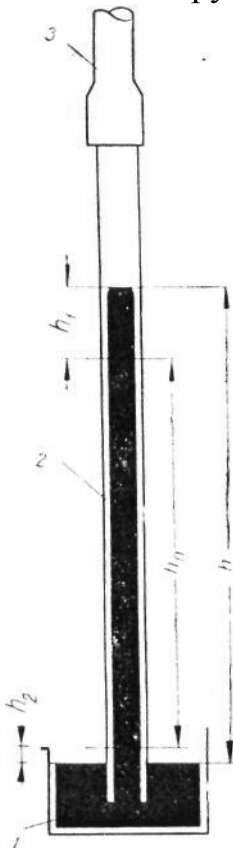


Рис. 2.28. Схема однотрубного вакуумметра:
1 – посудина;
2 – скляна вимірювальна трубка; 3 – з'єднувальна трубка

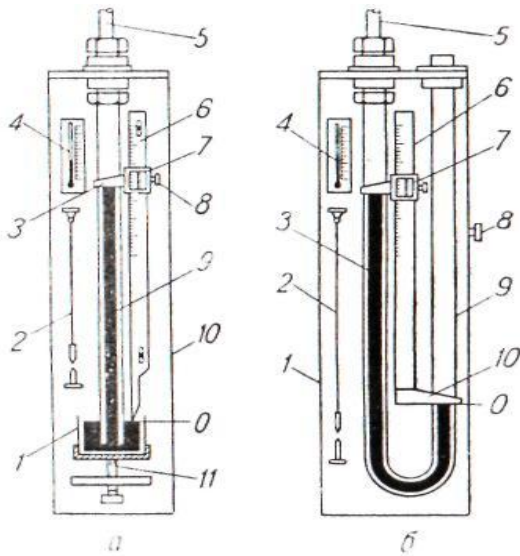


Рис. 2.29. Ртутні вакуумметри:

a – однострубний вакуумметр:

1 – скляна посудина; 2 – висок;

3 – носок; 4 – ртутний термометр;

5 – з'єднувальна трубка, 6 – шкала;

7 – каретка з ноніусом;

8 – кремальєра; 9 – вимірювальна трубка; 10 – основа; 11 – гвинтова опора, *б* – двотрубний вакуумметр;

1 – основа; 2 – висок; 3 і 9 – вимірювальні трубки; 4 – ртутний термометр; 5 – з'єднувальна трубка;

6 – шкала; 7 – каретка з ноніусом;

8 – кремальєра; 10 – носок

З рівняння (2.30) видно, що в цьому прикладі виміряна по шкалі вакуумметра висота ртутного стовпа, яка дорівнює $h_0 + h_1$, буде менша від дійсної на величину $h_1 \frac{f}{F - f}$,

що недопустимо при точних вимірюваннях. Можна встановити, що для зменшення цієї похибки треба вибрати вищі значення F порівняно з f , але досягти цим способом істотного зниження відношення $\frac{f}{F - f}$ важко,

бо, щоб зменшити вплив капілярних явищ, скляні вимірювальні трубки для ртутних приладів беруть порівняно великих діаметрів (10 мм і вище), через що треба застосовувати посудини значних розмірів. Тому звичайно при вимірюваннях щоразу суміщають нульову позначку шкали вакуумметра з рівнем ртуті в посудині за допомогою рухомої шкали, яка переміщується, наприклад, за допомогою кремальєри (рейкової передачі) або рухомої посудини, яка пересувається за допомогою гвинтового пристрою.

На рис. 2.29, *a* зображено будову однострубно ртутного вакуумметра з рухомою посудиною. Прилад складається з

скляної посудини 1 з ртуттю, в яку опущено закріплену на дерев'яній основі 10 скляну вимірювальну трубку 9; трубку 9 за допомогою трубки 5 сполучають з вимірюваним середовищем. Біля вимірювальної трубки нерухомо за-закріплена металева міліметрова шкала 6. Нульова позначка шкали збігається з нижнім загостреним її кінцем, який торкається поверхні ртуті в посудині 1. У положення, при якому вістря шкали торкається ртуті, посудину встановлюють за допомогою гвинта 11.

Для збільшення точності відліку показів до десятих часток міліметра шкала вакуумметра має рухому каретку 7 з ноніусом. Нульова позначка шкали ноніуса міститься на рівні горизонтальної частини носка 3 каретки, який суміщають при відліку з меніском ртуті у вимірювальній трубці. Каретку з ноніусом переміщають за допомогою кремальєри 8.

Вакуумметр у точно вертикальне положення встановлюють за допомогою виска 2. Для стовпа рідини поряд з вимірювальною трубкою встановлюють ртутний термометр 4.

На рис. 2.29, *б* зображено будову двотрубного ртутного вакуумметра, який має дві вимірювальні скляні трубки 3 і 9, закріплені на основі 1. Трубку 3 за допомогою з'єднувальної трубки 5 сполучають з вимірюваним середовищем, а трубку 9 верхнім відкритим кінцем – з атмосферою. Між вимірювальними трубками розміщена рухома міліметрова шкала, яку переміщають за

допомогою кремальєри 8. У нижній частині шкали нерухомо закріплений носок 10 з горизонтальним зрізом, який відповідає нульовій поділці шкали, а у верхній насаджена каретка 7 з ноніусом. Прилад має висок 2 і ртутний термометр 4.

При вимірюванні двотрубним ртутним вакуумметром спочатку, пересуваючи шкалу кремальєрою 8, суміщають зріз нижнього носка з меніском ртуті в трубці 9, після чого, переміщаючи каретку з ноніусом, відлікують висоту стовпа в трубці 3.

Вакуум визначають у мм рт. ст. при температурі 0°C . Висоту ртутного стовпа, відлічену по вакуумметру при температурі t , зводять до 0°C за формулою (3.23) або (3.25), а також за допомогою поданих на рис 109 і 110 номограм. Іноді, щоб підвищити точність відліку, у ртутних вакуумметрах застосовують шкалу з дзеркалом.

Хоч ртутний вакуумметр за своїм характером є приладом лабораторного типу, проте його широко застосовують на електростанціях як основний прилад для вимірювання вакуума в конденсаторах парових турбін, оскільки він забезпечує високу точність і надійність показів, необхідних для нормальної експлуатації і наступної оцінки роботи паротурбінних установок.

10.6. Пружинні вакуумметри і мано вакуумметри

Пружинні вакуумметри за своєю будовою і принципом дії аналогічні до пружинних манометрів з одновитковою трубчастою пружиною і гармоніковою мембраною (сильфоном). Так, наприклад, під впливом атмосферного тиску, який діє зовні трубчастої пружини, і нижчого абсолютного тиску вимірюваного середовища всередині пружини, остання деформується, причому із збільшенням різниці цих тисків, тобто з підвищенням вакууму, пружина вакуумметра згинається. Щоб напрям руху стрілки вакуумметра зробити звичайним, тобто зліва направо, трубчасту пружину встановлюють у корпусі з правого боку, а хомутик від пружини до сектора — з лівого.

Пружинні вакуумметри виготовляють як технічні, контрольні і зразкові прилади. Шкалу технічних і контрольних вакуумметрів градуюють у мм рт. ст.; вона має верхню межу 760 мм рт. ст. (1 фіз. атм); шкала зразкових вакуумметрів складається з умовних неіменованих поділок (кутових градусів).

В Україні виготовляють технічні показуючі вакуумметри типів В (В-100 і В-150), ЕКМ-1 (електроконтактні) і МЕД (МЕД-03 і МЕД-06 з індукційними датчиками) з одновитковою трубчастою пружиною і технічний самопишучий вакуумметр типу ВС (ВС-410 і ВС-610) з гармоніковою мембраною, аналогічні відповідно до технічних пружинних манометрів типів М, ЕКМ-1, МЕД і МС. Через невисоку точність технічних пружинних вакуумметрів їх застосовують на електростанціях переважно як допоміжні прилади, що дублюють покази ртутних вакуумметрів.

Для перевірки робочих приладів і лабораторних вимірювань застосовують контрольний вакуумметр типу МКД-1 і зразковий типу ВО18Р, які схожі відповідно на пружинні манометри типу МКД-1 і ОМН.

Існуючі технічні мановакуумметри типів МВ (МВ-100 і МВ-150), ММ-1 і ММД (ММД-03 і ММД-06) з одновитковою трубчастою пружиною і типу МВС (МВС-410 і МВС-610) з гармоніковою мембраною, як і вакуумметри, за конструкцією аналогічні до відповідних типів пружинних манометрів. Відмінність тільки в тому, що шкала мановакуумметра продовжена вліво за нульову позначку. Вправо від нуля шкалу градуують у кГ/см^2 (до 0,6-2,5 кГ/см^2 у мановакуумметрів типу МВС і до 1-25 кГ/см^2 в інших приладів), а вліво — у мм рт. ст. (до 760 мм рт. ст.). Пружинні вакуумметри і мановакуумметри типу ММД працюють у комплекті з вторинними приладами диференціально-трансформаторної системи, згадуваними для пружинних манометрів того самого типу. Усі пружинні вакуумметри і мановакуумметри належать до тих самих класів точності, що й схожі на них за конструкцією пружинні манометри.

10.7. Встановлення і перевірка вакуумметрів

При вимірюванні вакуума велике значення має щільність з'єднувальної лінії. Похибка показів вакуумметра, підключеного до конденсатора парової турбіни, буде тим більша, чим більші нещільності порівняно з прохідним перерізом цієї лінії і чим більша її довжина. Тому внутрішній діаметр з'єднувальних трубок вибирають не менш як 8-10 мм і не допускають дуже великої довжини лінії. Усі місця з'єднань труб і запірної арматури старанно ущільнюють.

На щільність з'єднувальну лінію вакуумметра перевіряють тим самим способом, що й тягомір, тобто відключаючи працюючий прилад у місці сполучення лінії з розрідженим простором. Якщо при цьому швидкість падіння рівня ртуті у вимірювальній трубці приладу менша від 8-10 мм/хв, то щільність лінії задовільна.

Водяні пробки, які утворюються в з'єднувальній трубці внаслідок конденсації в ній пари, можуть дуже спотворити покази приладу. Тому з'єднувальні лінії вакуумметрів прокладають без перегинів з уклоном не менш як 0,05 до конденсатора.

Місце приєднання вакуумметра вибирають так, щоб на результатах вимірювань не позначився вплив динамічного напору рухомого середовища.

Пружинні вакуумметри перевіряють, порівнюючи їх покази при збільшенні і зменшенні вакуума з показами зразкового пружинного або точного ртутного вакуумметра. Для створення вакуума при перевірці приладу застосовують вакуум-насос або водострумний ежектор.

Визначення вакуума за температурою насичення пари

Поряд з іншими способами тиск у випускному патрубку парової турбіни можна визначити за допомогою вимірювання температури насичення спрацьованої пари, за значенням якої шуканий тиск визначають з таблиць для водяної пари. Однак, користуючись цим способом для визначення вакуума, треба мати на увазі, що забезпечити достатню точність вимірювання температури пари можна лише при певних умовах, які виключають вплив сторонніх факторів на покази термометра.

З дослідних даних автора випливає, що покази термометра, розміщеного

у випускному патрубку турбіни в захисній гільзі, за лежать від місця встановлення термометра. Причина цього – вплив на термометр температури стінок корпусу випускної частини турбіни через теплопровідність гільзи. У різних місцях випускного патрубка ця температура відхиляється від температури насичення спрацьованої пари внаслідок припливу тепла по стінках корпусу від передньої, більш нагрітої частини турбіни і витоку тепла до відносно холодних стінок конденсатора..

В експлуатації за температурою насичення пари вакуум вимірюють за допомогою мідного термометра опору, який встановлюють у горловині конденсатора і сполучають з розміщеним на щиті логометром типу ЛПр-53 або автоматичним зрівноваженим мостом типу ЗМД-202 з подвійною шкалою, проградуєваною в °С (0-60; 4°С), і за формулою (2.27) в процентах вакуума (80-99,4%) при нормальному атмосферному тиску (760 мм рт. ст.). Однак, як було вказано вище, цей метод вимірювання вакуума недосить точний, оскільки покази термометра опору спотворюються теплопровідністю його захисної арматури.

10.8. Барометри і баровакуометри

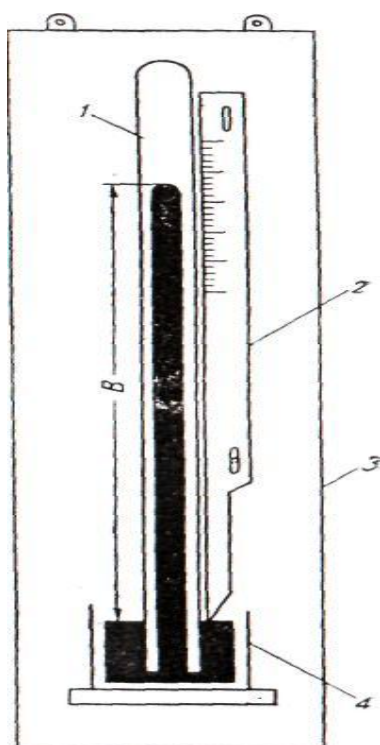


Рис. 2.30. Схема однотрубного барометра:
1 – вимірювальна трубка;
2 – шкала; 3 – дошка;
4 – скляна посудина

Вимірювання атмосферного (барометричного) тиску за допомогою барометра потрібне для точного визначення абсолютного тиску будь-якого середовища. Так, наприклад, щоб визначити за показами вакуумметра абсолютний тиск спрацьованої в турбіні пари, треба за рівністю (2.3) одночасно виміряти і барометричний тиск.

Барометри поділяються на ртутні скляні і пружинні, причому перші, як і ртутні вакуумметри, бувають однотрубні чашкові і двотрубні (U-подібні).

Найбільш поширений однотрубний ртутний барометр, зображений на рис. 2.30. У скляну посудину 4 з ртуттю занурено заповнену ртуттю скляну вимірювальну трубку 1 завдовжки близько 1 м, верхній кінець якої запаяний. Безповітряний простір (торрчелійова пустота), який утворюється у верхній частині трубки над рівнем ртуті, насичений ртутною парою. Біля вимірювальної трубки встановлена шкала 2, проградуєвана у верхній своїй частині в міліметрах або мілібарах. Увесь прилад складений на дерев'яній основі 3.

Розділ 3. ВИТРАТИ

Тема 11. Вимірювання витрати та кількості

11.1. Характеристика методів та приладів для вимірювання

Кількість речовини, яка проходить за одиницю часу по каналу, трубопроводу і т. д., називається витратою цієї речовини. Кількість і витрату речовини визначають у вагових або об'ємних одиницях вимірювання.

Ваговими одиницями вимірювання кількості звичайно є грам (г), кілограм (кг), тонна (т), а об'ємними — мілілітр (мл), літр (л) і кубічний метр (м³). Об'ємну кількість газу для порівняння іноді подають у нормальних кубічних метрах (нм³), зведених до температури 20°C і тиску 760 мм рт. ст.

Одиницями вимірювання вагової витрати, які найчастіше застосовуються, є кг/год і т/год, а об'ємної — л/хв, м³/год і нм³/год.

Перехід від вагових одиниць вимірювання до об'ємних і навпаки здійснюють за формулою

$$G = V \cdot \gamma, \quad (3.1)$$

де G — вага речовини, кг;

V — об'єм речовини, м³;

γ — питома вага речовини, кг/м³.

Для зведення об'ємної витрати сухого газу V в робочому стані до витрати V_n в нормальному стані використовують залежність

$$V_n = V \frac{p \cdot T_n}{p_n \cdot T \cdot K} \frac{\text{нм}^3}{\text{год}}, \quad (3.2)$$

де p і p_n — тиски газу в робочому і нормальному станах, кг/м²;

T і T_n — абсолютні температури газу в робочому і нормальному станах, °К;

K — коефіцієнт стисливості газу.

Прилади, які вимірюють витрату, називаються витратомірами. Залежно від роду вимірюваної речовини вони поділяються на водоміри, пароміри тощо. Витратоміри показують або записують миттєве значення вимірюваної кількості, віднесене до одиниці часу. Часто витратоміри мають додатково вбудований у них підсумовуючий механізм (інтегратор).

Для визначення кількості і витрати рідких, газоподібних та пароподібних тіл і твердих сипких речовин найчастіше застосовують чотири методи вимірювання: дросельний, швидкісний, об'ємний і ваговий.

Дросельним методом визначають витрату рідини, газу і пари. швидкісним і об'ємним — вимірюють кількість рідини і газу, а ваговим — кількість твердого палива в кусковому і пиловидному станах.

Дросельний метод вимірювання, який має велике практичне значення, ґрунтується на зміні статичного тиску середовища, що проходить через штучно звужений переріз трубопроводу, швидкісний — на визначенні середньої швидкості руху потоку і об'ємний та ваговий — на визначенні об'єму і ваги речовини.

Перевагами перших двох методів вимірювань є порівняльна простота і компактність вимірювальних пристроїв, а інших двох — вища точність вимірювань.

Згідно з існуючими методами вимірювань кількості і витрати речовини вимірювальні прилади, які застосовуються, поділяються на такі групи:

- 1) дросельні витратоміри;

- 2) швидкісні лічильники і витратоміри;
- 3) об'ємні лічильники;
- 4) витратоміри сталого перепаду;
- 5) терези.

11.2. Дросельні витратоміри

Для вимірювання витрати рідини, газу і пари, які протікають по трубопроводах, дуже широко застосовують дросельні витратоміри. Принцип дії цих приладів ґрунтується на зміні потенціальної енергії речовини при проходженні через штучно звужений прохідний переріз трубопроводу.

Дросельний витратомір складається із звужувального пристрою, який установлюють у трубопроводі, призначеного для місцевого стискання струмини (первинний прилад), диференціального манометра, призначеного для вимірювання різниці (перепаду) статичних тисків середовища до і після звужувального пристрою (вторинний прилад), і двох з'єднувальних ліній (трубок), які зв'язують обидва прилади.

Звужувальний пристрій звичайно має круглий прохідний отвір, розміщений концентрично відносно стінок труби, діаметр якого значно менший від внутрішнього діаметра трубопроводу.

Диференціальний манометр виконують показуючи або само-пишучим; додатково до цього він може мати підсумовуючий механізм (інтегратор). Шкали диференціальних манометрів найчастіше градуують у вагових або об'ємних одиницях витрати.

Як правило, дросельні витратоміри з дистанційним передаванням показів мають без шкальний диференціальний манометр з індуктивним датчиком, сполучений з одним або двома електричними вторинними приладами.

11.2.1. Звужувальні пристрої

Для вимірювання витрати речовини, яка проходить по трубопроводу, найбільш поширені три види так званих нормальних звужуючих пристроїв: діафрагма, сопло і витратомірна труба, які мають посередині круглий прохідний отвір. Основні розміри нормальних звужувальних пристроїв стандартизовані. На підставі численних досліджень для нормальних звужувальних пристроїв знайдено точні значення коефіцієнтів α і ϵ , що дає змогу застосовувати ці пристрої без попереднього тарування.

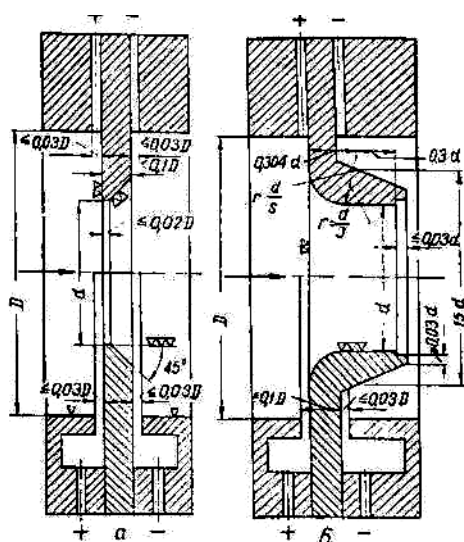


Рис. 3.1. Нормальні діафрагми і сопла: а – дискова і камерна діафрагми; б – дискове і камерне сопла

За способом відбору статичного тиску нормальні діафрагми і сопла поділяються на дискові і камерні. Найдосконаліші з них — камерні.

На рис. 3.1, а подано будову нормальної діафрагми і основні розміри приладу, віднесені до внутрішнього діаметра трубопроводу D . У

верхній частині рис. 3.1, *a* зображено половину дискової діафрагми, а в нижній – половину камерної діафрагми.

Тиск у дисковій діафрагмі відбирають за допомогою двох окремих отворів, які з'єднують трубками з диференціальним манометром. Обидва отвори розміщені в стовщеному ободі діафрагми безпосередньо до диска і після нього. Круглий прохідний отвір діафрагми від входу потоку має гостру вхідну кромку, виконану під кутом 90° . За нею розміщена вузька циліндрична частина отвору завдовжки не більш як $0,02 D$, яка закінчується на виході потоку конічним розширенням під кутом $30-45^\circ$. Діаметр отвору циліндричної частини діафрагми є розрахунковою величиною. У камерній діафрагмі тиск до диференціального манометра відбирають за допомогою двох кільцевих зрівняльних камер, які розміщені в її ободі. Камери з внутрішньою порожниною трубопроводу сполучені кільцевими щілинами. Кільцеві камери призначені усереднювати тиски по колу трубопроводу, що забезпечує точніше вимірювання перепаду тисків (особливо незначної величини) порівняно з дисковими діафрагмами. При виготовленні камерних діафрагм для трубопроводів $D \leq 200$ мм площа діаметрального перерізу камери (з одного боку від осі трубопроводу) дорівнює площі кільцевої щілини (або групи отворів, які її замінюють), а для трубопроводів $D > 200$ мм – не менш як половині цієї площі.

Точність вимірювання витрати за допомогою нормальних діафрагм, особливо при $d < 150$ мм, залежить від гостроти вхідної кромки отвору, яка впливає на величину коефіцієнта витрати α . Кромка не повинна мати заокруглень, задирок або раковин. Вона повинна бути такою гострою, щоб промінь світла, який падає на неї, не відбивався. Можлива похибка вимірювання через недостатню гостроту кромки отвору діафрагми може залежно від величини D і m досягати – 2%.

На рис. 3.1, *б* зображено дискове і камерне нормальні сопла. Основні розміри вхідного профілю сопла віднесені до діаметра прохідного отвору y . Вхідний профіль сопла утворений спряженням двох радіусів, які дають плавний перехід від передньої торцевої поверхні сопла до дуже розвинутої циліндричної частини прохідного отвору. Щоб забезпечити прямокутну вихідну кромку циліндричної частини сопла від пошкоджень, кінець профілю розточують у вигляді невеликого уступу.

Нормальні діафрагми і сопла можна застосовувати без тарування при $D \geq 50$ мм і значеннях m : для діафрагм $0,05 \leq m \leq 0,7$ і для сопел $0,05 \leq m \leq 0,65$. У випадках, коли $D < 50$ мм, звужувальний пристрій установлюють по середині ділянки трубопроводу, яку включають у лінію, з внутрішнім діаметром 50 мм і довжиною не менш як 1 м. Діаметр окремих отворів і ширина кільцевої щілини для відбору тиску в дискових і камерних звужувальних пристроях повинні бути менші від $0,03 D$, але не виходити за межі 4-15 мм для отворів і 1-5 мм для кільцевої щілини.

Отвір звужувального пристрою має бути строго концентричним з ободом приладу. Внутрішній діаметр останнього повинен точно дорівнювати внутрішньому діаметру трубопроводу D . Проточну частину нормальних діафрагм і сопел виготовляють з матеріалів, стійких проти корозії і механічного

спрацювання. Такими матеріалами є нержавіюча сталь, а в деяких випадках — латунь і бронза.

На зовнішній частині звужувальних пристроїв звичайно наносять: стрілку в напрямі потоку вимірюваного середовища; діаметр прохідного отвору; внутрішній діаметр трубопроводу, знаки « + » і «—» (відповідно до і після звуження) біля отворів, призначених для приєднання диференціального манометра; марку матеріалу; умовний тиск.

На рис. 3.2 зображено найбільш поширене конструктивне виконання нормальних діафрагм дискового і камерного типу, встановлених між фланцями трубопроводу. Таким самим способом виготовляють і встановлюють нормальні дискові і камерні сопла.

Для трубопроводів великих діаметрів (400 мм і вище) застосовують дискові діафрагми завтовшки 3-10 мм без обода, які затискають при встановленні між фланцями труб. Тиск у таких діафрагм відбирають крізь отвори, що рівномірно розташовані по довжині кола у фланцях або стінці трубопроводу. Ці отвори розміщують якомога ближче до діафрагми (на відстані не більш як $0,03D$ від її торця до найбільш віддаленого краю отвору). З зовнішнього боку трубопроводу отвори для відбору тиску з'єднують патрубками з двома (до і після діафрагми) зовнішніми кільцевими зрівняльними камерами з труб невеликого діаметра, які з'єднують двома лініями з диференціальним манометром.

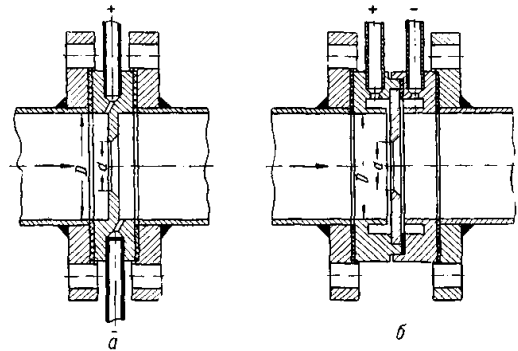


Рис. 3.2. Установлення діафрагми в трубопроводі: *a* – дискової; *б* – камерної

11.2.2. Вибір і встановлення звужувальних пристроїв

При виборі звужувального пристрою керуються допустимою величиною залишкової втрати тиску, потрібною точністю вимірювання і умовами виготовлення та встановлення звужувального пристрою в трубопроводі.

Нормальні діафрагми і сопла мають порівняно високу залишкову втрату тиску (особливо при малих значеннях m), що виникає через різке звуження струмини і раптового збільшення прохідного перерізу за приладом. Залишкова втрата для нормальних сопел трохи нижча, ніж для діафрагм, внаслідок плавного стискання струмини, що виключає її відривання від стінок проточної частини приладу. Якщо при вимірюванні тієї самої витрати діаметри отворів діафрагми і сопла вибрані так, що перепади тисків у пристроях однакові (у цьому випадку діаметр отвору в соплі буде менший, ніж у діафрагмі), то втрати тиску в них також будуть практично однакові.

Найпростішим звужувальним пристроєм є нормальна діафрагма, яку можна виготовити майже в будь-якій механічній майстерні. Виготовлення сопла зв'язане з труднощами точного виконання його профілю за попередньо виготовленим шаблоном. Витратомірна труба досить громіздка і складна для виготовлення. Нормальні діафрагми і сопла більше вивчені, вони дають вищу точність вимірювання, ніж нормальні витратомірні труби. При правильно

виконаних діафрагмах і соплах основна похибка вимірювання становить близько $\pm(0,5 \div 1)\%$. Як звужувальний пристрій найчастіше вибирають нормальну діафрагму. Сопла застосовують тоді, коли треба зменшити вплив механічного спрацювання, корозії або роз'їдання звужувального пристрою середовищем, яке протікає, на результати вимірювань. Крім того, сопла застосовують також при малих значеннях $с_1$, коли важко виготовити і зберегти в процесі вимірювання досить гостру вхідну кромку діафрагми.

На точність вимірювань дуже впливають умови встановлення звужувальних пристроїв у трубопроводах. Через неправильне встановлення пристрою похибка може значно збільшитись.

Звужувальний пристрій можна встановлювати в горизонтальній, вертикальній або похилій прямій ділянці трубопроводу. Отвори звужувального пристрою відносно осі труби треба старанно центрувати. Нормальні діафрагми і сопла центрують по кільцевому зазору між болтами фланцевого з'єднання і зовнішньою частиною обода цих пристроїв. Величина зазору навколо обода має бути рівномірною. У трубопроводі перед звужувальним пристроєм не повинно бути великих нерівностей, наприклад, виступів, зварних швів, що виступають всередину ущільнювальних прокладок, і т. д. Для цього діаметр отвору прокладок при встановленні пристрою повинен дорівнювати $1,1 D$.

11.3. Диференціальні манометри

Різницю (перепад) тисків між двома точками вимірювання в рідкому, газовому або паровому середовищі безпосередньо вимірюють так званими диференціальними манометрами. Ці прилади особливо часто використовують для вимірювання перепаду тисків у дросельних витратомірах. За своєю будовою і принципом дії диференціальні манометри майже не відрізняються від манометрів, тягонапоромірів, вакуумметрів і т. д., які вимірюють тиск речовини відносно барометричного тиску.

Залежно від конструкції і призначення диференціальні манометри поділяються на переносні і стаціонарні.

Як переносні диференціальні манометри застосовують переважно рідинні скляні, які є приладами контрольного і лабораторного типів, призначені для точних вимірювань при науково-дослідницьких і налагоджувальних роботах, а також при перевірці стаціонарних (технічних) диференціальних манометрів. Застосовують такі типи рідинних диференціальних манометрів:

- 1) двотрубний U-подібний;
- 2) двотрубний П-подібний;
- 3) однотрубний (чашковий).

Найчастіше застосовують двотрубний

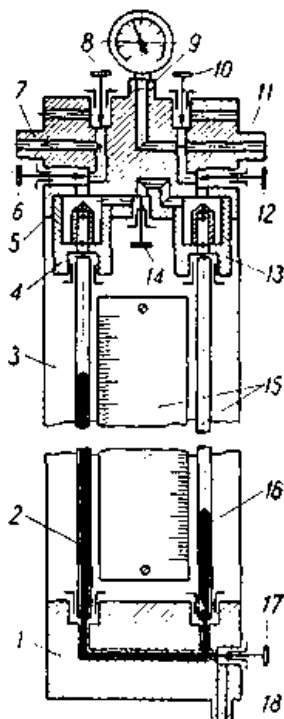


Рис. 3.3. Схема U-подібного диференціального манометра: 1 і 5 – колодки; 2 і 16 – скляні вимірювальні трубки; 4 і 13 – пастки для ртуті; 6 і 12 – запірні вентилі; 7 і 11 – штуцери; 8 і 10 – продувні вентилі; 9 – штуцер для манометра; 14 – зрівнювальний вентиль; 15 – шкала; 17 – дренажний вентиль; 18 – штуцер

U-подібний диференціальний манометр як прилад найбільш простий, надійний і зручний для вимірювань. Промисловість випускає двотрубні U-подібні диференціальні манометри типів ДТ-5, ДТ-50 і ДТ-150, розраховані на робочі тиски відповідно 5,50 і 150 кГ/см². У першому з них робочою рідиною є дистильована вода, а в усіх інших – ртуть. На рис. 3.3 подано принципіальну схему U-подібного диференціального манометра з ртутним заповненням. Прилад складається з з'єднаних внизу скляних вимірювальних трубок 2 і 16, закріплених кінцями за допомогою сальникових ущільнень у верхній і нижній сталевих колодках 1 і 5 з отворами і заповнених до половини висоти ртуттю.

У верхній колодці 5 розміщені п'ять голчастих вентилів. Вентилі 8 і 10 призначені для продування з'єднувальних ліній приладу, 6 і 12 – для включення і відключення вимірювальних трубок, а вентиль 14 – для зрівнювання в них тисків при перевірці нульової позначки шкали. Трубки 2 і 16 з'єднуються з колодкою 5 через камерні вловлювачі ртуті 4 і 13, які запобігають викиданню ртуті з приладу при випадковому перевищенні вимірюваного перепаду тисків. З'єднувальні трубки від звужувального пристрою підключають до бічних штуцерів 7 і 11 верхньої колодки за допомогою накладних гайок. Правий (плюсовий) штуцер 11 сполучений з штуцером 9, який призначений для встановлення манометра, що вимірює тиск середовища перед звужувальним пристроєм.

У нижній колодці 1 є голчастий вентиль 17, який сполучає через штуцер 18 порожнину приладу з атмосферою. За допомогою цього вентиля і штуцера прилад заповнюють ртуттю і випорожнюють його. Між вимірювальними трубками встановлено металеву міліметрову шкалу 15 з нулем по середині. Прилад змонтовано на металевій основі 3.

Основна похибка двотрубних диференціальних манометрів з ртутним заповненням ± 2 мм рт. ст., з водяним – ± 2 мм вод. ст. Двотрубний П-подібний диференціальний манометр (рис. 3.4) призначений для вимірювання невеликих перепадів тисків, які не перевищують 1 м вод. ст. Приладом можна користуватись тільки годі, коли в з'єднувальних трубках є рідина, наприклад, при вимірюванні витрати води або пари. Покази відлічують безпосередньо за різницею стовпів рідини, які перебувають нижче від повітряної подушки, утвореної у верхній частині вимірювальних трубок 3 і 5. У нижній частині приладу встановлені два триходові крани 1 і 7, сполучені з посудинами 2 і 6. За допомогою кранів 1 і 7 прилад включають у роботу і продувають з'єднувальні лінії. При включенні приладу посудини 2 і 6 є додатковими місткостями для повітря у випадку великого статичного тиску вимірюваного середовища. Через кран 4 випускають з приладу надмірну кількість повітря і цим підтягують рівні рідини у вимірювальних трубках до середини шкали. Однотрубні

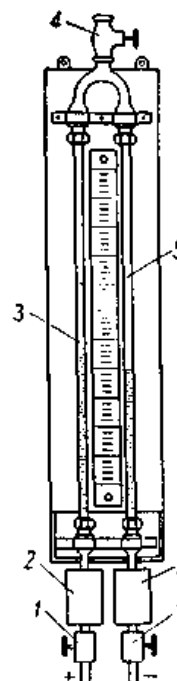


Рис. 3.4. П-подібний диференціальний манометр: 1 і 7 – крани; 2 і 6 – посудини; 3 і 5 – вимірювальні трубки; 4 – вентиль для випуску повітря

диференціальні манометри застосовують порівняно рідко, і тут ми їх не розглядатимемо.

Стаціонарні (технічні) диференціальні манометри мають шкали, проградуировані безпосередньо в одиницях витрати (т/год, м³/год і т.д.), або у відносних одиницях (процентах). За конструкцією і принципом дії вони поділяються на такі чотири види:

- | | |
|----------------|---------------|
| 1) поплавкові; | 3) кільцеві; |
| 2) мембранні; | 4) ковпакові. |

Для дросельних витратомірів найчастіше застосовують поплавкові диференціальні манометри з U-подібним розміщенням посудин з робочою рідиною, а також мембранні прилади.

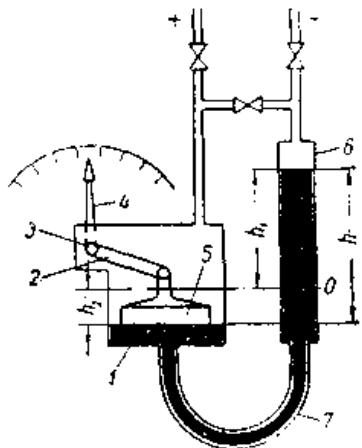


Рис. 3.5. Схема поплавкового диференціального манометра:
1 – широка посудина; 2 – важіль; 3 – вісь; 4 – стрілка; 5 – поплавець; 6 – вузька посудина; 7 – трубка

На рис. 3.5 зображено схему поплавкового диференціального манометра з U-подібним розміщенням посудин. У широку (плюсову) посудину 1 і сполучену з нею за допомогою трубки 7 вузьку (мінусову) посудину 6 залито робочу рідину (звичайно ртуть), на поверхні якої в широкій посудині плаває поплавець 5, зв'язаний за допомогою важеля 2 і осі 3 з стрілкою приладу 4. Важіль 2, з'єднаний шарнірно з поплавцем, закріплений нерухомо на осі 3, яка виходить з посудини назовні через сальникове ущільнення.

При вимірюванні граничного перепаду тисків h рівень робочої рідини в широкій посудині знижується максимально на величину h_2 , тоді як рівень її у вузькій посудині відповідно підвищується на величину h_1 .

Величини h , h_1 і h_2 зв'язані рівнянням (2.9). Зниження рівня робочої рідини в широкій посудині спричинює опускання поплавця і повертання стрілки приладу. При даному діаметрі широкої посудини і сталому ході поплавця верхня межа вимірювання перепаду тисків зумовлюється згідно з рівнянням (2.10) розміром поперечного перерізу вузької посудини і її висотою. Тому вузькі посудини приладів цього типу роблять змінними, розрахованими на різні межі вимірювань.

Внутрішній діаметр змінної посудини визначають на підставі рівнянь (2.9) і (2.10) за формулою

$$d = D \sqrt{\frac{h_2}{h - h_2}}, \quad (3.3)$$

де d і D – внутрішні діаметри змінної і широкої посудин, мм; h – граничний перепад тисків, мм; h_2 максимальне зниження рівня в широкій посудині (хід поплавця), мм.

Найбільше поширились диференціальні манометри типів ДП, ДПЭС і ДЭМП з ртутним заповненням, розраховані на тиск 160 кГ/см². Ці прилади мають внутрішній діаметр поплавкової (плюсової) посудини 78 мм і хід поплавця при граничному перепаді тисків 30,5 мм. Шкали і

діаграми їх нерівномірні (квадратичні); їх виконують іменованими і умовними (0 – 100%) Верхню межу за іменованою шкалою (діаграмою) подають в одиницях витрати і вибирають з нормального ряду чисел: 16, 20, 25, 32, 40, 63, 80, 100 і 125 з множником 10^n , де n – будь-яке ціле (додатне чи від'ємне) число або нуль. Граничні перепади тисків цих приладів змінюються від 40 до 1000 мм рт. ст. Отже, наявність 8 номерів змінних посудин дає змогу при потребі змінювати верхню межу шкали витратоміра, не змінюючи діаметра отвору звужувального пристрою. Діаграма в самопишучих приладах типу ДП приводиться в рух від годинникового механізму або синхронного двигуна. Вона має діаметр 270 мм, а корпус приладу – 367 мм. Крім лічильника, самопишучі поплавкові

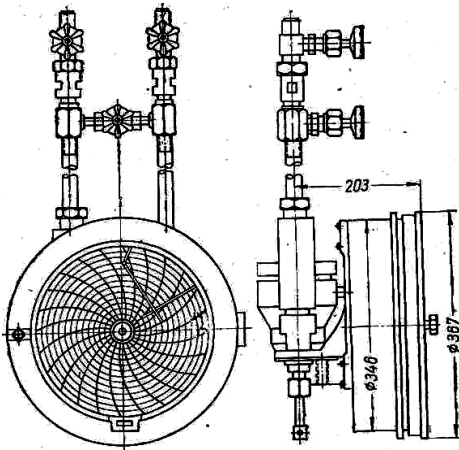


Рис. 3.6. Загальний вигляд самопишучого диференціального манометра типу ДП-612 з основними розмірами

диференціальні манометри мають так званий *відмітчик* (автоматичний планіметр), за допомогою якого на ободі діаграми позначаються радіальні штрихи. Кількість штрихів, які наносяться за одиницю часу, пропорціональна витраті. Підрахувавши кількість штрихів відмітчика, можна визначити сумарну витрату за певний проміжок часу (годину, зміну і т.д.). Для зручності відліку показів відмітчика кожний десятий штрих трохи видовжений.

Останнім часом почали застосовувати мембранні диференціальні манометри. Мембранний диференціальний манометр типу ДМ є безшкальним приладом з індукційним датчиком для дистанційного передавання показів за диференціально-трансформаторною схемою.

Прилад виготовляють на поздовжні перепади тисків 40-2500 мм рт. ст. і робочі тиски 64, 100, 160 і 250 кГ/см^2 . Чутливим елементом приладу (рис. 3.7), є мембранний блок, який складається з з'єднаних між собою мембранних коробок 1 і 2, виготовлених з бронзи або нержавіючої сталі; за допомогою штуцерів 18 і 19 ці коробки вгвинчені в сталеву роздільну діафрагму 17. Кожна коробка складається з двох зварених по краях гофрованих мембран, профілі яких збігаються за напрямом. Мембранна коробка 1 розміщена в нижній (плюсовій) камері приладу, а коробка 2 – у верхній (мінусовій). Стальні кришки 3 і 14 та діафрагма 17, які скріплені болтами 15, утворюють камери. Внутрішні порожнини мембранних коробок заповнені через ніпель 16 дистильованою водою, після чого відкритий кінець його заварено. У середній частині мембранної коробки 2 укріпленний стержень 13, що несе сталевий плунжер 11, який переміщується всередині розділювальної трубки 10 з немагнітної сталі. На цю трубку зовні надіто індукційну котушку 4 датчика, закриту ковпаком 9, на якому розміщений штепсельний рознімач для під'єднання з'єднувальних проводів. Під дією різниці тисків між нижньою і верхньою камерами диференціального манометра, яка передається за допомогою з'єднувальних трубок 5 і 12, мембранна коробка 2 стискається, витісняючи воду, яка є в ній, у коробку 1, що спричинює переміщення плунжера 11 угору. Плунжер рухається

доти, поки сила, утворена перепадом тисків, не зрівноважиться силами пружної деформації мембранних коробок. Залежно від величини граничного перепаду тисків у приладі встановлюють мембранні коробки відповідної жорсткості. Мембранний диференціальний манометр типу ДМ є безшкальним приладом з індукційним датчиком для дистанційного передавання показів за диференціально-трансформаторною схемою. Прилад виготовляють на поздовжні перепади тисків 40-2500 мм рт. ст. і робочі тиски 64, 100, 160 і 250 кГ/см².

Для зрівнювання тисків в обох камерах приладу при перевірці нуля призначений вентиль 8.

Диференціальний манометр типу ДМ, як і пружинний манометр типу МЗД (рис. 2.19), працює в комплекті з одним із вторинних електронних приладів диференціально-трансформаторної систем типів ЗПІД, ЗПВИ-14, ДС1, ДСР1, ДПР і МСІР. Кільцеві диференціальні манометри типу ДК випускають з водяним, масляним і ртутним заповненням; вони бувають механічні (показуючі і самопишучі) і з індуктивним датчиком (показуючі і безшкальні) для дистанційного передавання показів за схемою індуктивного моста. Прилади з водяним і масляним заповненням розраховані на максимальні перепади тисків 25-250 мм вод. ст. і робочий тиск 0,25 кГ/см², а з ртутним – на межі 25-250 мм рт. ст. і тиск 40 кГ/см². Шкали приладів рівномірні з верхніми межами, які відповідають нормальному ряду чисел; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25 і 32 з множником 10ⁿ де n – будь-яке ціле (додатне чи від'ємне) число або нуль. Дільниця шкали в діапазоні 0-20% є неробочою. Прилади мають прямокутний металевий корпус, пристосований для заглибленого або виступаючого монтажу.

Диференціальні манометри типу ДК з індуктивним датчиком працюють у комплекті з одним або двома вторинними електричними приладами типів ЗВП і ЗВС (показуючі і самопишучі) і ЗВПС та ЗВСС (показуючі і самопишучі з інтеграторами), які мають таку саму будову, як і вторинні прилади типу 3. Клас точності механічних диференціальних манометрів 1,5, а з індуктивним датчиком — 2 і 2,5.

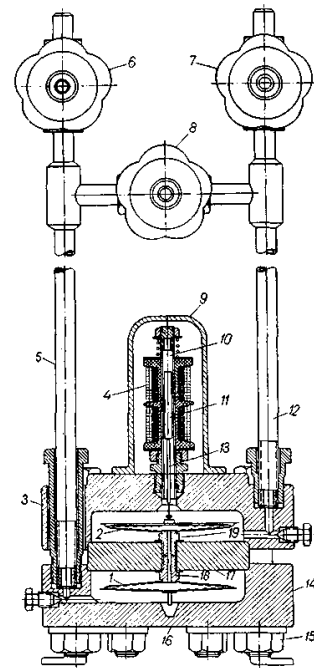


Рис. 3.7. Мембранний диференціальний манометр типу ДМ:

- 1 і 2 – мембранні коробки;
- 3 і 14 – кришки; 4 – індукційна котушка; 5 і 12 – з'єднувальні трубки;
- 6 і 7 – запірні вентиля; 8 – зрівняльний вентиль; 9 – ковпак; 10 – розділювальна трубка; 11 – плунжер; 13 – стержень; 15 – болти; 16 – ніпель; 17 – роздільна діафрагма; 18 і 19 – штуцери

11.3.1. Встановлення і перевірка диференціальних манометрів

Диференціальні манометри і вторинні електричні прилади встановлюють у місцях, які не зазнають вібрацій, а також недопустима дія високої або низької температури і вологості навколишнього середовища. Вплив температури не повинен спричинювати, в приладі з електричним передаванням показів, перегріву індуктивних котушок. Щоб покази не запізнювались,

довжина з'єднувальних трубок (ліній) звичайно не перевищує 50 м, а внутрішній діаметр їх становить не менш як 10 мм. Для забезпечення вільного видалення її з'єднувальних трубок води (газові лінії) і повітря (водяні лінії) їх прокладають вертикально або з уклоном не менш як 0,1 в бік продувних вентилів, газозбірників або відстійних посудин. Утворення в з'єднувальних трубках повітряних пробок при вимірюванні витрати рідини або пари та водяних – при вимірюванні витрати газу (повітря) – значно спотворює результати вимірювання. Тому з'єднувальні лінії періодично продувають.

Диференціальний манометр можна встановлювати вище або нижче звужувального пристрою. При вимірюванні витрати рідини бажано встановлювати манометр нижче звужувального пристрою, щоб утруднити потрапляння газу з трубопроводу в з'єднувальні трубки. А коли диференціальний манометр встановлюють вище звужувального пристрою, то у верхніх точках ліній встановлюють газозбірники з продувними вентилями. При вимірюванні витрати газу (повітря) диференціальний манометр доцільно встановлювати вище звужувального пристрою. Якщо ж, навпаки, з'єднувальні трубки розміщені нижче, то в нижніх точках ліній встановлюють відстійні посудини для води, яка утворюється при конденсації пари, що є в газі.

Диференціальні манометри дросельних витратомірів у межах усієї шкали перевіряють як на місці встановлення приладу, так і в лабораторії. Перед перевіркою диференціальний манометр оглядають, чистять або ремонтують. Разом з цим перевіряють звужувальний пристрій, який працює в комплекті з даним приладом.

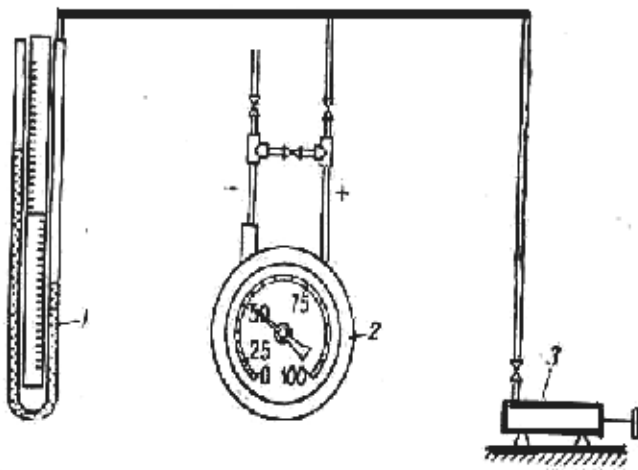


Рис. 3.8. Схема перевірки диференціальних манометрів:
1 – зразковий рідинний манометр; 2 – перевірюваний диференціальний манометр; 3 – повітряний прес (насос)

На рис. 3.8 зображено схему перевірки диференціальних манометрів. Технічний прилад 2 і зразковий прилад 1 (ртутний або водяний манометр) приєднують з боку плюсових трубок до повітряного преса (насоса) 3, призначеного для створення штучних перепадів тисків, які відповідають визначеним позначкам шкали (діаграми) приладу.

Перед початком перевірки манометрів перевіряють щільність їх встановлення, для чого при закритому зрівняльному вентилі і відкритих запірних вентилях приладу створюють пресом тиск, який потрібний для відхилення стрілки (пера) на граничне значення шкали (діаграми). Якщо за 5 хв. стрілка (перо) при легкому постукуванні по корпусу приладу не зміщується в бік зменшення показів, установка вважають щільною. Перевірку технічного диференціального манометра починають з визначення положення нульової точки за допомогою відкривання зрівняльного вентиля. Потім покази приладу

перевіряють не менш як у шести точках шкали (діаграми), які відповідають 30, 40, 50, 60, 80 і 100% верхньої межі при збільшенні (прямий хід) і зменшенні (зворотний хід) перепадів тисків.

Інтегратор диференціального манометра перевіряють при сталих перепадах тисків, які відповідають 30, 50, 80 і 100% верхньої межі шкали при прямому і зворотному ходах. При кожному значенні перепаду тисків час роботи інтегратора точно вимірюють за допомогою секундоміра.

11.4. Швидкісні лічильники та витратоміри

Швидкісний метод визначення кількості та витрати рідини і газу, який має ряд переваг, зокрема простоту будови вимірювальних приладів і значний діапазон вимірювань, покладений в основу багатьох конструкцій лічильників і витратомірів. Принцип дії цих приладів полягає у вимірюванні середньої швидкості руху речовини, зв'язаній з витратою V співвідношенням

$$V = \omega_{cp} F \text{ м}^3/\text{сек}, \quad (3.4)$$

де ω_{cp} – середня швидкість руху речовини, $\text{м}/\text{сек}$;

F – поперечний переріз потоку, м^2 .

За конструкцією і призначенням швидкісні лічильники і витратоміри поділяють на такі групи:

1) *швидкісні лічильники для рідини;*

2) *напірні трубки;*

3) *анемометри.*

Швидкісні лічильники для рідини найчастіше застосовують для вимірювання кількості води, через що вони називаються *швидкісними водомірами*. Як чутливий елемент ці прилади мають вертушку з лопатками, яку в обертання приводить потік вимірюваної рідини. Вісь вертушки за допомогою передавального механізму, який зменшує число обертів, зв'язана з лічильним механізмом приладу.

Число обертів вертушки водоміра за секунду n пропорціональне середній швидкості руху потоку ω_{cp} тобто

$$n = C \omega_{cp}, \quad (3.5)$$

де C – коефіцієнт пропорціональності.

Середня швидкість руху рідини зв'язана з витратою рівнянням (3.4), звідки, підставляючи її значення в рівняння (3.5), дістанемо

$$n = C \frac{V}{F}. \quad (3.6)$$

З рівняння (3.6) випливає, що число обертів вертушки також пропорціональне витраті рідини, завдяки чому будова приладу значно спрощується. Однак при дуже малих витратах спостерігається відхилення від цієї залежності внаслідок перетікання рідини через зазори між лопатками вертушки та корпусом водоміра і наявності тертя рухомої системи в опорах. Щоб зменшити сили тертя, вертушку і її вісь виготовляють якомога легшими, застосовуючи відповідні матеріали і порожнисті конструкції. Крім того, число обертів вертушки швидкісного водоміра помітно змінюється залежно від

профілю швидкостей потоку до і після приладу. Тому рівняння (3.5) і (3.6) справедливі лише тоді, коли рухома рідина не збурюється різними місцевими опорами (згинами трубопроводу, вентилями і т.д.), розміщеними поблизу водоміра.

Щоб вирівняти (заспокоїти) потік, перед вертушкою з боку ходу рідини встановлюють струминовипрямляч і прямі ділянки трубопроводу до і після водоміра; довжини їх вибирають залежно від міри збурення потоку.

За формою вертушки швидкісні водоміри поділяються на дві групи: *крильчаті* і *з гвинтовою вертушкою*. Вертушка крильчатого водоміра має прямі лопатки, напрямлені радіально до її осі, тоді як у водоміра з гвинтовою вертушкою лопатки зігнуті по гвинтовій лінії. Вісь вертушки в крильчатих водомірів розміщена перпендикулярно до

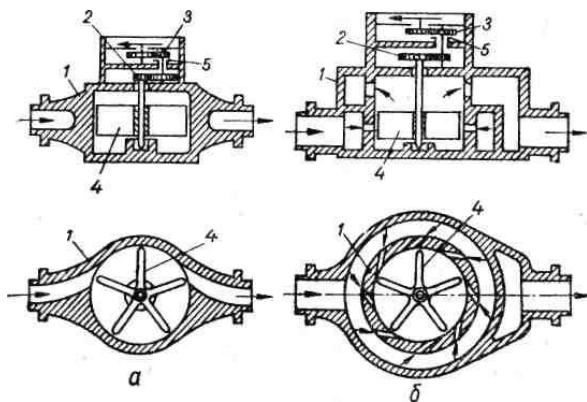


Рис. 3.9. Схеми крильчатих водомірів:
а – однострумний; *б* – багато струмний.
 1 – корпус; 2 – передавальний механізм; 3 – лічильний механізм; 4 – вертушка; 5 – сальник

водоміри виготовляють для холодної (до 30°C) і гарячої (до 90°C) води при робочому тиску до 15 кг/см². У холодноводних водомірів вертушка виготовлена з целулоїду, пластмаси або металу (латуні), а в гарячоводних — тільки з металу. Для зовнішнього розпізнавання корпус гарячоводних водомірів фарбують зовні в червоний колір.

Розмір водомірів, установлюваних у трубопроводах, визначається діаметром їх приєднувальних патрубків (вхідного і вихідного), який вимірюють у міліметрах і називають *калібром* водоміра.

Для порівняння пропускної здатності різних типів водомірів за загальний показник беруть умовну витрату рідини в м³/год, що називається *характерною витратою*, при якій гідравлічний опір водоміра (втрата напору) дорівнює 10 м вод ст. (1 кг/см²). Нормальне навантаження водоміра становить значно меншу величину, ніж характерна витрата, яка спричинює порівняно великий гідравлічний опір і швидке спрацювання рухомих частин приладу.

водомірів розміщена перпендикулярно до напрямку потоку, а у водомірів з гвинтовою вертушкою – паралельно йому. Крильчаті водоміри призначені для встановлення в горизонтальних трубопроводах і застосовуються для вимірювання малих витрат води (до 6 м³/год). Водоміри з гвинтовою вертушкою можна встановлювати в горизонтальному, похилому і вертикальному положеннях; їх виготовляють для вимірювання великих витрат води (до 600 м³/год). Швидкісні

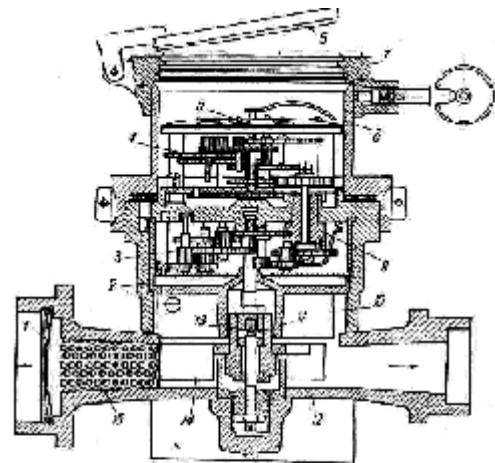


Рис. 3.10. Одно струмний крильчатий водомір типу ВК:
 1 – сітка; 2 – чашка; 3 – передавальний механізм; 4 – лічильний механізм;
 5 – циферблат; 6 – кришка; 7 – оправа;
 8 – велика стрілка; 9 – сальник

Залежно від способу підведення води до вертушки крильчасті водоміри бувають *одноструминні* і *багатоструминні*. На рис. 3.9, а подано схему одноструминного крильчатого водоміра. У корпусі приладу 1 є два тангенціально напрямлені канали для входу і виходу води, яка діє на лопаті вертушки 4. Лічильний механізм 3 від'єднаний від порожнини вертушки і передавальний механізм 2 за допомогою сальникового ущільника 5.

Багатоструминний крильчатий водомір (рис. 3.9, б) має в центральній частині корпуса 1 ряд тангенціально напрямлених каналів, для входу води, яка потрапляє на лопаті вертушки 4. Вода окремими струминами проходить через вертушку знизу вгору і виходить з водоміра через верхні бічні отвори. В усьому іншому його-будова така сама, як і одноструминного водоміра.

На рис. 3.10 зображено поперечний переріз крильчатого водоміра типу ВК. У бронзовому корпусі 12, що має на вихідному й вхідному патрубках

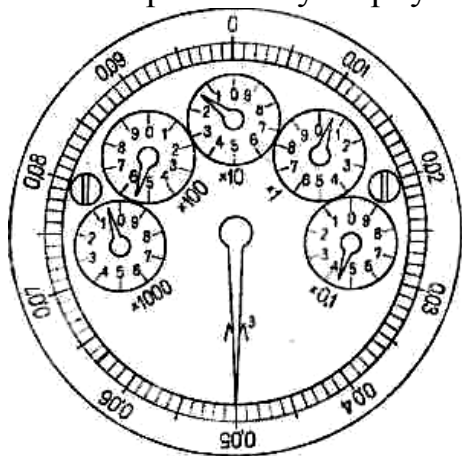


Рис. 3.11. Циферблат крильчатого водоміра

різьбу для з'єднання приладу з трубопроводом, розміщена закріплена на верткальній трубчастій осі 13 вертушка 14 з радіальними лопатками. Усередині розширеної частини вхідного патрубка встановлена металева сітка /, яка захищає водомір від засмічування. За сіткою по ходу води розміщена поздовжня пластина 15 з отворами, яка виконує роль струминовипрямляча і регулятора. Вісь вертушки агатовим підп'ятником спирається на kern 11, з'єднуючись у верхній частині з передавальним механізмом 3, затопленим водою. Останній зменшує число обертів ведучої осі 13 і зв'язаний з стрілочним лічильним механізмом 4 віссю, яка проходить крізь сальник 9. Над

лічильним механізмом установлений циферблат 5, який має шість кругових шкал з великою стрілкою 8 і п'ятьма малими стрілками, закритий зверху склом у кільцевій оправі 7 і відкидною запобіжною кришкою 6. Над вертушкою в корпусі приладу розміщена чашка 2 із закріпленою на ній регулювальною пластиною 10. Шкала великої стрілки крильчатого водоміра (рис. 3.11) розбита на 100 частин з ціною поділки $0,001 \text{ м}^3$ (1 л), а шкала кожної з малих стрілок — на 10 частин з ціною поділки 0,1; 1; 10; 100 і 1000 м^3 . Місткість лічильного механізму водоміра дорівнює 10000 м^3 ; дальший відлік показів починають знову від нуля.

Для гарячоводних водомірів нормальне (стале) і найбільше (тимчасове) навантаження зменшують на 30%, а найменше, навпаки, збільшують на 30%.

Крильчаті водоміри встановлюють на прямих горизонтальних ділянках трубопроводів без обвідної лінії у відповідності з нанесеною на корпусі приладу стрілкою, яка показує напрям потоку рідини. Швидкісні водоміри з гвинтовою вертушкою, яка являє собою багатоходовий гвинт з дуже великим кроком, можна застосовувати, як зазначалось вище, для вимірювання значних витрат води. Число обертів гвинтової вертушки пропорціональне швидкості потоку рідини і обернено пропорціональне кроку лопатей.

На рис. 3.12 зображено поздовжній розріз водоміра типу ВВ з горизонтальною гвинтовою вертушкою. У чавунному корпусі 9, який має фланці для приєднання до трубопроводу, установлена вертушка 12 з рядом зігнутих по гвинтовій лінії лопатей, розміщена паралельно напрямку потоку. Для зменшення ваги вертушки центральну циліндричну частину її роблять порожнистою.

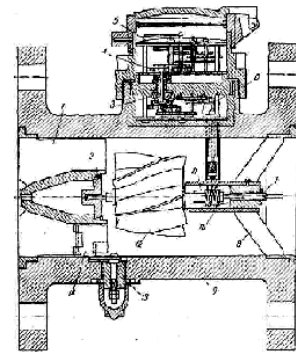


Рис. 3.12. Поздовжній розріз водоміра типу ВВ з гвинтовою вертушкою:

- 1 – струмовипрямач; 2 і 7 – підшипники; 3 – сальник;
- 4 – лічильний механізм; 5 – циферблат; 6 – передавальний механізм; 8 – кронштейн;
- 9 – корпус; 10 – черв'як; 11 – черв'ячне колесо;
- 12 – вертушка; 13 – важіль регулятора; 14 – регулятор

На осі вертушки перед заднім підшипником 7 з агатовим під'ятником, закріпленим на кронштейні 8, який складається з чотирьох радіально розміщених пластин, насаджено черв'як 10, зчеплений з черв'ячним колесом 11. Це колесо передає обертання передавальному механізму 6, який міститься в рідині і з'єднаний за допомогою осі, пропущеної через сальник 3, з стрілочним лічильним механізмом 4, який має таку саму будову, як і в крильчатого водоміра (рис. 3.11). Для забезпечення сталості кута входу струмини рідини перед вертушкою встановлений струмовипрямляч 1, який складається з пучка радіально закріплених прямих пластин. Кінець однієї з них виготовляють так, що він може повертатись навколо вертикальної осі й утворювати лопать 14, яка призначена для регулювання водоміра за допомогою важільного регулятора 13. У центральній частині струмовипрямляча закріплено передній підшипник 2 осі вертушки.

Іноді калібр водоміра з гвинтовою вертушкою вибирають меншим, ніж діаметр трубопроводу, що потребує застосування конічних переходів.

Водоміри для гарячої води мають нормальну і найбільшу допустиму витрати на 35-45% нижчі, ніж зазначені у таблиці.

Однак найменша допустима витрата в них у 2-4 рази вища внаслідок великого зазору між вертушкою і корпусом.

Водоміри калібром 50 і 80 мм мають найменшу ціну поділки шкали 0,01 м³ і місткість лічильника 100000 м³, а водоміри калібром понад 100 мм – відповідно 0,1 і 1 000 000 м³. водоміри з гвинтовою вертушкою найчастіше встановлюють у горизонтальних ділянках трубопроводу, хоч при висхідному потоці допускається розміщення приладу і в похилих і у вертикальних трубах. Для заспокоювання потоку довжину прямої ділянки трубопроводу вибирають таку, щоб перед водоміром вона дорівнювала 10D і після водоміра 5D) (де D – діаметр трубопроводу). Гідравлічний опір водомірів становить звичайно 200-250 мм вод. ст.

Основна похибка показів швидкісних водомірів дорівнює $\pm(2-3)\%$ дійсного значення. Область застосування швидкісних водомірів у теплових установках обмежується вимірюваннями витрати сирої (технічної) води і мазуту. Найбільше поширились водоміри цього типу у водопровідній комунальній техніці і водяних теплових сітках теплофікаційних установок для обліку відпущених споживачам, води і тепла.

Швидкісні водоміри в трубопроводах установлюють з обвідною лінією і без неї залежно від місцевих умов експлуатації. Пошкодження цих приладів не припиняє подавання води. При нерухомій (застопореній) гвинтовій вертушці гідравлічний опір водоміра зростає приблизно в 3 рази.

Швидкісні водоміри перевіряють і регулюють на випробувальних водомірних установках. Похибку приладів визначають, порівнюючи їх покази з об'ємом води, яка надійшла через водомір у вимірювальний бак випробувальної установки. При відхиленнях показів вище від допустимої величини прилад регулюють: у водоміра з гвинтовою вертушкою — змінюючи положення лопаток регулятора, а в крильчатих — піднімаючи або опускаючи вертушку і змінюючи положення регулювальної та струминовипрямної пластин.

11.5. Анемометри

Для безпосереднього визначення швидкості газових (повітря них) потоків, особливо при малих її величинах, коли внаслідок незначного динамічного тиску вимірювання напірними трубками не забезпечує потрібної точності, застосовують порівняно прості вимірювальні прилади, які називаються анемометрами. Ці при лади придатні для вимірювання газових потоків, які перебувають під невеликим надлишковим тиском.

За допомогою анемометрів швидкість газового потоку визначають у точці розміщення приладу, отже, визначаючи швидкісне поле в трубопроводі, а за ним середнє значення швидкості потоку, можна мати уявлення про витрату вимірюваного середовища. Анемометри застосовують для визначення продуктивності повітродувних і повітровидаляючих пристроїв у промислових установках, зокрема вентиляційних, а також широко використовують при метеорологічних вимірюваннях.

Чутливим елементом анемометра є легка вертушка (з алюмінію або слюди) з чотирма — вісьмома радіально розміщеними лопатями того чи іншого профілю, вісь якої зв'язана з показуючим або підсумовуючим (лічильним) пристроєм за допомогою механічної передачі.

У газовому потоці завдяки тиску газу на лопаті вертушка приходить в обертальний рух з швидкістю, яка пропорціональна швидкості потоку.

За формою лопатей вертушки анемометри поділяють на *крильчаті* і *чашкові*. Крильчаті прилади придатні для вимірювання швидкостей потоку в межах 0,1-10 м/сек, а чашкові — 1-30 м/сек.

Крильчатий анемометр (рис. 3.13) являє собою металеве кільце 3, всередині якого на горизонтальній осі закріплена вертушка 4 з плоскими лопатями, які сидять зіркоподібно на спицях під кутом 45°, до площини, перпендикулярної до осі вертушки. При вимірюванні анемометр установлюють так, щоб вісь вертушки була паралельна напрямку потоку, який проходить через кільце приладу.

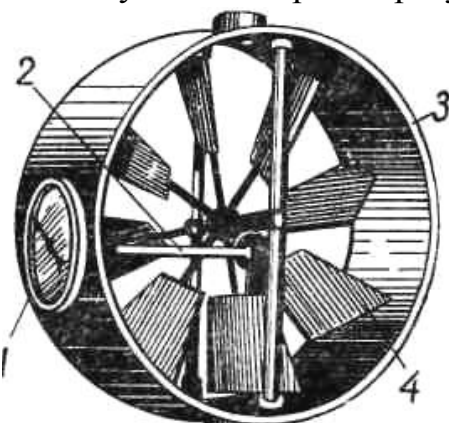


Рис. 3.13. Крильчатий анемометр: 1 – лічильний механізм; 2 – вісь; 3 – кільце; 4 – вертушка

За допомогою черв'ячної пари і осі 2 обертання вертушки передається лічильному механізму 1, який міститься на зовнішній бічній сторони кільця.

Лічильний механізм приладу підсумовує відстань, пройдену центром ваги окремої лопаті за час, відлічений секундоміром, який включають і виключають одночасно з початком і кінцем роботи анемометра. На підставі середньої швидкості обертання лопатей, яку дістають від ділення показів анемометра на час його роботи, визначають дійсну швидкість вимірюваного потоку за доданим до приладу атестатом або графіком.

При куті нахилу (атаки) лопаток вертушки, який дорівнює 45° , і відсутності сил тертя колова швидкість центра ваги лопатки повинна дорівнювати швидкості потоку газу. Однак через наявність тертя дійсна швидкість потоку трохи більша, ніж відлічена по анемометру. Потрібну поправку до показів анемометра визначають при його таруванні за еталонним приладом в аеродинамічній трубі. Поправка не повинна бути більша за $+10\%$ дійсної величини швидкості потоку. У протилежному разі анемометр треба відрегулювати.

Коли витрату вимірюють у круглому трубопроводі, його діаметр повинен дорівнювати не менш як 6-8 діаметрам кільця анемометра.

Будову чашкового анемометра зображено на рис. 3.14. Прилад

складається з вертушки 3, яка являє собою чотири чашкоподібні лопаті у вигляді півкуль, насаджених на горизонтальну хрестовину і повернутих угнутістю в один бік. За допомогою осі 4, яку встановлюють перпендикулярно до напрямку потоку, обертання вертушки передається лічильному механізму 2, який міститься в корпусі. Аретиром 6 включають і виключають лічильний механізм, який має велику стрілку з шкалою, поділеною на 100 поділок (кожна з поділок дорівнює одному оберту вертушки), і дві малі стрілки з шкалами (поділеними кожна на 10 поділок) для відлічування сотень і тисяч обертів. Для керування анемометром на відстані до вушка аретира прив'язують з обох боків шнурок і протягують його крізь кільця 5. Конусний гвинт 1 призначений для кріплення анемометра до дерев'яної державки. На рис. 3.14 зображено також схему розміщення вертушки чашкового анемометра в газовому потоці. Струмини газу, які потрапляють на угнуту частину лопаті, створюють більший обертаючий момент, ніж струмини, які діють на опуклу частину протилежної лопаті, з якої вони зісковзують убік. Під впливом різниці цих моментів вертушка обертається за стрілкою годинника незалежно від напрямку потоку в площині розміщення лопатей. За дослідними даними колова швидкість центра ваги чашкоподібних лопатей дорівнює приблизно 30-35% швидкості потоку. Точно цю залежність установлюють, виходячи з тарувальних даних приладу, зазначених в його атестаті.

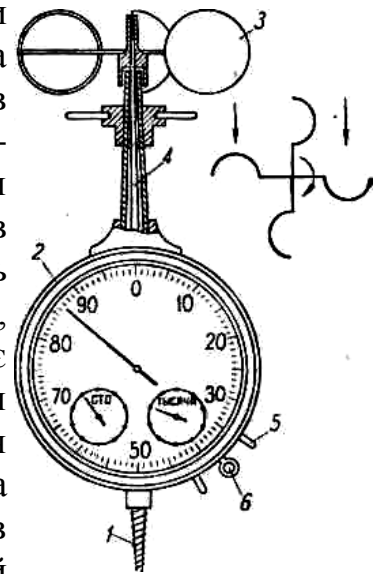


Рис. 3.14. Чашковий анемометр:

- 1 – конусний гвинт; 2 – лічильний механізм; 3 – вертушка; 4 – вісь; 5 – кільця; 6 – аретир

Чашкові анемометри застосовують тільки при вимірюванні швидкостей вільних повітряних потоків, оскільки в неоднорідному потоці вони дають неправильні покази.

Анемометри непридатні для вимірювань у пульсуючому потоці. Тривалість окремих вимірювань вибирають у межах 1,5-2 хв. У кожному новому положенні приладу роблять кілька відліків показів лічильного механізму і секундоміра, за якими потім визначають середню швидкість.

Відхилення площини обертання лопатей вертушки від правильного положення відносно напрямку потоку на кут у межах до $\pm 10^\circ$ дає незначне зменшення показів анемометра (похибка не більш як 1%). Дальше збільшення кута відхилення призводить до різкого зростання похибки вимірювань.

Крім зазначених конструкцій анемометрів, які мають лічильний механізм (підсумовуючі прилади), застосовують також анемометри показуючого типу. До них належить так званий анемотахометр, який діє під впливом відцентрової сили. Вісь вертушки цього приладу несе на собі відцентрові тягарці (або рамку, яка повертається), зв'язані з стрілкою, що пересувається по шкалі, проградуєваної в одиницях швидкостей потоку. При цьому секундоміром користуватись не треба. Другий тип показуючого анемометра виготовляють з насадженням на вісь вертушки ротором мініатюрного генератора змінного струму. Залежно від швидкості обертання вертушки змінюється створювана генератором напруга, яку визначає електровимірювальний прилад з шкалою, проградуєваною в м/сек.

11.6. Об'ємні лічильники

Принцип дії об'ємних лічильників ґрунтується на відмірюванні певного об'єму речовини, яка проходить через прилад, і підсумовуванні результатів цих вимірювань. До таких пристроїв належать:

- 1) *мірні баки;*
- 2) *об'ємні лічильники для рідини;*
- 3) *об'ємні лічильники для газу.*

11.6.1. Мірні баки

Мірний бак є найпростішим і водночас найточнішим вимірювальним пристроєм, який застосовують для визначення витрати рідини при перевірці лічильників і витратомірів, а також при випробуванні різних агрегатів. Схему встановлення мірних баків зображено на рис. 3.15. Пристрій складається з двох спарених однакових мірних баків 12 і 13 прямокутного, сталого по висоті перерізу (іноді застосовують два окремі мірні баки круглої або прямокутної форми) і одного витратного бака 1. У середині мірних баків установлюють заспокоювачі 4 і 9, виготовлені у

вигляді відкритих з кінців патрубків з великим числом отворів у бічних стінках. Обидва мірні баки мають вказівні стекла 2 і 11, поряд з якими укріплені міліметрові шкали 3 і 10. Вимірювана рідина, яка тече по трубопроводу 5, надходить по черзі в кожний з мірних баків по перекидному жолобу 7. Для випускання рідини з мірних баків у витратний є спускні патрубки з запірними клапанами 6 і 8. Кожний мірний бак спочатку тарують, тобто визначають залежність між висотою бака і його внутрішнім об'ємом.

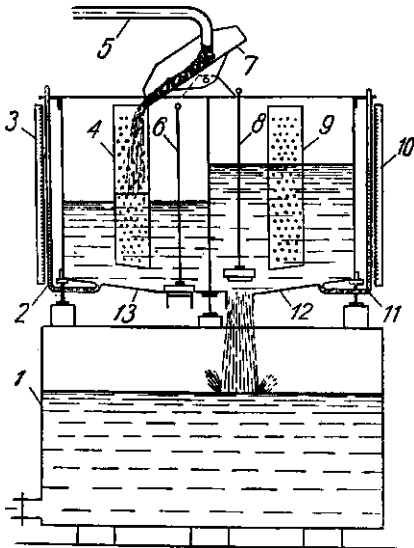


Рис. 3.15. Встановлення баку: 2 і 11 – вказівні стекла; 3 і 10 – мірних баків; 1 – витратний шкали; 4 і 9 – заспокоювачі; 5 – трубопровід; 6 і 8 – запірні клапани; 7 – перекидний жолоб; 12 і 13 – мірні баки

Тарування звичайно здійснюють ваговим методом, для чого в мірний бак із заздалегідь змоченими внутрішніми стінками і закритим спускним патрубком по черзі виливають порції зваженої води, відлічуючи після кожної з них рівень по вказівному склу. Об'єм кожної порції води, вилитої в мірний бак, визначають за її вагою і температурою. Результати тарування баків подають графічно у вигляді залежності між висотою рівня води H у вказівному склі і об'ємом води V у баці:

$$H = f(V). \quad (3.7)$$

Місткість кожного мірного бака повинна дорівнювати 10-12% максимальної годинної витрати вимірюваної ним рідини. Об'єм витратного бака повинен бути не менший від об'єму обох мірних баків. Для підвищення точності вимірювання поперечний переріз мірних баків роблять по можливості невеликим, а висоту – не менш як 1,3-1,5 м.

Вагову витрату рідини G , виміряну за допомогою баків, визначають за формулою:

$$G = \frac{\{(V'_1 + V'_2 + \dots + V'_n) + (V''_1 + V''_2 + \dots + V''_n)\} \gamma}{n}, \quad (3.8)$$

де V'_1, V'_2 – і т. д. об'єми рідини при окремих вимірюваннях, які визначають за тарувальними кривими першого і другого мірних баків залежно від висоти рівня у вказівних стеклах;

γ – питома вага рідини при вимірюванні;

n – тривалість вимірювання витрати.

11.6.2. Об'ємні лічильники для рідини

Об'ємні лічильники для рідини застосовують для вимірювання кількості води або рідкого палива. Далі їх розглядатимемо під загальною назвою *об'ємні водоміри*, оскільки порівняно часто ними вимірюють кількості води.

Є два види об'ємних водомірів: *відкриті*, тобто такі, які діють під

атмосферним тиском, і *закриті*, які встановлюють безпосередньо на трубопроводах, що працюють під тиском.

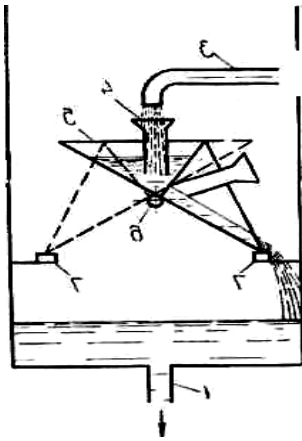


Рис. 3.16. Схема водоміра з коливними посудинами:
1 – зливний патрубок;
2 – приймальний бак;
3 – подавальний трубопровід;
4 – лійки; 5 – мірний бачок; 6 – вісь;
7 – буфери

На рис. 3.16 подано схему відкритого водоміра з коливними посудинами. Водомір складається з відкритого приймального бака 2, усередині якого на осі 6 коливається мірний бачок 5, поділений перегородкою на дві однакові призматичні посудини трикутної форми. Кожна мірна посудина має лійку 4 для наповнення її рідиною з подавального трубопроводу 3. Посудину випорожняють у приймальний бак, звідки рідина відводиться самопливом через зливний патрубок 1. Коливання бачка обмежують упорні буфери 7 з гумовими подушками, призначеними для послаблення ударів.

У міру наповнення рідиною однієї з мірних посудин центр ваги рухомої системи поступово переміщується в бік зливного кінця цієї посудини, що в момент наповнення останньої зумовлює перекидання бачка. При перекиданні мірної посудини з рідиною у приймальний бак другої, випорожненої, мірна посудина піднімається і стає лійкою під подавальний трубопровід для чергового наповнення. Отже, мірні посудини коливального бачка позмінно наповнюються і випорожняються, причому кожний хід бачка відповідає певному об'єму відміряної рідини. З'єднаний з віссю 6 лічильний механізм із шкалою, проградуєваною в об'ємних одиницях, лічить число ходів бачка.

Водоміри з коливальним бачком мають місткість мірної камери 0,5-50 л і пропускну здатність 0,2-6 м³/год. Похибка показів приладу $\pm 2\%$ дійсного значення. Треба зазначити, що точність вимірювання цього водоміра набагато залежить від швидкості витікання води з подавального трубопроводу, оскільки в момент перекидання мірних посудин до них деякий час ще надходить кількість рідини, яку не обліковує прилад.

Закриті об'ємні водоміри на відміну від швидкісних мають складнішу будову. їх треба старанно виготовляти і уважно обслуговувати. В основному вони призначені для вимірювання рідин, які не містять механічних домішок (конденсату, бензину, масла і т. д.). Об'ємні водоміри бувають дисковими, поршневыми, барабанными, шестерінчастими і т. д. Дисковий водомір типу ВД, зображений на рис. 3.17, застосовують для обліку живильної води в

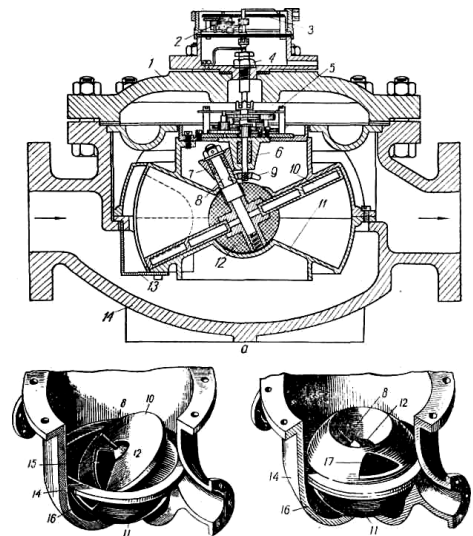


Рис. 3.17. Дисковий водомір типу ВД:
а – переріз; б і в – деталі:
1 – кришка; 2 – лічильний механізм;
3 – циферблат; 4 – сальник; 5 – передавальний механізм; 6 – напрямний ролик; 7 – ведучий ролик; 8 – вісь; 9 – крильце; 10 – диск; 11 – вимірювальна камера; 12 – кульова п'ята; 13 – сітчастий фільтр; 14 – корпус; 15 – радіальна перегородка; 16 – вхідний отвір; 17 – вихідний отвір

котельнях невеликої потужності і мазуту при нафтових топках. Принцип дії цього приладу полягає у витісненні з камери певного об'єму рідини диском, який здійснює коливальний рух. Водомір має чавунний корпус 14 з кришкою 1, всередині якого закріплена бронзова вимірювальна камера 11, обмежена з боків кульовою поверхнею, а згори і знизу – двома конічними поверхнями, повернутими вершинами одна до одної.

Усередині вимірювальної камери розміщений порожнистий диск 10, який щільно прилягає до її стінок і закріплений разом з віссю 8 на кульовій п'яті 12, що обертається у підп'ятнику. Для води диск і п'яту виготовляють з бронзи, а для нафти — з чавуну. Диск має проріз, в який входить радіальна перегородка 15, що перешкоджає його обертанню і одночасно відокремлює вхідний отвір 16 у бічній стінці вимірювальної камери від розміщеного поряд вихідного отвору 17. Ці отвори відповідно з'єднують з вхідним і вихідним патрубками корпуса водоміра. Для очищення рідини від механічних домішок перед вхідним отвором вимірювальної камери встановлюють сітчастий фільтр 13.

Рідина, яка надходить у вимірювальну камеру через вхідний отвір, тисне на диск і примушує його здійснювати коливальний рух. При цьому кінець осі диска описує навколо вертикальної осі приладу коло і котить ведучий конічний ролик 7, який сидить на ньому, по нерухомому напрямному ролику 6. За одне повне коливання диск, притискаючись до верхньої і нижньої конічних поверхні вимірювальної камери, витісняє з неї об'єм рідини, який дорівнює корисному об'єму цієї камери. Одночасно вісь диска обходить навколо напрямного ролика і, впираючись у крильце 9, укріплене на ведучій осі передавального механізму 5, приводить її в обертання.

Отже, число обертів ведучої осі передавального механізму дорівнює числу повних коливань диска і пропорціональне об'єму рідини, яка пройшла через водомір.

Передавальний механізм, який зменшує число обертів ведучої осі, з'єднується віссю, що проходить через сальник 4, з лічильним механізмом 2. Над лічильним механізмом розміщений круглий циферблат 3. Будова лічильного механізму така сама, як і в швидкісних водомірів.

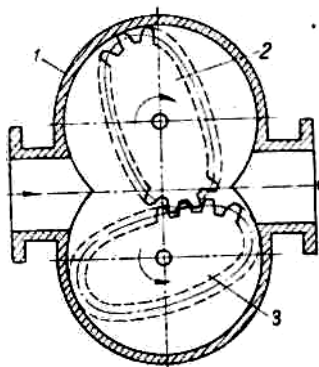


Рис. 3.18. Схема лічильника з овальними шестірнями:

1 – вимірювальна камера;
2 і 3 – овальні шестірні

Дискові водоміри застосовують звичайно для рідин при температурах до 90°C і тисках до 12 кг/см^2 . Основна похибка показів дискових водомірів дорівнює $\pm 2\%$ дійсного значення. Дискові водоміри монтують горизонтально, циферблатом угору, з обвідною лінією для відключення водоміра на час чищення і ремонту без припинення подавання рідини. Перед і за водоміром і на обвідній лінії встановлюють запірні вентиля. Щоб запобігти гідравлічному удару при заїданні диска водоміра, на обвідній лінії перед запірним вентилям встановлюють запобіжний клапан.

Лічильник з овальними шестірнями (рис. 3.18) застосовують для вимірювання кількості рідини різної в'язкості (мазуту, масла, бензину тощо), його дія ґрунтується на відмірюванні (витісненні) певних об'ємів рідини між стінками

вимірювальної камери 1 і овальними шестірнями 2 і 3 при обертанні останніх під впливом різниці тисків вимірюваної рідини перед і за лічильником. Овальні шестірні, які перебувають між собою в безперервному зачепленні, при обертанні обкатують одна одну. Величина зазорів між шестірнями і стінками вимірювальної камери не перевищує 0,03-0,06 мм, що внаслідок незначного перетікання через них рідини веде до невеликої похибки вимірювання. Кількість рідини, яка пройшла через лічильник, визначають за числом обертів однієї з його шестерень, зв'язаної з стрілочним і роликковим лічильними механізмами.

У вхідному й вихідному патрубках лічильника встановлено сітчасті фільтри, які захищають його від потрапляння твердих частинок.

Промисловість випускає лічильники з овальними шестірнями типів СВШ і СВШС калібром 40 мм і ємністю лічильного механізму $10\ 000\ м^3$ рідини. Ціна поділки шкали приладів $001\ м^3$ і відносна похибка вимірювання $\pm 0,5\%$ дійсного значення.

У лічильнику типу СВШ зв'язок між овальною шестірнею і лічильним механізмом здійснюється магнітною муфтою. Остання складається з двох частин – ведучої і веденої, розміщених з обох боків перегородки з немагнітного металу, яка відокремлює вимірювальну камеру і лічильний механізм. Ведуча частина муфти запресована в торець овальної шестірні, а ведена, зв'язана з передавальним механізмом лічильника, розміщена в кришці корпусу лічильного механізму. Прилад розрахований на робочий тиск рідини $16\ кГ/см^2$. Допустимі межі зміни витрати $1-12\ м^3/год$. При нормальній витраті, яка дорівнює $5\ м^3/год$, гідравлічний опір лічильника становить $0,2\ кГ/см^2$.

Лічильник типу СВШС має межі вимірювання витрати $3-20\ м^3/год$ рідини і розрахований на робочий тиск $6\ кГ/см^2$. На відміну від лічильника типу СВШ овальна шестірня його зв'язана з лічильним механізмом за допомогою осі, яка виходить з вимірювальної камери через сальникове ущільнення.

Об'ємні лічильники для рідини перевіряють за допомогою мірних баків на спеціально обладнаних випробувальних установках.

11.6.3. Об'ємні лічильники для газу

Для вимірювання кількості газу застосовують *клапанні, ротаційні і барабанні* об'ємні лічильники. Кількість газу, який пройшов через лічильник, визначають за числом об'ємів, витіснених з вимірювальної камери приладу під дією різниці тисків газу перед і за лічильником.

На рис. 3.19 зображено будову і загальний вигляд клапанного лічильника для газу типу ГК.

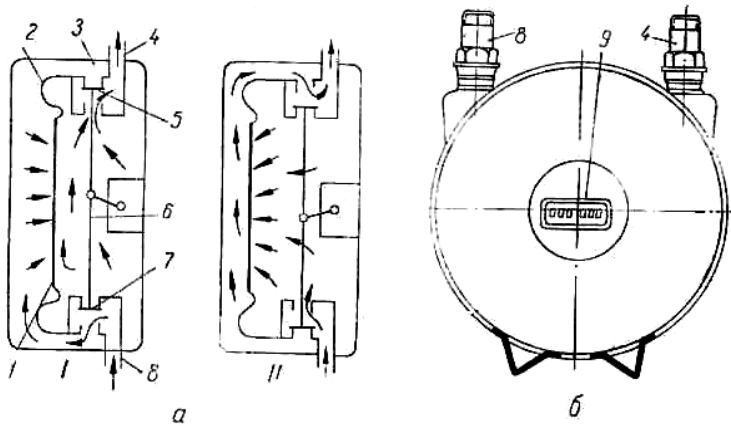


Рис. 3.19. Об'ємний клапанний лічильник для газу типу ГК:

- а* – схема лічильника; *б* – загальний вигляд:
 1 – перегородка; 2 – діафрагма; 3 – корпус;
 4 і 8 – патрубки; 5 і 7 – клапани; 6 – шток;
 9 – лічильний механізм

Прилад складається з щільного сталюого циліндричної форми корпусу 3 (рис. 3.19, а), що утворює вимірювальну камеру, всередині якої розміщена нерухома металева перегородка (диск), яка скріплена з хвилястою діафрагмою (міхом) 2, виготовленою з поліхлорвінілового пластику. Рухома перегородка і діафрагма, які під тиском газу здійснюють зворотно-поступальний рух, поділяють вимірювальну камеру на дві частини, які по черзі

з'єднуються з вхідним 8 і вихідним 4 патрубками для газу за допомогою клапанів 5 і 7, закріплених на штоці 6. Шток з клапанами переміщається рухомою перегородкою 1 в крайніх її положеннях за допомогою пружини і важільної передачі (на схемі не показані). Ця сама перегородка приводить у дію роликівий лічильний механізм 9 приладу (рис. 3.19, б), лічильник працює циклічно. В одній половині циклу (положення *I*) газ через клапан 7 надходить у ліву частину вимірювальної камери і, заповнюючи її, переміщає перегородку вправо, витискуючи газ з правої частини камери через клапан 5, а в другій половині (положення *II*), яка настає при досягненні перегородкою крайнього правого положення і перемиканні клапанів, газ надходить у праву частину камери і витискує його з лівої частини. Потім настає новий цикл вимірювання.

Основна похибка приладу +2% дійсного значення. Лічильники розраховані на тиск газу 300 мм вод. ст. при температурі 5-35°C.

Ротаційні лічильники типу РС (рис. 3.20) призначені для вимірювання великих кількостей горючих газів. За принципом дії вони аналогічні до лічильників з овальними шестірнями для рідини. Прилад має вимірювальну камеру, у якій розміщені широкі обертові лопаті 2 і 3 вісімкоподібної форми, які приводяться в рух різницею тиску газу, що проходить через лічильник. Лічильний механізм приладу зв'язаний з однією з лопатей за допомогою магнітної муфти (у лічильників калібром до 100 мм) або безпосередньо з вихідною віссю лопаті, яка проходить через сальникове ущільнення. Лічильники встановлюють на вертикальних дільницях газопроводів з низхідним потоком газу.

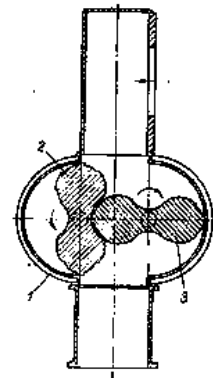


Рис. 3.20. Схема ротаційного лічильника:
 1 – вимірювальна камера; 2 і 3 – лопаті

11.7. Обчислювачі та електронні коректори об'єму газу

Обчислювачі об'ємної витрати (рис. 3.21, а) та об'єму газу призначені для:

- обчислення об'ємної витрати та об'єму газу, зведених нормальних (стандартних) умов згідно з ГОСТ 2939;
- перетворення імпульсних сигналів від одного або кількох лічильників газу і обчислення об'ємної витрати та об'єму газу за робочих умов;
- перетворення сигналів перетворювачів перепаду тиску на звужуючих пристроях (діафрагмах) або на усереднювальних напірних трубках, перетворювачів тиску та температури газу;
- вимірювання часу та тривалості паузи в обліку природного газу.

У комплекті з обчислювачами використовуються:

- вимірювальні перетворювачі перепаду тиску, тиску та температури з вихідними сигналами постійного струму від 0 до 5 мА або від 14 до 20 мА;
- вимірювальні перетворювачі багато параметричні (перепаду тиску, тиску та температури) з кодовим вихідним сигналом;
- термоперетворювачі опору ТСМ 100М, ТСП 100 П;
- лічильники газу з імпульсними вихідними сигналами типу „сухий контакт”

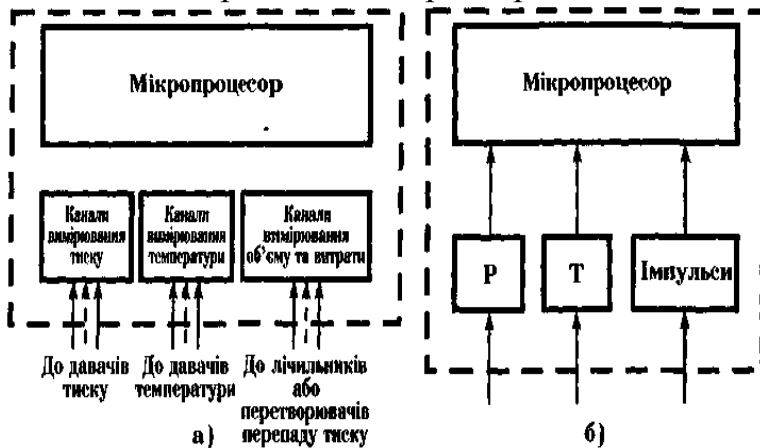


Рис. 3.21. Структурна схема обчислювача об'єму, об'ємної витрати (а) та коректора об'єму газу (б)

Коректори об'єму газу (надалі — коректори) (рис. 3.21, б) призначені для вимірювання в режимі реального часу надлишкового або абсолютного тиску та температури газу, перетворення вихідних сигналів з лічильника газу у сигнал, що пропорційний об'єму газу в робочих умовах; обчислення об'єму газу, приведеного до стандартних (нормальних) умов згідно з ГОСТ 2939 з врахуванням густини газу, а також вмісту в ньому азоту та двооксиду вуглецю.

Основою коректорів та обчислювачів є мікропроцесорний вузол, який здійснює збір та обробку вхідних сигналів.

Коректори та обчислювачі принципово не мають відмінностей. Єдина відмінність полягає в структурній схемі.

Обчислювач являє собою самостійний мікропроцесорний вузол, до якого можна під'єднувати давачі тиску та температури про декілька пар, залежно від кількості вимірюваних трубопроводів.

Коректор являє собою мікропроцесорний блок разом із давачами тиску та температури. Коректори градууються разом із давачами.

11.8. Замірні вузли та дільниці для обліку газу

До замірних вузлів та дільниць обліку газу відносяться системи автоматизованого обліку природного газу (інформаційно-вимірювальні системи), які забезпечують вимірювання витрати або об'єму споживаного газу з поданням кінцевого результату вимірювання за певний проміжок часу у об'ємних одиницях, приведених до стандартних умов, тобто до визначальних параметрів комерційної вартості газу як товарної продукції. В даний час в Україні найбільшого поширення набули замірні дільниці на базі лічильників газу і на базі витратомірів змінного перепаду тиску. Перевагою перших є отримання Інтегрованих результатів вимірювання безпосередньо в одиницях об'єму (при цьому як правило відсутня інформація про миттєву споживану витрату), а особливістю других є надання в будь-який момент часу інформації про миттєву витрату за стандартних умов (при цьому необхідно застосовувати електронний інтегратор тобто обчислювач об'єму спожитого газу, наприклад за годину, добу та ін.). Спільним для обидвох видів замірних вузлів є необхідність їх оснащення засобами вимірювання температури та абсолютного тиску газу. Основи метрологічної атестації замірних дільниць подаються в довідковій літературі. Нижче конкретизуються питання які мають перш за все практичну цінність для споживачів природного газу і стосуються недостатньо описаних в інформаційних джерелах новітніх замірних дільниць на базі лічильників газу, а також приклади оформлення бланку-замовлення та розрахунку витратоміра змінного перепаду тиску (додаток Н). Тут зауважимо, що програми розрахунку повинні бути обов'язково затвердженими Держстандартом України, до переліку яких відносяться наприклад «Програма Gaz RR. Версія 2.09» (галузева програма ДК «Укртрансгаз», розробка НДПІАСУтрансгаз, м. Харків) і програми «Расход СТ», «Расход НП» (розробка УкрЦСМ, м. Київ). Вимоги до замірних дільниць на базі витратомірів змінного перепаду тиску детально розкриті в РД 50 213 80, а також в нових міждержавних ГОСТ 8.563.1...8.563.3.

11.9. Вимоги до замірних вузлів

Технічний стан дільниці повинен відповідати таким вимогам.

Схема змонтованої дільниці і розміщення ЗВТ та інших пристроїв повинна відповідати схемі розміщення, наведеній у проекті. Вимірювальна дільниця повинна бути оснащена лічильником. Типорозміри та типи лічильників, що використовуються на дільниці, повинні бути підібрані згідно з проектом на дільницю. Монтаж лічильників повинен бути виконаний у відповідності з вимогами експлуатаційної документації (ЕД) на лічильники і таким чином, щоб забезпечити вільний доступ до лічильників для їх обслуговування і проведення перевірок. Вимірювальна дільниця повинна бути розміщена в такому робочому положенні, в якому працює лічильник. При цьому відхилення дільниці від вертикальності або горизонтальності не повинно перевищувати ± 5 градусів (8 мм на 1 м). Лічильники, що входять до складу дільниці, використовуються у всьому діапазоні нормованих витрат, тобто в діапазоні витрат з границями основних відносних похибок $\pm 1\%$ та $\pm 2\%$.

Рекомендована висота розміщення лічильника(ів) — 0,5 ... 1 м від рівня підлоги. Прямі ділянки трубопроводу повинні бути такого ж номінального діаметра (умовного проходу), як і лічильник, змонтований в даній вимірювальній дільниці. Довжина прямих ділянок повинна відповідати значенням, що наведені в ЕД на відповідний тип лічильника. Якщо така вимога в ЕД відсутня, то для турбінних лічильників газу довжина прямих ділянок повинна бути не менша 5DN до лічильника та 3DN після лічильника. Прямі ділянки трубопроводів виробляються із суцільних труб. Приєднувальні розміри фланців прямих ділянок трубопроводів повинні мати приєднувальні розміри тих елементів, до яких проводиться їх приєднання. Не дозволяється виготовляти прямі ділянки трубопроводів із зварних труб зі спіральним швом. При застосуванні зварних труб зі швом по дотичній до труби шов не повинен виступати у внутрішню порожнину трубопроводу.

Вимірювальна дільниця повинна бути оснащена фільтром. Ступінь очистки фільтра повинен відповідати вимозі щодо очистки газу, викладеній в проекті вимірювальної дільниці. Пропускна здатність фільтра та його номінальний діаметр повинні відповідати пропускній здатності та номінальному діаметру типорозміру лічильника, що застосовується в дільниці, з яким буде застосований даний фільтр.

Фільтр устанавлюється перед прямою ділянкою трубопроводу до лічильника. Установка фільтра безпосередньо перед лічильником, навіть за відсутності вимог в ЕД на лічильник щодо прямих ділянок, не дозволяється. Відстань між фільтром та лічильником повинна бути не менше 5DN. Установка запірної або регулюючої арматури між лічильником і фільтром та між лічильником та прямими ділянками трубопроводу не дозволяється.

Дільниця повинна бути оснащена засобом(ами) вимірювань тиску. Рекомендується застосовувати перетворювачі абсолютного тиску, а при тисках, більших 2 МПа, застосування перетворювачів абсолютного тиску обов'язкове. Верхня межа засобу вимірювань тиску газу повинна знаходитись в другій третині діапазону шкали вимірювального приладу.

Засоби вимірювань тиску повинні бути під'єднані до лічильника або дільниці в місцях, вказаних на лічильнику, або згідно з вимогами ЕД на лічильник. Якщо такі вимоги відсутні, то відбір тиску повинен проводитись перед лічильником газу на відстані, не більшій 1DN від лічильника. Засоби вимірювань тиску повинні бути з'єднані з дільницею або лічильником трубою, яка повинна бути прокладена найкоротшим шляхом і мати нахил до підлоги не менше 1:10 в бік дільниці. Засоби вимірювань тиску повинні розміщуватись так, щоб було легко знімати покази з них, але не вище одного метра від позначки відбору тиску та не вище 2 метрів від рівня підлоги.

Дільниця, якщо в ній застосовується засіб вимірювань надлишкового тиску, повинна бути оснащена засобом вимірювань атмосферного тиску.

Атмосферний тиск необхідно вимірювати в безпосередній близькості від дільниці. Якщо ця вимога не дотримується, необхідно враховувати похибку, яка виникає від зміни місця вимірювання атмосферного тиску, висоти дільниці над рівнем моря, та вводити поправку в результати вимірювань атмосферного тиску.

Дозволяється використовувати інформацію Гідрометеоцентру, при цьому необхідно враховувати похибку, викликану заміною фактичних значень атмосферного тиску на постійне значення. Дільниця повинна бути оснащена засобами вимірювань температури. Верхня межа засобу вимірювань температури газу повинна знаходитись в другій третині діапазону шкали вимірювального приладу.

Місце розміщення засобу вимірювання температури повинно бути наведено в ЕД на лічильник. Якщо така вимога відсутня в ЕД на лічильник, то рекомендується засіб вимірювань температури розміщати після лічильника при застосуванні турбінного лічильника газу та перед лічильником при застосуванні лічильника роторного типу. Якщо в ЕД на лічильник відсутня вказівка щодо відстані розміщення засобів вимірювань температури від лічильника, то відстань від лічильника до місця розміщення засобів вимірювань температури або гільзи для установки засобів вимірювань температури не повинна перевищувати $5DN$ при установці їх до роторного лічильника та не більше $2DN$ при установці їх після турбінного лічильника.

Гільза застосовується при використанні рідинних термометрів. Термоперетворювачі опору розміщуються у трубопроводі без гільзи.

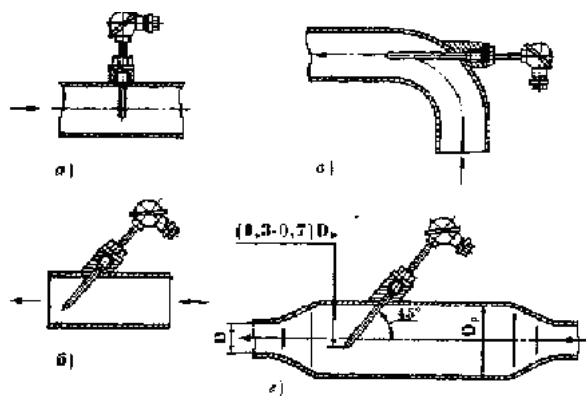


Рис. 3.22. Варіанти розміщення чутливих елементів:
a – радіальне; *b* – нахилене; *c* – в коліні;
d – в розширювачі

Площа поперечного перерізу засобу вимірювань температури або гільзи під нього не повинна перевищувати 13 відсотків у відносному вираженні до площі перерізу самого трубопроводу в місці установки термометра. Засіб вимірювань температури або гільзи під нього установлюється на глибину від 0,5 до 0,7 діаметра трубопроводу. Дозволяється установка засобів вимірювань температури або гільзи під нього під кутом до осі трубопроводу,

причому нахил повинен бути виконаний так, щоб чутливий елемент термометра був розміщений ближче до лічильника (проти потоку газу). Варіанти розміщення чутливих елементів перетворювачів температури наведені на рис. 3.22. При установці засобів вимірювань температури в гільзу, остання повинна мати товщину стінки не більше 1 мм, бути виготовленою із матеріалу, що добре проводить тепло, зазор між чутливим елементом термометра та внутрішніми стінками гільзи повинен бути 1-1,5 мм. Гільза повинна бути термоізована від трубопроводу і заповнена маслом. Гільза повинна бути розміщена так, щоб чутливий елемент термометра розміщувався на осі трубопроводу. Конструкція термоізованої гільзи наведена на рис. 3.23. Засоби вимірювань температури або реєструючі пристрої повинні розміщуватися так, щоб було легко знімати покази з них.

11.10. Методи оцінки і критерії роботоздатності витратовимірювального обладнання

Вимоги до характеристик витратовимірювальної техніки

Потреба у високій точності обліку природного газу ставить перед витратовимірювальною технікою (ВВТ) чимало вимог, задовольнити які одночасно досить складно і не завжди можливо. Зупинимось на основних із них, якими є:

- висока точність;
- значний (як можна більший) діапазон вимірювань, а також вимога "достатності" нижньої межі вимірювань;
- незалежність результатів вимірювання від впливових факторів (мінімізація додаткових похибок);
- збереження роботоздатності і заданих характеристик після залишкових впливів зовнішніх збурень (природний вплив зовнішніх факторів);
- висока надійність (в т.ч. метрологічна) і технічний ресурс;
- мінімізація впливів (реакція ВВТ на газовий потік);
- мінімізація габаритно-масових характеристик, енергоспоживання;
- безпечність експлуатації.

Однією із основних вимог до ВВТ є висока точність вимірювання об'єму та витрати газу. Залежно від нормування меж допустимих значень основної похибки ВВТ можна умовно поділити на 3 групи:

- прецизійні — з межами похибок менше $\pm 0,5\%$;
- точні — з межами похибок від $\pm 0,5$ до $\pm 1,0\%$;
- нижчої точності — з межами похибок більше $\pm 1,0\%$.

Підвищення точності досягається як за рахунок застосування нових методів вимірювань і приладів (ультразвукових, вихрових, термоанемометричних), так і за рахунок вдосконалення існуючих (роторних, мембранних, турбінних).

Вимоги до діапазону вимірювань ВВТ переважно зводяться до забезпечення відповідної кратності діапазону вимірювань об'ємної витрати, під якою розуміють відношення мінімальної вимірювальної витрати Q_{min} (нижня межа діапазону вимірювання) до максимальної Q_{max} (верхня межа діапазону вимірювання). Кратність записується у вигляді відношення $Q_{min} : Q_{max}$.

Вузький діапазон вимірювання характеризується кратністю, що лежить в межах від 1:30 до 1:10, а широкий — більше 1:30 і досягає для багатьох типів ВВТ 1:100 і навіть 1:150.

Важливою (особливо для побутової ВВТ) є вимога "достатності" нижньої межі вимірювання, при якій за допомогою ВВТ ведеться достовірний облік газу з нормованою похибкою при мінімальній витраті споживача. Як правило, це мінімальне значення повинно в 3-5 разів перевищувати поріг чутливості ВВТ. Важливою вимогою до ВВТ є незалежність результатів вимірювань від впливових факторів і збереження роботоздатності і заданих характеристик після дії цих факторів. Як правило, ці характеристики (функції впливу та залишковий вплив зовнішніх збурень) відображають реакцію ВВТ на зміну умов експлуатації. Функції впливів використовуються як інструмент

введення поправок в результати вимірювань при експлуатації ВВТ, а залишкові впливи зовнішніх збурень відображають зміну характеристик ВВТ після дії на нього впливових величин.

Класифікація умов використання ВВТ за впливовими факторами передбачає їх групування за такими ознаками:

- технологічними;
- механічними;
- кліматичними;
- конструктивними.

До технологічних впливових величин належать збурення, зумовлені технологічними причинами, які мають зв'язок зі структурою і властивостями газового потоку: розподіл швидкостей по перерізу потоку, пульсації витрати і тиску в потоці, гідравлічні удари, фізичні та фізико-хімічні властивості газу, параметри стану потоку. Розподіл швидкості по перерізу потоку залежить, як правило, від конструкції трубопроводу, наявності місцевих гідро-опорів.

Пульсація витрати та тиску, як правило, зумовлені роботою компресорів та насосів і інших технологічних агрегатів, включених в гідравлічну схему трубопроводів. Гідравлічні удари виникають в момент запуску та зупинки потоку, і їх інтенсивність зумовлена режимом роботи відсікаючи клапанів. Фізичні і фізико-хімічні властивості газу залежать від якості його підготовки (фільтрація, сушіння) і змінюються від температури і меншою мірою від тиску. Параметри стану потоку залежать від дії технологічних агрегатів: температури нагрівання (при стискуванні на компресорі), а тиск може змінюватись залежно від місцевих опорів, а також від дії оточуючого середовища.

11.7.1. При експлуатації ВВТ мають місце також механічні впливи

До механічних впливів належать механічні вібрації, акустичний шум, механічні удари і лінійні прискорення. Як правило, дія впливових величин цієї групи оцінюється як залишкові реакції. Оцінити функції впливу цих величин, тобто провести градування ВВТ при їх дії, поки що не вдавалось.

До кліматичних впливових величин відносять температуру навколишнього середовища, атмосферний тиск, вологість, теплові сонячні потоки, атмосферні опади. Як правило, ці фактори впливають на блоки, що мають електронні радіоелементи, і оцінюються як залишкові впливи. Конструктивні впливові величини — це орієнтація ВВТ в просторі, режим живлення, напруга джерела живлення, опір і ємність кабельних ліній. Для цих величин оцінюються функції впливу. Для зменшення і обліку додаткових похибок від функцій впливу використовують:

- 1) наближення умов градування до умов експлуатації ВВТ;
- 2) впровадження конструктивних заходів захисту ВВТ від дії впливових факторів;
- 3) введення поправок в результати вимірювання при експлуатації ВВТ, отриманих в результаті додаткових синхронних вимірювань впливових величин.

Основним показником надійності ВВТ є час, протягом якого вона зберігає робоздатність і регламентовану точність. Вимоги до надійності ВВТ, як правило, задаються ймовірністю безвідмовності роботи (0,9-0,99), або інтервалом часу, впродовж якого гарантується безвідмовна робота.

Вимоги до технічного ресурсу T задають в одиницях часу і можуть бути в широких межах (від 2000 до 20000 год.). Вимоги до метрологічної надійності, як правило, характеризуються встановленням (заданням) міжповірочного інтервалу як величини, пропорційної терміну роботи ВВТ і інтенсивності режиму її експлуатації. Вимоги до впливу ВВТ на потік (реакція ВВТ на потік) формуються у вигляді допустимих максимальних втрат тиску P_{max} . Ця характеристика служить для оцінки дійсного гідравлічного опору газопроводу і використовується для розрахунку і підбору напірних пристроїв (насосів, компресорів, трубопроводів). Габаритно-масові характеристики та характеристики енергоспоживання можуть змінюватись в дуже широкому діапазоні (з різницею на декілька порядків) і не можуть бути узагальнені, оскільки вони є залежними від пропускнув спроможності газопроводу, параметрів потоку газу (особливо надлишкового тиску) тощо. При цьому повинна простежуватись загальна тенденція мінімізації цих характеристик без погіршення вимог до інших.

Безпечність експлуатації ВВТ зумовлена необхідністю охорони життя та здоров'я людей, майна, навколишнього середовища тощо. Таким чином, призначення і умови використання ВВТ дають змогу встановити номенклатуру їх характеристик, достатню для вирішення питання вимірювання. З метою уніфікації вимог до характеристик стає очевидною доцільність проведення їх класифікації.

Вся ВВТ має сукупність характеристик, які відображають її властивості. Експериментальна оцінка цих характеристик проводиться під час випробувань. Отже, під сертифікаційною моделлю ВВТ будемо розуміти сукупність характеристик, які відображають його властивості і експериментально оцінюються під час випробувань.

Всі характеристики ВВТ можна умовно поділити за своїм призначенням на такі групи:

- метрологічні;
- експлуатаційні;
- конструктивні;
- ресурсні (або характеристика надійності);
- характеристика безпеки.

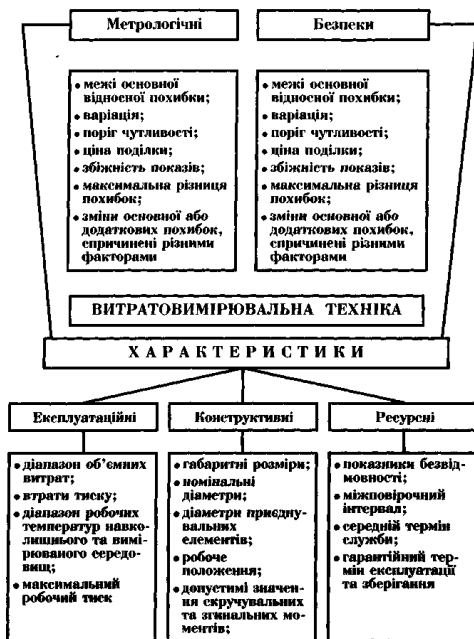
До метрологічних характеристик ВВТ відносяться:

- межі основної відносної похибки;
- варіація;
- поріг чутливості;
- ціна поділки;
- збіжність показів;
- максимальна різниця похибок у певному діапазоні витрат (від витрати Q_t , яка називається перехідною до Q_{max});

- зміни основної похибки або додаткові похибки ВВТ, спричинені зміною температури вимірюваного середовища, штучно створеними перешкодами, скручувальним та згинальними моментами тощо. Велика група характеристик ВВТ безпосередньо не впливає на її метрологічні властивості, але суттєво відбивається на експлуатації. До неї належать конструктивні та експлуатаційні характеристики.

До конструктивних характеристик відносяться:

- габаритні розміри;
- номінальні діаметри;
- діаметри приєднувальних елементів (штуцерів);
- робоче положення;
- допустимі значення скручувальних та згинальних моментів;



- стійкість до дії різних факторів, в тому числі і у пакуванні (механічних, кліматичних, електричних тощо).

До експлуатаційних характеристик відносяться:

- діапазон об'ємних витрат, в якому нормуються відносні похибки вимірювання об'єму;
- втрати тиску на ВВТ залежно від витрати;
- діапазон робочих температур навколишнього та вимірюваного середовища;
- максимальний робочий тиск тощо.

До ресурсних характеристик відносяться:

- показники безвідмовності;
- міжповірочний інтервал;
- середній термін служби;

Рис. 3.23. Метрологічні характеристики

- гарантійний термін експлуатації та зберігання.

До характеристик безпеки відносяться:

- стійкість та міцність до дії надлишкових тисків;
- опір і міцність ізоляції;
- допустимий рівень шуму;
- пожежостійкість;
- вибухонебезпечність.

Таким чином, на основі наведеної класифікації характеристик сертифікаційну модель ВВТ можна схематично відобразити на рис. 3.23.

Дана модель є узагальненою для різноманітних типів та моделей ВВТ і може слугувати типовою при розробці нормативних документів (державних стандартів типу загальних технічних вимог, технічних умов), а також розробці програм державних випробувань з метою сертифікації типу ЗВТ.

11.10.2. Види випробувань та правила приймання витратовимірювальної техніки

Розробка, виготовлення та експлуатація ВВТ пов'язані з їх випробуваннями. Це складний, багатоступеневий процес, від успішної реалізації якого залежить якість і життєздатність тієї чи іншої конструкції ВВТ, що розробляється. Важливість випробувань полягає в тому, що за їх результатами формується сукупність оцінок характеристик ВВТ, яка виступає не тільки як інструмент кваліметрії ВВТ, але й як критерій якості розробки загалом, включаючи і правильність вибору напрямків розробки.

Не вдаючись до деталей проведення дослідних та попередніх випробувань, які проводяться на стадії розробки технічного проекту і робочої документації ВВТ і в процесі яких принципова можливість реалізації вибраного методу вимірювань об'єму та витрати газу, зупинимось на випробуваннях, що проводяться на стадії виготовлення та експлуатації ВВТ.

Для перевірки відповідності ВВТ вимогам нормативних документів проводять такі види випробувань:

- державні приймальні;
- державні контрольні;
- кваліфікаційні;
- приймально здавальні;
- періодичні;
- типові;
- випробування на надійність.

Державні випробування ВВТ згідно з ДСТУ3400-96 "Метрологія. Державні випробування засобів вимірювальної техніки. Основні положення, організація, порядок проведення і розгляду результатів" проводяться з метою:

забезпечення єдності вимірювань в Україні;

поставлення на виробництво, серійного виробництва і ввезення на територію України зразків ВВТ, які відповідають встановленим метрологічним нормам і правилам;

— захисту інтересів споживачів ВВТ.

Основним завданням державних випробувань ВВТ є:

— встановлення відповідності розроблених ВВТ вимогам технічних завдань на розроблення і нормативних документів (надалі – НД);

— перевірка правильності вибору методів та засобів повірки, а також забезпеченості ВВТ засобами повірки під час випуску з виробництва і експлуатації;

— перевірка відповідності ВВТ вимогам безпеки і охорони навколишнього середовища;

— перевірка відповідності ВВТ, що випускаються серійно, вимогам НД та їх затвердженим типам.

Запроваджуються два види державних випробувань — приймальні та контрольні.

Державним приймальним випробуванням підлягають дослідні зразки ВВТ, призначені до серійного виробництва в Україні, та зразки ВВТ, які підлягають ввезенню на територію України партіями.

Позитивні результати державних приймальних випробувань є підставою для надання підприємству-виробнику дозволу на випуск установчої серії ВВТ або для затвердження типу ВВТ (визнання затвердження типу — для ВВТ, що підлягають ввезенню на територію України партіями) та надання дозволу на серійне виробництво і застосування в Україні ВВТ.

Типи ВВТ, затверджені Державним комітетом України по стандартизації, метрології та сертифікації (надалі — Держстандарт) підлягають занесенню до Державного реєстру засобів вимірювальної техніки, допущених до застосування в Україні (надалі — Державний реєстр).

На ВВТ, що випускаються в Україні або ввозяться на її територію партіями і занесені до Державного реєстру, а також на їх експлуатаційну документацію підприємства-виробники повинні ставити Знак затвердження типу.

Якщо через особливості конструкції неможливо або недоцільно ставити Знак затвердження типу на ВВТ, зазначений Знак ставиться на їх експлуатаційну документацію.

Державні контрольні випробування проводять:

- на зразках ВВТ з установчої серії;
- в порядку державного метрологічного нагляду за ВВТ, які серійно випускаються в Україні або ввозяться на її територію партіями. У цьому випадку державні контрольні випробування проводять один раз на три роки;
- в разі поставлення на серійне виробництво ВВТ затверджених типів, що випускаються або раніше випускались на інших підприємствах;
- в разі внесення в конструкцію (технологію виробництва) ВВТ затверджених типів змін, що впливають на їх метрологічні характеристики;
- після тривалої (три роки і більше) перерви серійного виробництва ВВТ затверджених типів.

Позачергові державні контрольні випробування проводять згідно з вказівкою Держстандарту, а також за наявності інформації щодо погіршення якості ВВТ. В останньому випадку рішення щодо позачергових державних випробувань приймає територіальний орган Держстандарту. Термін проведення державних контрольних випробувань слід встановлювати з урахуванням виробничих планів підприємств-виробників. Допускається суміщення державних контрольних випробувань з кваліфікаційними та періодичними випробуваннями ВВТ. Результати державних випробувань ВВТ, які проведені національними органами з метрології іноземних держав, можуть бути визнані Держстандартом відповідно до міждержавних угод, учасницею яких є Україна. Кваліфікаційні випробування ВВТ згідно з ГОСТ 15.001-88 "Система розробки і постановки продукції на виробництво. Продукція виробничо-технічного призначення" проводять з метою підтвердження готовності підприємства до серійного випуску ВВТ, а також при поставці на підприємство ВВТ, які раніше виготовлялись іншим підприємством. Результати кваліфікаційних випробувань мають підтвердити, що ВВТ відповідають вимогам технічної документації.

Кваліфікаційні випробування проводяться на зразках ВВТ з установчої серії. Програму, згідно з якою проводять кваліфікаційні випробування, розробляє підприємство-виробник за участю розробника. При негативних результатах кваліфікаційних випробувань виробництво ВВТ забороняють до усунення недоліків і до одержання позитивних результатів кваліфікаційних випробувань. При позитивних результатах кваліфікаційних випробувань підприємство вважається готовим до серійного випуску ВВТ.

Приймально-здавальні випробування проводить відділ технічного контролю підприємства-виробника. Приймально-здавальним випробуванням підлягає кожний ВВТ. Якщо в процесі приймально-здавальних випробувань виявлено невідповідність ВВТ принаймні одній встановленій вимозі, ВВТ бракують. Випробування інших ВВТ при цьому не припиняють. Збраковані ВВТ після усунення дефектів піддають повторним приймально-здавальним випробуванням. Залежно від результату аналізу дефектів повторні випробування можуть бути проведені за пунктами невідповідності та за пунктами, за якими випробування не проводились. Підприємства-виробники, виробництво ВВТ на яких атестоване за однією з систем якості, можуть проводити приймально-здавальні випробування ВВТ статистичними методами за планами згідно з ГОСТ 18242.

Відносна похибка ВВТ під час приймально-здавальних випробувань повинна бути нормована з урахуванням коефіцієнта запасу точності, який повинен бути наведений в ТУ на ВВТ конкретних типів. В експлуатаційній документації ВВТ, які витримали приймально-здавальні випробування, ставиться позначка про їх відповідність вимогам ТУ.

Періодичні випробування проводять не рідше одного разу на три роки.

Періодичні випробування проводять на трьох ВВТ кожного типорозміру, які були виготовлені у контрольований період і витримали приймально-здавальні випробування. Дозволяється проводити випробування на типових представниках ВВТ, якщо це вказано в ТУ на ВВТ конкретних типів. Якщо в процесі випробувань ВВТ відповідають всім встановленим вимогам, то результати періодичних випробувань вважають позитивними.

У разі виявлення невідповідності хоча б одного ВВТ будь-якій встановленій вимозі, випробування на цих ВВТ припиняють. Одночасно припиняють і їх приймання. Подальші випробування продовжують на подвоєній кількості ВВТ. Якщо випробування проводились на ВВТ кожного типорозміру, то випробування на подвоєній кількості ВВТ проводять на ВВТ того типорозміру, на якому виявлено невідповідність. При цьому дозволяється проводити випробування за пунктами невідповідності та за пунктами, за якими випробування не проводились. Якщо в процесі випробувань на подвоєній кількості ВВТ всі ВВТ відповідають всім встановленим вимогам, то результати випробувань вважають позитивними і приймання ВВТ відновлюють. Якщо при випробуваннях на подвоєній кількості ВВТ виявлено невідповідність хоча б одного ВВТ будь-якій встановленій вимозі, то відвантаження ВВТ припиняють, виявлення та усунення причин невідповідності ВВТ встановленим вимогам, проводять повторні випробування. Результати повторних випробувань ВВТ вважають кінцевими.

За позитивних результатів повторних випробувань приймання та відвантаження ВВТ відновлюють. Результати періодичних випробувань оформляють актом, який затверджує керівництво підприємства-виробника.

Типові випробування проводять під час зміни конструкції та (або) технології виготовлення ВВТ, які можуть змінити технічні та (або) метрологічні характеристики ВВТ. Обсяг та порядок проведення типових випробувань визначається характером змін, що вносяться в конструкцію і (або) технологію виготовлення ВВТ. Результати типових випробувань оформлюють актом, котрий затверджує керівництво підприємства-виробника, і при позитивних результатах випробувань зміни у встановленому порядку вносять у технічну і технологічну документацію. Контрольні випробування на безвідмовність (надійність) ВВТ проводять один раз на три роки, але обов'язково в перший рік серійного випуску. Наступні випробування на безвідмовність повинні бути проведені в такий термін, щоб їх результати були відомі до початку проведення державних контрольних випробувань. Випробування рекомендується проводити на типових представниках ВВТ, які виготовлені у контрольований період і пройшли приймально-здавальні випробування та перевірку. Відбір зразків — згідно з ГОСТ18321. За негативних результатів випробувань проводять їх аналіз, встановлюють причини відмов, розробляють і впроваджують заходи щодо їх усунення. Дозволяється до закінчення випробувань продовжувати випуск ВВТ. ВВТ, на яких проводились випробування на безвідмовність, відвантаженню не підлягають. Вихідні дані для планування випробувань на надійність з метою підтвердження показників ремонтпридатності та довговічності, а також методики їх проведення та критерії оцінки результатів випробувань повинні бути наведені в ТУ на ВВТ конкретних типів.

Результати випробувань на надійність оформлюють актом, котрий затверджує керівництво підприємства-виробника

11.11. Ультразвукові витратоміри

Ультразвукові витратоміри базуються на вимірюванні, яке залежить від витрати того чи іншого акустичного ефекту, що виникає під час проходження ультразвукових коливань через потік газу. В даний час застосовуються два різновиди ультразвукових витратомірів.

- витратоміри, які базуються на переміщенні ультразвукових коливань (УЗК) рухомого середовища:

а) УЗК направляються за потоком і проти потоку;

б) УЗК направляються перпендикулярно до руху потоку;

- витратоміри, що базуються на ефекті Доплера.

Основними елементами перетворювачів ультразвукових витратомірів є випромінювачі і приймачі УЗК. Їх дія базується на п'єзоелектричному ефекті, який полягає в тому, що при стисненні і розтягуванні в визначених напрямках деяких кристалів (п'єзоелементів) на їх поверхнях виникають електричні заряди. Якщо ж до цих поверхонь прикласти різницю електричних потенціалів, то п'єзоелемент розтягнеться чи стиснеться залежно від того, на якій із цих

поверхонь буде більша напруга.

Одним з найбільш відомих природних п'єзоелементів є кварц. Однак в даний час в ультразвукових витратомірах як п'єзоелементи застосовуються різні п'єзокерамічні матеріали, такі як титанат барію, цирконат титанату свинцю.

П'єзоелементи зазвичай виготовляють у вигляді круглих дисків діаметром 10-20 мм і оснащують електродами. Щоб отримати інтенсивні УЗК, потрібно працювати на резонансній частоті п'єзоелемента.

Час τ_1 її проходження УЗК деякої відстані L в напрямі швидкості потоку менший від часу τ_2 проходження цієї ж відстані проти швидкості потоку. Насправді

$$\left. \begin{aligned} \tau_1 &= \frac{L}{c+v} = \frac{L}{c} \left(1 + \frac{v}{c}\right)^{-1} \\ \tau_2 &= \frac{L}{c-v} = \frac{L}{c} \left(1 - \frac{v}{c}\right)^{-1} \end{aligned} \right\}, \quad (3.9)$$

де c – швидкість звуку в даному середовищі,

v – швидкість руху середовища.

Звідки

$$\Delta\tau = \tau_2 - \tau_1 = \frac{2L}{c^2} \frac{v}{1 - (v/c)^2}. \quad (3.10)$$

Оскільки $v/c \ll 1$, то рівняння (3.10) з великим ступенем точності може бути переписане так:

$$\Delta\tau = \frac{2L}{c^2} v. \quad (3.11)$$

Таким чином, різниця часу $\Delta\tau$ прямо пропорційна швидкості потоку v .

Існує кілька методів вимірювання $\Delta\tau$:

- вимірювання різниці фазових зсувів ультразвукових коливань, що направляються по потоку і проти нього (фазові витратоміри);
- вимірювання різниці частот повторення коротких імпульсів чи пакетів ультразвукових коливань, що направляються одночасно по потоку і проти нього (частотні витратоміри);
- безпосереднє вимірювання різниці часу проходження коротких імпульсів, що направляються по потоку і проти нього (часово-імпульсні витратоміри).

Крім цього, ультразвукові витратоміри діляться на: однопроменеві чи одноканальні та двопробеневі чи двоканальні. В першому випадку є тільки два п'єзоелементи, кожен із яких по черзі є випромінюючим і приймальним, в другому — чотири п'єзоелементи, із яких два є випромінюючими, а два – приймальними, що утворюють два незалежні канали передавання ультразвукових коливань. Фазові витратоміри виготовляються як однопроменеві, так і двопробеневі. Частотні і часово-імпульсні зазвичай бувають двопробеневими.

Розрізняють також перетворювачі без переломлення і з переломленням ультразвукової хвилі. До перших належать перетворювачі, у яких п'єзоелементи безпосередньо чи через захисні мембрани, площини яких паралельні площинам п'єзоелементів, передають газу і приймають від нього ультразвукові коливання. У цьому випадку кут між променем і випромінюючою чи приймальною площиною рівний 90° , і цей промінь не змінює свого напрямку при вході в газ. В інших випадках п'єзоелемент випромінює і приймає коливання через звукопровід, вихідна площина якого не паралельна площині п'єзоелемента. Якщо звукопровід безпосередньо передає коливання газу, то на межі

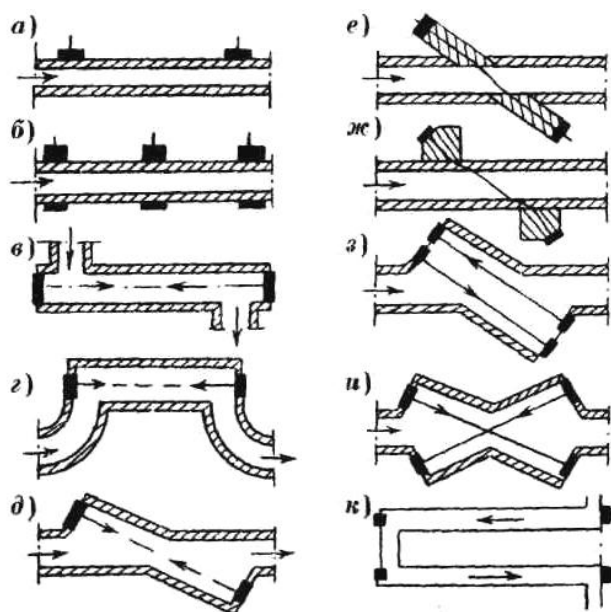


Рис. 3.24. Схеми перетворювачів ультразвукових витратомірів

а) одноканальна; б) двохканальна з трьома п'єзоелементами;

в), г) і к) випромінювачі направляються вздовж осі труби;

д), з) і и) трубопроводи обладнуються особливими впадинами кишнями, в яких розміщуються п'єзоелементи;

е) вільний простір кишень заповнений звукопроводом із металу чи органічного скла;

ж) ззовні трубопроводу розміщені звукопроводи, на яких розміщені п'єзоелементи

При обліку газу найчастіше застосовуються ультразвукові лічильники, принцип дії яких ґрунтується на вимірюванні часу проходження ультразвукового сигналу за і проти потоку. Для покращення характеристик

звукопровід – газ має місце переломлення променя.

Зустрічаються також перетворювачі контактні і неконтактні залежно від того, доторкається п'єзоелемент чи його мембрана до газу чи ні. До і після місця установки п'єзоелементів ділянки трубопроводів повинні бути прямими. Перетворювач ультразвукового витратоміра складається із відрізка труби, на якому установлені датчі (Рис. 3.24). Основні схеми перетворювачів ультразвукових витратомірів чотири п'єзоелементи. На рис. 3.24 зображені основні схеми їх розміщення.

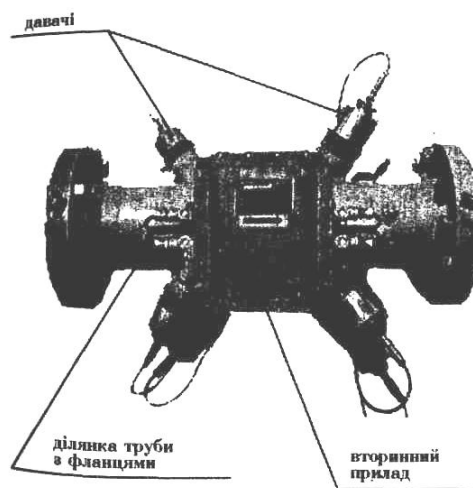


Рис. 3.25. Будова ультразвукового лічильника на прикладі лічильника Q.Sonic5. Похибки ультразвукових лічильників визначаються перш за все несиметричністю профілю швидкостей потоку по діаметру трубопроводу, наявністю домішок в потоці, які спотворюють ультразвукові коливання

використовують не одну пару випромінювач-приймач, а кілька (в лічильниках Q.Sonic5 п'ять пар перетворювачів).

На рис. 3.25 на прикладі лічильника Q.Sonic2 відтворено будову ультразвукового лічильника. Давачі являють собою випромінювачі та приймачі ультразвукових імпульсів. Вторинний прилад служить для генерування електричних коливань, які збуджують ультразвукові коливання у випромінювачах, а також для прийому та перетворення коливань, які поступають з приймачів.

11.12. Витратоміри сталого перепаду тиску

Витратоміри сталого перепаду належать до приладів дросельного типу; їх застосовують для вимірювання витрати рідини і газу. Ці прилади встановлюють безпосередньо в трубопроводах між фланцевими з'єднаннями. Зміна витрати спричинює в них відповідну зміну прохідного перерізу, внаслідок чого перепад тисків у приладі залишається весь час сталим і дорівнює розрахунковому значенню. Отже, витратоміри сталого перепаду мають рівномірну шкалу, що поряд із сталістю втрати тиску є великою перевагою цих приладів.

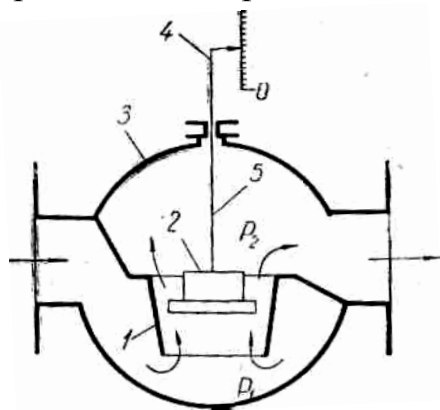


Рис. 3.26. Схема витратоміра сталого перепаду:

1 – втулка; 2 – поршень;
3 – корпус; 4 – стріла; 5 – шток

На рис. 3.26 зображено принципову схему витратоміра сталого перепаду. У корпусі 3 закріплена конусна втулка 1, усередині якої може вільно переміщатись по вертикалі порожнистий поршень (поплавець) 2 з штоком 5 який несе на собі стрілку 4.

Положення поршня в конусній втулці визначає собою величину кільцевого зазору, який утворюється між ними і призначений для проходження вимірювального середовища. При підніманні поршня кільцевий зазор збільшується, а при опусканні — зменшується.

Середовище, яке проходить через прилад, входить знизу в конусну трубку, піднімає залежно від витрати на більшу або меншу висоту поршень і, пройшовши через кільцевий зазор між поршнем і втулкою, залишає прилад. Отже, при будь-якій витраті середовища знизу на поршень діє різниця тисків, яка виникає в результаті дроселювання потоку в кільцевому зазорі і врівноважуються загальною вагою рухомої частини приладу, що складається з поршня, штока і т. д. Нехтуючи поперечним перерізом штока, для стану рівноваги рухомої частини дістанемо:

$$q = (p_1 - p_2)F . \quad (3.12)$$

Звідки:

$$p_1 - p_2 = \frac{q}{F} = 1,274 \frac{q}{d^2} , \quad (3.13)$$

де p_1 і p_2 – тиск середовища до і після поршня, кГ/м^2 ;

q – загальна вага рухомої системи приладу, кг;

F – площа поршня, m^2 ;

d – діаметр поршня, м.

З рівняння (3.13) випливає, що спад тиску у витратомірі завжди сталий, не залежить від величини витрати і визначається виключно діаметром поршня та загальною вагою рухомої системи, заданими конструкцією приладу.

Однак при будь-якій зміні витрати в той чи інший бік зазначена рівновага системи у перший момент (до відповідного переміщення поршня і зміни кільцевого зазора) порушуватиметься внаслідок відхилення різниці $p_1 - p_2$ від сталого значення. Тільки після пересування поршня під впливом різниці зусиль, яка виникає від перепаду тисків у приладі і ваги рухомої системи, настане завдяки зміні прохідного перерізу новий стан рівноваги, і перепад тисків у приладі досягне попередньої розрахункової величини.

Мінімальна межа вимірювань витрати за допомогою витратомірів сталого перепаду дорівнює 10-20% верхньої межі шкали приладу.

Залежно від будови витратоміри сталого перепаду поділяються на *поршневі витратоміри та індикатори витрати*.

11.12.1. Поршневі витратоміри

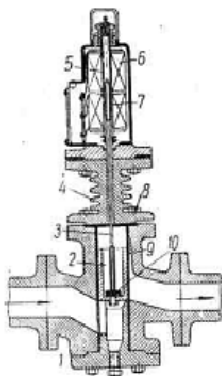


Рис. 3.27. Поршневий витратомір типу ППЗ:

- 1 – корпус; 2 – поршень; 3 – шток;
- 4 – ребристий охолодник; 5 – труба з немагнітної сталі; 6 – здвоєна індуктивна котушка; 7 – плунжер;
- 8 – болти; 9 – втулка; 10 – тягарці

Поршневий витратомір сталого перепаду типу ППЗ (рис. 3.27) є безшкальним приладом і має датчик, який працює за схемою індуктивного моста з одним або двома вторинними приладами типу 3. Прилад призначений для вимірювання витрати рідини і пристосований для встановлення на горизонтальних ділянках трубопроводу. В чавунному корпусі 1 закріплена циліндрична втулка 9 з входним і вихідним отворами для пропускання рідини. Вхідний отвір має круглу форму, а вихідний — прямокутну. В середині втулки 9 рухається пришліфований до неї порожнистий поршень 2, з'єднаний штоком 3 з сталевим плунжером 7 здвоєної індуктивної котушки датчика 6, насадженої на трубку 5 з немагнітної сталі. Циліндричну втулку і поршень приладу виготовляють з латуні або нержавіючої сталі. Прямокутна форма вихідного отвору втулки забезпечує прямолінійну залежність між підніманням поршня і витратою вимірюваної речовини.

Межу вимірювань витратоміра, зумовлену величиною перепаду тисків, регулюють, змінюючи вагу рухомої системи за допомогою додаткових тягарців 10, які накладають на дно поршня, а також змінюючи переріз вихідного отвору за допомогою заміни втулки 9. Щоб захистити котушку датчика від дії високої температури, між корпусом приладу і котушкою встановлюють ребристий

охолодник 4. Витратоміри типу ППЗ виготовляють з діаметром патрубка 50 мм; вони розраховані на робочий тиск рідини до 16 кг/см^2 при температурі до 100°C . При встановленні приладу перед і за ним вибирають прямі заспокоювальні ділянки трубопроводу завдовжки близько 500 мм.

Прилад виготовляють з верхньою межею вимірювань 500-4000 кг/год на перепад тисків відповідно 200-700 мм вод. ст. Клас точності витратоміра 2,5.

11.12.2. Індикатори витрати

До витратомірів сталого перепаду належать також індикатори витрати (ротаметри), призначені для вимірювання витрати рідини і газу. Відмітною особливістю цих приладів є циліндричний поплавець (ротатор), який вільно переміщається в потоці, що проходить через скляну конусну трубку. Скляні індикатори витрати типу РС виготовляють на робочий тиск 3-6 кг/см^2 при температурі до 100°C і застосовують для встановлення на вертикальних ділянках трубопроводу з висхідним потоком. Прилади випускають з внутрішнім діаметром патрубків 8, 15 і 40 мм.

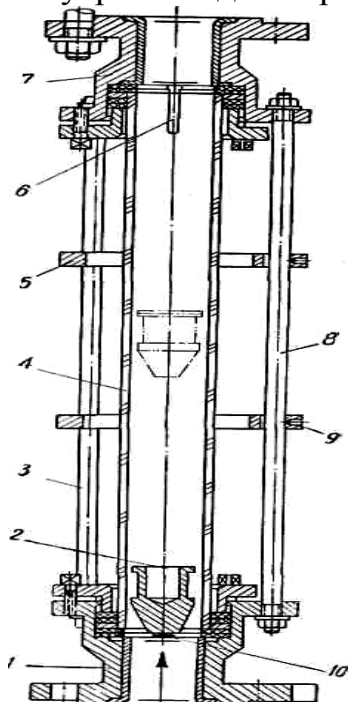


Рис. 3.28. Скляний індикатор витрати типу РС-7:

1 і 7 – металеві патрубки;
2 – поплавець; 3 і 8 –
анкерні болти; 4 – скляна
конусна трубка; 5 і 9 –
горизонтальні ребра;
6 і 10 – обмежувачі

Будову скляного індикатора витрати типу РС-7 подано на рис. 3.28. Прилад має конусну скляну трубку 4, яка розширюється догори; усередині цієї трубки може вільно переміщатись поплавець 2, виготовлений з нержавіючої сталі, дюралюмінію або ебоніту. Скляна трубка 4 верхнім і нижнім кінцями затиснута за допомогою сальникових ущільнень у металевих патрубках 1 і 7, які мають фланці для встановлення індикатора витрати в трубопроводі. В цих самих патрубках є обмежники крайніх положень поплавця 6 і 10.

Щоб надати приладу механічної міцності, обидва патрубки стягують поздовжніми анкерними болтами 3 і 8 з горизонтальними ребрами 5 і 9, які сидять на них.

Потік вимірюваної речовини, проходячи через конусну трубку знизу вгору, захоплює за собою поплавець. Із зміною витрати речовини поплавець піднімається або опускається, поки кільцевий зазор між тілом поплавця і стінками конусної трубки, який змінюється при цьому, не забезпечить створення перепаду тисків, достатнього для зрівноваження ваги поплавця.

Витрату вимірюваної речовини відлічують по шкалі, нанесеній безпосередньо на зовнішній поверхні скляної трубки. Показником для відліку є верхня кромка поплавця. Шкала має градуйовану в об'ємних одиницях витрати: для газу – в $\text{нм}^3/\text{год}$ витрати повітря і для рідини – в л/год витрати води при температурі 20°C . При відхиленні параметрів повітря або води від градуйовальних значень, а також при вимірюваннях

витрати інших рідин і газів до показів приладу вводять поправочний множник, який враховує різницю питомої ваги.

Індикатори витрати типу РС непридатні для вимірювання дуже запиленних газів і непрозорих рідин. Межі вимірювань індикаторів витрати і спричинюваний ними перепад тисків, залежать від розмірів приладу і ваги поплавця. Верхня межа вимірювань для повітря 0,06-40 $нм^2/год$, а для води – 14-3000 $л/год$. Перепад тисків 8-95 $мм$ вод. ст. Клас точності приладів 1,5-2,5.

11.13. Терези

Найточнішим і дуже поширеним способом обліку кількості твердих тіл, зокрема палива, є зважування. Для цього як основний прилад застосовують важільні (коромислові) терези, які визначають масу зважуваного палива способом порівняння її з масою каліброваних тягарців (гир).

11.13.1. Типи важільних терезів

Є два типи важільних терезів: *ручні й автоматичні*.

Ручні терези бувають *гирні, шкальні, циферблатні і мішані*. Вагу тіла G за допомогою гирних (рівноплечих) терезів з довжиною плечей L (рис. 3.29, а) визначають, зрівноважуючи тягар вагою знімних гир (Q , які встановлюють на протилежне плече коромисла терезів, тобто

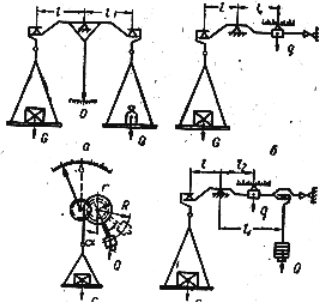


Рис. 3.29. Ручні терези:
а – гирні; б – шкальні;
в – циферблатні;
г – мішані

$$GL = QL, \text{ або} \\ G = Q. \quad (3.14)$$

Зважування на шкальних терезах (рис. 3.29, б) зв'язане з переміщенням по плечу і коромисла терезів незнімної гирі <7 , за положенням якої відносно прямолінійної шкали визначають вагу вимірюваного тіла в момент рівноваги системи;

$$GL = QL_1.$$

$$\text{Звідки} \quad G = Q \frac{L_1}{L}. \quad (3.15)$$

Циферблатні терези дають змогу визначати вагу тіла за допомогою стрілки і дугової шкали (рис. 3.29, в). У стані рівноваги маємо:

$$Gr = QR \sin \alpha$$

або

$$G = Q \frac{R}{r} \sin \alpha, \quad (3.16)$$

де R і r – радіуси прикладання сил від гирі Q і тягарця G ;

α – кут повороту рухомої системи терезів.

Мішані терези звичайно поєднують у собі гирні (нерівноплечі) і шкальні терези (рис. 3.29, г). При рівновазі системи дістанемо:

$$GL = QL_1 + qL_2,$$

звідки

$$G = \frac{QL_1 + qL_2}{L}, \quad (3.17)$$

де L_1 і L_2 – плечі гир Q і q .

До мішаних терезів належать такі не рівноплечі терези, як десяткові, сотенні і т. д., в яких відношення плечей коромисла $\frac{L_1}{L_2}$ на які діють вага гир Q і вага G вимірюваної речовини, що врівноважуються нею, відповідно дорівнюють 10, 100 і т. д. Ручні терези призначені переважно для зважування невеликих кількостей. У лабораторній практиці при аналізах води, масла і палива застосовують дуже точні гирні (рівноплечі) терези, які відомі під назвою аналітичних і технічних і дають змогу вимірювати з точністю: перші – до 0,0002 г, другі – до 0,01 г.

Кількості спалюваного на електростанціях твердого палива визначають, як правило, автоматичними терезами, які не тільки механізують процес зважування, а й обліковують результат вимірювання за допомогою лічильного механізму.

За принципом дії автоматичні терези поділяються на дві групи:

- 1) *терези порціонні*, які дають змогу зважувати паливо окремими порціями;
- 2) *терези безперервного зважування* палива при його транспортуванні механізмами паливоподачі.

11.13.2. Порціонні автоматичні ваги

Порціонні автоматичні ваги бувають *ковшеві* (бункерні) і *платформові* (вагонні). Перші виготовляють з перекидним ковшем або дном ковша, яке перекидається, а другі — з механічним або електричним керуванням.

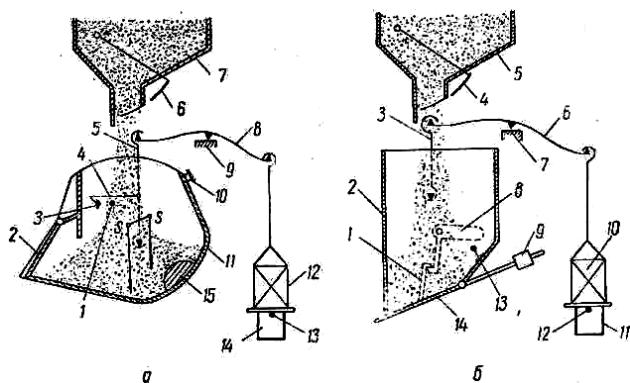


Рис. 3.30. Ковшеві ваги:

- a* – з перекидним ковшем: 1, 10 і 13 – упори; 2 – дверці; 3 – призма; 4 – клямка; 5 – підвіска; 6 – заслінка; 7 – лійка; 8 – коромисло; 9 – станина; 11 – ківш; 12 – гирьотримач; 14 – скоба; 15 – противага; *б* – з дном, яке відкривається; 1 – курок; 2 – ківш; 3 – підвіска; 4 – заслінка; 5 – лійка; 6 – коромисло; 7 – станина; 8 – собачка; 9 – противага; 10 – гирьотримач; 11 – скоба; 12 і 13 – упори; 14 – відкидне дно

Бункерні ваги з перекидним ковшем (рис. 3.30, а) мають подвійне рівноплече коромисло 8 (другої частини коромисла на схемі не видно), яке спирається призмами на станину 9. До кінцевих призм лівого плеча коромисла підвішені дві підвіски 5, на які внизу спирається двома призмами ківш 11. Призми закладені в бічні стінки ковша із зовнішнього боку. На правому плечі коромисла до кінцевих призм підвішений гирьотримач 12 з гирями.

Центр ваги 5 порожнього ковша внаслідок дії противаги 15, укріпленої на задній стінці ковша, розміщений з правого боку від точки підвішування, тоді як центр ваги 5 і наповненого ковша через надану йому форму міститься з лівого боку від цієї точки. Отже, порожній ківш намагається

повернутись за стрілкою годинника, а наповнений — проти неї. Обертання порожнього ковша перешкоджає упор 10, а наповненого — призма 3, яка закладена зовні в бічну стінку ковша і впирається в клямку 4, шарнірно з'єднану з підвіскою 5.

Паливом ківш наповнюють через живильну лійку 7, вихідний отвір якої закриває заслінка 6. При наповненні ковша і досягненні стану рівноваги гирьотримач, переміщаючись угору в зв'язку з опусканням ковша, закриває за допомогою важелів (на схемі не показані) заслінку 6 і припиняє надходження палива з лійки. Ківш із вантажем по інерції продовжує рухатись униз; при цьому клямка 4 зустрічається з нерухомим упором 1, закладеним у станину терезів, і піднімається, зіскакуючи з призми 3. Звільнений від запору ківш повертається проти стрілки годинника, дверці 2 під дією власної ваги і тиску палива відчиняються, і вміст ковша висипається в приймальний бункер. У нижній частині гирьотримача закріплена скоба 14, яка обмежує хід ковша за допомогою нерухомого упору 13. У міру випорожнення ківш піднімається внаслідок опускання гирьотримача з гирями і після повного звільнення від вмісту повертається в початкове положення, повертаючись за стрілкою годинника в зв'язку з переміщенням центра ваги праворуч від точки підвішування. При повертанні ківш замикається клямкою 4 і відкриває заслінку 6, після чого настає новий цикл зважування.

11.13.3. Автоматичні терези для безперервного зважування

Автоматичні терези для безперервного зважування встановлюють на стрічкових транспортерах; їх називають *транспортними*. Ці терези найчастіше застосовують на електростанціях, які працюють на вугіллі, де вони є основним приладом для обліку витрати палива, що надходить по транспортерах вуглеподавання в котельну або пилоприготувальний пристрій. їх використовують також як індивідуальні терези млинів.

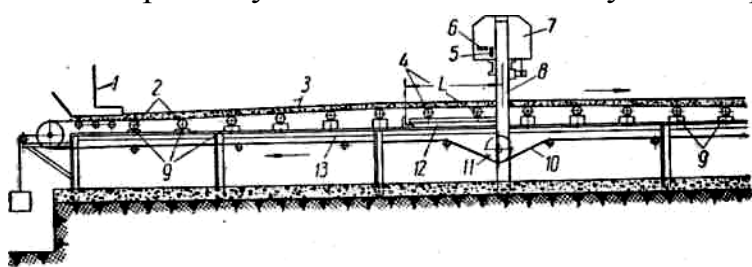


Рис. 3.31. Схема автоматичних транспортних терезів типу ЛТ:

- 1 – лійка; 2 і 4 – ролики; 3 – ведуча частина стрічки транспортера; 5 – показчик погонного навантаження;
- 6 – лічильний механізм; 7 – кожух; 8 – рама терезів;
- 9 – підкладки; 10 – ведена частина стрічки транспортера; 11 – приводний барабан;
- 12 – платформа терезів; 13 – станина транспортера

Транспортні терези не порушують плавності подавання палива і мають простий і досить надійний у роботі механізм. Терези встановлюють як на горизонтальних, так і на похилих транспортерах з кутом нахилу до горизонталі, який не перевищує 20-25°.

На рис. 3.31 зображено схему автоматичних транспортних терезів типу ЛТ, установлених на горизонтальному стрічковому транспортері. На станині транспортера 13 розміщена платформа терезів 12 з роликами 4. На ці ролики спирається ведуча частина стрічки 3, яка переміщає паливо, що надходить з

лійки 1. Кінець платформи з боку набігання стрічки транспортера нерухомий, її протилежний кінець зв'язаний важільною передачею, укріпленою на рамі терезів 8, з вимірювальним механізмом, розміщеним у кожусі 7. Найбільше переміщення рухомого кінця платформи по вертикалі становить при зважуванні 0,4-1,4 мм. Відстань між роликівими опорами на платформі терезів і на станині транспортера однакова і дорівнює 1 м. У рух лічильник терезів приводить барабан 11, який укріплений на їх рамі і обертається веденою частиною стрічки 10. Перед лічильним механізмом 6 і покажчиком погонного навантаження стрічки транспортера 5 у кожусі терезів є оглядові отвори (вікна).

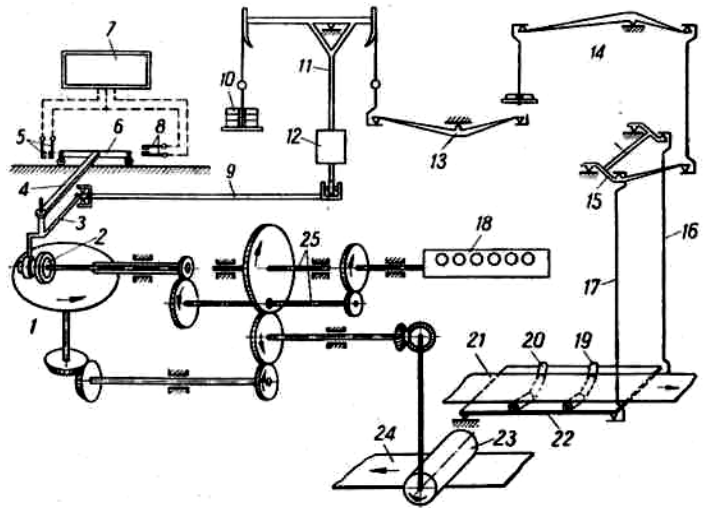


Рис. 3.32. Кінематична схема стрічкових транспортних терезів типу ЛТ:
 1 – диск; 2, 19 і 20 – ролики; 3, 4, 13, 14 і 15 – важелі; 5 і 8 – контакти; 6 – каретка; 7 – сигналізуючий пристрій; 9 – хомутик; 10 і 12 – гирі; 11 – квадрант; 16 і 17 – тяга; 18 – лічильний механізм; 21 – ведуча частина стрічки транспортера; 22 – платформа терезів; 23 – приводний барабан; 24 – ведена частина стрічки транспортера; 25 – зубчастий диференціал

Терези вбудовують у транспортер без особливої їх переробки. При монтажі під кожну з шести роликівих опор 2 транспортера, які прилягають до платформи терезів з кожного боку, підводять підкладки 9 так, щоб уклон стрічки транспортера на цих ділянках становив близько 0,006.

Вага вантажу, що міститься, на ділянці стрічки L між серединами прольотів, що прилягають до терезів, передається тільки на платформу терезів. Тому величина L , яку подають звичайно в метрах, називається *теоретичною довжиною платформи терезів*. У даному випадку L дорівнює 2 м.

Транспортерні терези типу ЛТ мають основну похибку вимірювань $\pm 1\%$ дійсного значення. Вони мають невеликі розміри, дуже зручні для монтажу, і дають змогу зважувати при швидкості руху стрічки транспортера до 2-2,5 м/сек. Технічну характеристику їх (максимальне погонне навантаження, ширину і швидкість руху стрічки, кут нахилу платформи) встановлюють залежно від технічної характеристики обслуговуваного транспортера.

11.13.4. Перевірка автоматичних терезів

Дію вагового механізму ковшових терезів перевіряють спочатку за допомогою контрольного вантажу. Потім визначають похибку терезів при зважуванні однієї порції і середню при зважуванні десяти порцій.

При перевірці платформних терезів їх автоматично діючий механізм спочатку вимикають і на кінці платформи послідовно кладуть зразкові гирі, які дорівнюють за вагою 1/10 максимальної вантажопідйомності терезів. Тоді похибка зважування не повинна перевищувати 0,2% вантажу, який лежить на

платформі. Потім терези перевіряють при максимальному навантаженні, причому гирі розміщують рівномірно по всій площі платформи. Допустима похибка при цьому не повинна перевищувати 0,1% ваги гирі. Після цього терези перевіряють при включеному автоматично діючому механізмі під час зважування ними вантажу, що складається із зразкових гир, поступово збільшуючи його рівними частинами в межах від мінімальної до максимальної вантажопідйомності терезів. У процесі цього випробування перевіряють роботу автоматичного пристрою терезів і контролюють покази лічильного механізму.

При перевірці транспортних терезів їх платформу навантажують гирями в кількості, близькій за вагою до максимальної вантажопідйомності терезів. Гирі встановлюють на платформу під стрічкою транспортера, після чого при холостому ході транспортера перевіряють покази лічильника за певний час.

Транспортні терези можна також перевіряти, пропускаючи по транспортеру паливо, зважене перед цим на точних неавтоматичних терезах.

Завдання

1. Що Ви розумієте під поняттям вимірювання витрати? Одиниці вимірювання.
2. Які основні фізичні принципи покладені в основу роботи приладів для вимірювання витрати?
3. Вказати основні методи вимірювання витрати та привести приклади, що використовуються для цього.
4. Пояснити принцип роботи витратоміра змінного перепаду тиску.
5. Будова, основні вимоги та призначення складових частин витратоміра змінного перепаду тиску.
6. Будова, принцип роботи та призначення турбінних лічильників витрати.
7. Будова, принцип роботи та призначення об'ємних лічильників витрати. Фоторні лічильники газу.

Тема 12. Аналіз димових газів

На економічність роботи котлоагрегату в основному впливають втрати тепла через хімічну неповноту згоряння і з вихідними газами. Величини цих втрат залежать від кількості повітря, яке надходить у топку котла.

Зменшення подавання повітря призводить до збільшення втрат від хімічної неповноти згоряння через недостачу кисню. Кожне паливо для свого згоряння потребує певну кількість повітря, причому ця кількість тим більша, чим вищий вміст у паливі горючих частин – вуглецю і водню. При повному згорянні вуглецю утворюється двоокис вуглецю, а при згорянні водню — водяна пара. Неповне згоряння вуглецю зв'язане з утворенням окису вуглецю і зменшенням виділення тепла майже в три рази.

Збільшення надходження в топку повітря спричинює збільшення втрати з вихідними газами, бо на нагрівання додаткового повітря, яке підвищує загальну кількість вихідних газів, непродуктивно витрачається частина тепла. Крім того, надмірне подавання повітря призводить до зниження температури в

топці, що зв'язано з погіршенням умов теплообміну.

Для кожного окремого випадку, який характеризується типом котлоагрегату, його навантаженням і видом спалюваного палива, існує економічно найвигідніше співвідношення між кількостями витрачуваного палива і потрібного для його згоряння повітря. При цій оптимальній кількості повітря сумарна втрата тепла від хімічної неповноти згоряння і з вихідними газами становить найменшу величину.

Підтримання оптимального режиму роботи топки котла потребує організації безперервного контролю кількісного складу димових газів, причому найважливіше визначити вміст двоокису вуглецю або кисню, які характеризують співвідношення між кількостями витрачуваного палива і повітря.

12.1. Основні положення

Прилади для кількісного аналізу газів називаються *газоаналізаторами*.

При повному згорянні палива димові гази містять азот (N_2), кисень (O_2), двоокис вуглецю (CO_2), водяну пару (H_2O) і при наявності в паливі горючої сірки (S) — двоокис сірки (SO_2). При неповному згорянні в димових газах додатково виникають горючі гази: окис вуглецю (CO), водень (H_2) і метан (CH_4).

Для аналізу кількісного складу димових газів у газоаналізатор надходить проба досліджуваного газу, яку беруть з газоходу котла. Вміст у ній окремих компонентів газоаналізатор визначає в об'ємних одиницях, звичайно в процентах від загального об'єму газової суміші.

Теоретично потрібна кількість повітря, яку визначають розрахунком, для повного згоряння палива завжди є мінімальною. Насправді завдяки недосить рівномірному надходженню повітря до окремих частинок палива для повного згоряння треба значно більше повітря.

Відношення практично потрібної кількості повітря до теоретично потрібної називається *коефіцієнтом надлишку повітря*. Величина цього коефіцієнта залежить від виду палива, способу його спалювання і режиму роботи топки.

Відомо, що в атмосферному повітрі нормально міститься за об'ємом близько 21% O_2 . Якби паливо складалося з одного вуглецю (C), то при повному його згорянні в димових газах було б 21% CO_2 , оскільки кожний об'єм O_2 утворює однаковий з ним об'єм CO_2 . Тільки при спалюванні під котлами газу, що містить CO і CO_2 , наприклад колошникового, можна мати вищий протчи вмісту CO_2 в димових газах.

Крім C, у паливі можуть бути H_2 і S, які також потребують O_2 для свого згоряння. Крім того, частина O_2 через недосить добре перемішування повітря з паливом лишається невикористаним. Усе це призводить до зниження вмісту CO_2 в димових газах проти теоретично можливої кількості.

Якщо для якого-небудь сорту спалюваного палива відома величина CO_{2max} , то за об'ємним вмістом у димових газах CO_2 , який визначають за допомогою газоаналізатора, можна наближено знайти відповідне значення

коефіцієнта надлишку повітря a за формулою

$$a = \frac{CO_{2\text{макс.}}}{CO_2}. \quad (3.18)$$

Отже, визначення об'ємного вмісту CO_2 або O_2 в димових газах дає змогу контролювати величину a . Незначний вміст CO_2 або високий вміст O_2 свідчить про великий надлишок повітря, який призводить до збільшення втрати з вихідними газами, і навпаки, високий вміст CO_2 або невеликий вміст O_2 характеризує недостачу повітря для горіння, а разом з цим зростання втрати тепла від хімічної неповноти згорання.

Для повнішого і точнішого контролю процесу згорання палива за допомогою газоаналізаторів поряд з CO_2 і O_2 визначають також CO , H_2 та інші компоненти газової суміші.

12.2. Класифікація газоаналізаторів

Газоаналізатори бувають *ручні* і *автоматичні*. Перші застосовують для контрольних і лабораторних вимірювань, а другі – для безперервного аналізу газів у промислових установках.

Ручні газоаналізатори є переносними приладами. Вони мають велику точність вимірювання, завдяки чому їх широко використовують при випробуваннях і налагоджуванні роботи котлоагрегатів, а також для перевірки автоматичних газоаналізаторів в експлуатації.

Автоматичні газоаналізатори є технічними приладами. Їх виготовляють показуючими і самопишучими, вони можуть бути також з дистанційним передаванням показів.

За принципом дії газоаналізатори поділяються на такі основні групи:

- 1) *хімічні*;
- 2) *електричні*;
- 3) *магнітні*.

Хімічні газоаналізатори визначають окремі компоненти газової суміші через вибірне поглинання (абсорбцію) їх відповідними хімічними реактивами. Ручні газоаналізатори в переважній більшості є хімічними.

Електричні газоаналізатори ґрунтуються на порівнянні теплопровідності димових газів і повітря.

Об'ємний вміст шуканої компоненти вимірюють за зміною залежно від температури електричного опору провідників, які є в приладі.

У магнітних газоаналізаторах використовуються магнітні властивості газів. При взаємодії газу з нерівномірним магнітним полем у приладі виникає напрямлений потік газу («магнітний вітер»), який виникає внаслідок термомагнітної конвенції, інтенсивність цього потоку залежить від вмісту в газовій суміші шуканого компонента; його вимірюють за зміною електричного опору нагрівального елемента, який охолоджується цим потоком.

Шкали газоаналізаторів градуюють у процентах об'ємного вмісту в газовій суміші шуканих компонентів. Ручні хімічні газоаналізатори є переносними приладами і за своїм призначенням поділяються на,

газоаналізатори для *скороченого* і *повного* (загального) аналізу газу. З них найчастіше застосовують переносні газоаналізатори для скороченого аналізу.

12.3. Переносний газоаналізатор типу ГХП-3

Прилад призначений для визначення вмісту в димових газах CO_2 , O_2 і CO . Схему газоаналізатора подано на рис. 3.33. Прилад має три скляні поглинальні посудини 15, 16 і 17 з реактивами. Кожна з посудин містить 200 мл реактиву і складається з двох з'єднаних між собою циліндричних балонів, які призначені: один – для приймання і поглинання реактивом газу і другий – для приймання реактиву, який витискується під час поглинати. У балонах для поглинання газу, приєднаних за допомогою капілярних трубок з кранами 5, 6 і 9 до скляної розподільної (капілярної) гребінки 7, розміщені тонкостінні трубочки із зовнішнім діаметром 4-5 мм, які призначені для збільшення поверхні стикання поглинального реактиву з досліджуванним газом. Усі балони для приймання витискуваного реактиву сполучені у верхній частині скляною трубкою 8 з гумовим мішечком 14, який ізолює реактив від атмосферного повітря.

До правого кінця розподільної гребінки приєднана вимірювальна бюретка 11 місткістю 100 мл, яка міститься в скляній циліндричній посудині (сорочці) 13 з водою для охолодження відібраної в бюретку проби газу і підтримання його температури сталою під час аналізу.

Для збільшення точності відліку нижня частина бюретки, яка має шкалу 12, проградуєвану від 0 до 50 мл (в %) з ціною поділки 0,2 мл, має невеликий переріз. За допомогою гумової трубки вимірювальну бюретку приєднують до зрівняльної посудини 10 із замикаючою рідиною (водяний розчин № С1), яка призначена для відбирання і переміщення в приладі проби газу.

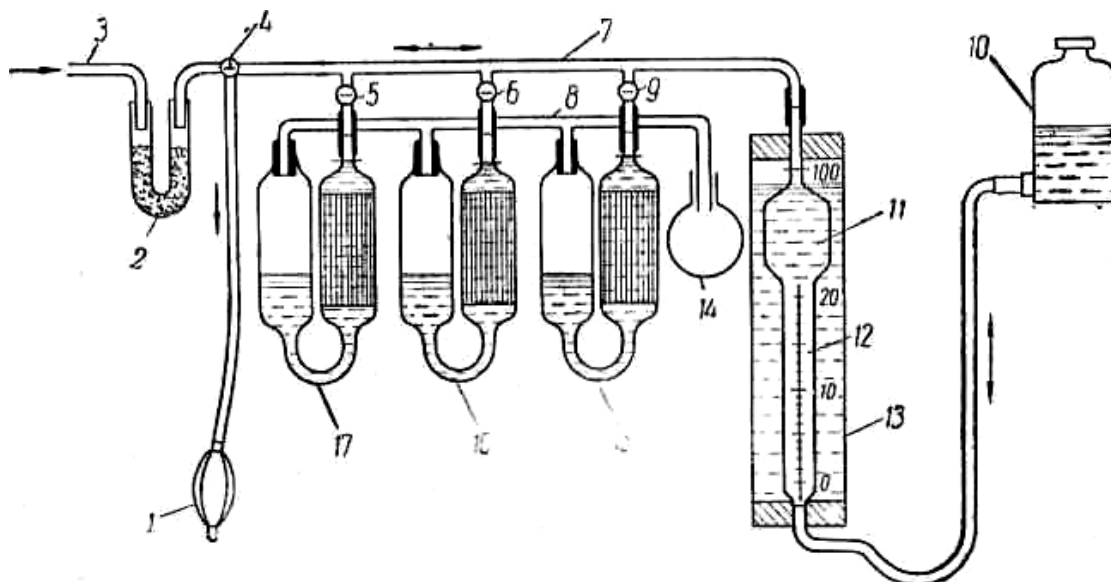


Рис. 3.33. Переносний газоаналізатор типу ГХП-3 для скороченого аналізу: 1 – гумова груша; 2 – фільтр; 3 – газопідвідна трубка; 4 – триходовий кран; 5, 6 і 9 – крани; 7 – гребінка; 8 – трубка; 10 – зрівняльна посудина; 11 – вимірювальна бюретка; 12 – шкала; 13 – сорочка; 14 – гумовий мішечок; 15-17 – поглинальні посудини

На лівому кінці розподільної гребінки встановлений триходовий кран 4, який з'єднують з атмосферою за допомогою трубки, що має на кінці гумову грушу 1, і фільтра для газу 2, заповненого скляною ватою. Фільтр зв'язаний з газопідвідною трубкою 3, яку з'єднують з газоходом котла.

Посудина 15 призначена для поглинання CO_2 . Як реактив застосовують водяний розчин їдкою калі (KOH), який складається за вагою з 33% KOH і 67% H_2O . Реакція поглинання CO_2 в посудині проходить за рівнянням



При складанні реактив KOH розчинюють у дистильованій воді. Допустима межа поглинання 1 мл цього розчину дорівнює 40 мл CO_2 .

Посудина 16 призначена для поглинання O_2 . Реактивом є лужний розчин пірогалової кислоти $[\text{C}_6\text{H}_3(\text{OH})_3]$, що містить за вагою 13% $\text{C}_6\text{H}_3(\text{OH})_3$, 29% KOH і 58% H_2O . Допустима поглинальна здатність 1 мл цього розчину 2,3 мл O_2 . Для розчинення $\text{C}_6\text{H}_3(\text{OH})_3$ з водний розчин KOH нагрівають до 60°C , причому реактив приготують по можливості швидко, оскільки він інтенсивно поглинає O_2 , який є в атмосферному повітрі.

У посудині 17 CO поглинається лужним розчином напівхлористої міді (Cu_2Cl_2), який містить за вагою 17% Cu_2Cl_2 , 21% NH_4Cl (хлористий амоній) і 62% H_2O . Перед заливанням реактиву в поглинальну посудину до нього додають 1/3 за об'ємом 25%-ного водного розчину аміаку (NH_4OH). Цей реактив також інтенсивно поглинає з повітря O_2 , тому до нього застосовують ті самі застережні заходи, що й до розчину пірогалової кислоти. Слід зазначити, що реактив для поглинання CO швидко насичується і псується, тому він не забезпечує достатньої надійності вимірювань. Через це газоаналізатором ГХП-3 CO визначають порівняно рідко.

Димові гази за допомогою переносного газоаналізатора аналізують так. Триходовий кран 4 ставлять у положення, при якому розподільна гребінка сполучається з атмосферою, після чого, оперуючи по черзі запірними кранами 5, 6 і 9 поглинальних посудин і змінюючи положення зрівняльної посудини 10 із замикаючою рідиною, підтягують рівні реактивів до контрольних позначок, які є на капілярних трубках нижче кранів. Потім, піднімаючи зрівняльну посудину, заповнюють рідиною вимірювальну бюретку 11 і відключають розподільну гребінку триходовим краном від атмосфери, сполучаючи при цьому гумову грушу 1 через фільтр 2 з газопідвідною трубкою 3.

Опускаючи зрівняльну посудину, протягом 5-10 хв. перевіряють щільність приладу за положенням рівнів у поглинальних посудинах і вимірювальній бюретці. Якщо щільність приладу недостатня і внаслідок присмоктування повітря ці рівні змінюються, то треба змастити крани вазеліном і ущільнити гумові з'єднання скляних частин приладу.

Упевнившись у щільності приладу, газопідвідну лінію продувають, для чого деякий час просмоктують газ за допомогою групи з газоходу в атмосферу, щоб замінити газ, який був у лінії. Після цього продувають розподільну гребінку, для чого з'єднують її триходовим краном з газопідвідною трубкою і, опускаючи зрівняльну посудину, заповнюють бюретку газом, витісняючи потім цей газ через триходовий кран в атмосферу, повторно піднімаючи

зрівняльну посудину.

Продування гребінки повторюють кілька разів, після чого вимірювальну бюретку заповнюють замикаючою рідиною до позначки на її капілярі 100 мл і, сполучаючи гребінку триходовим краном з газопідвідною трубкою, засмоктують у бюретку зрівняльною посудиною пробу газу для аналізу. При цьому рівень рідини в бюретці опускають трохи нижче від позначки 0 і відключають прилад триходовим краном.

У такому положенні охолоджують газ у бюретці протягом 0,5-1 хв, потім піднімають зрівняльну посудину так, щоб рівні замикаючої рідини в ній і в бюретці були однакові, з'єднують гребінку триходовим краном з атмосферою і, продовжуючи повільно піднімати зрівняльну посудину, витісняють назовні зайвину забраного в прилад газу, поки рівні рідини в посудині і вимірювальній бюретці не збіжаться з позначкою 0. У цей момент триходовим краном відключають прилад, відсікаючи таким способом у бюретці точно 100 мл димового газу при атмосферному тиску і температурі навколишнього повітря.

Аналіз газу починають з поглинання CO_2 , для чого відкривають кран поглинальної посудини 15 і, повільно піднімаючи зрівняльну посудину, переганяють весь газ з бюретки в цю поглинальну посудину. Під тиском перемішуваного газу реактив з балона для приймання газу витісняється в балон для приймання реактиву, оголяючи при цьому змочені розчином скляні трубочки. Опускаючи потім зрівняльну посудину, повертають газ у вимірювальну бюретку, стежачи, щоб реактив у поглинальній посудині не піднявся вище від контрольної позначки на капілярній трубці.

Для повного поглинання CO_2 переміщення проби газу з вимірювальної бюретки в поглинальну посудину 15 і навпаки роблять 4-5 раз, після чого підтягують рівень реактиву до контрольної позначки на капілярі поглинальної посудини, відключають останню краном і, суміщаючи рівні рідини в зрівняльній посудині і вимірювальній бюретці, визначають по шкалі, нанесеній на вимірювальній бюретці, зменшення об'єму газу за рахунок поглинання реактивом CO_2 . Вслід за цим роблять ще одне контрольне переміщення залишку газу з вимірювальної бюретки в поглинальну посудину 15 і назад і знову визначають вміст CO_2 . Якщо результати поглинання CO_2 будуть однакові, аналіз на цьому закінчують; у протилежному випадку газ переміщують доти, поки два суміжні вимірювання не будуть однаковими.

Так само визначають вміст у димових газах O_2 і CO , переміщаючи залишок газової суміші після поглинання CO_2 у поглинальну посудину 16, а після поглинання CO_2 і O_2 – у поглинальну посудину 17. Відлік по шкалі вимірювальної бюретки після поглинання O_2 дає сумарний вміст у газовій суміші CO_2 і O_2 і відповідно після поглинання CO – вміст CO_2 , O_2 і CO . Внаслідок повільного поглинання O_2 і CO переміщення газу в поглинальній посудині 16 і 17 повторюють 7-10 раз. Після закінчення аналізу залишок проби газу витісняють з приладу зрівняльною посудиною назовні. Основна похибка вимірювання CO_2 і O_2 переносним газоаналізатором становить у середньому $\pm 0,2\%$.

Прилад змонтований у дерев'яному футлярі з висувними стінками, пристосованому для перенесення.

12.4. Автоматичні хімічні газоаналізатори

Автоматичні хімічні газоаналізатори, які застосовуються переважно для вимірювання вмісту CO_2 в димових газах, ґрунтуються на тому самому принципі, що й ручні, але тут періодичне (10-15 раз за годину) засмоктування проби газу певного об'єму (100-200 мл), переміщення її всередині приладу для поглинання і вимірювання складових частин, видалення газу після закінчення аналізу, а також показ або запис результатів вимірювань здійснюються автоматично за допомогою особливого силового пристрою.

Процес роботи автоматичного хімічного газоаналізатора на CO_2 , наочно ілюструється схемою, поданою на рис. 3.34.

Проба випробовуваного газу засмоктується в мірну посудину *М* сталого об'єму, яка називається **волюмометром**.

Точно відміряний у ньому об'єм газу пропускається через поглинальну посудину *П* з реактивом, який складається з водного розчину KOH . Об'єм газу, який залишився після поглинання CO_2 надходить у вимірювальну посудину *В*, в якій за зменшенням об'єму газу визначають процентний вміст CO_2 .

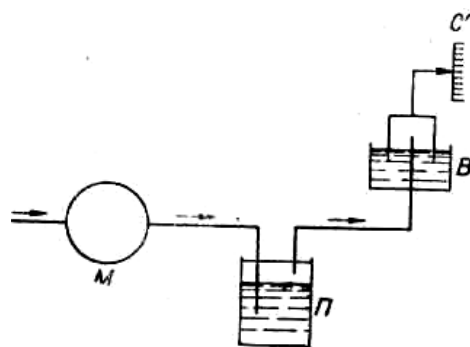


Рис. 3.34. Принципіальна схема автоматичного хімічного газоаналізатора на CO_2

Автоматичний хімічний газоаналізатор типу ГА-СХ-1 з межами вимірювань 0-20% CO_2 є самописучим приладом, що має електромеханічний силовий пристрій. Принципіальну схему цього газоаналізатора подано на рис. 3.35.

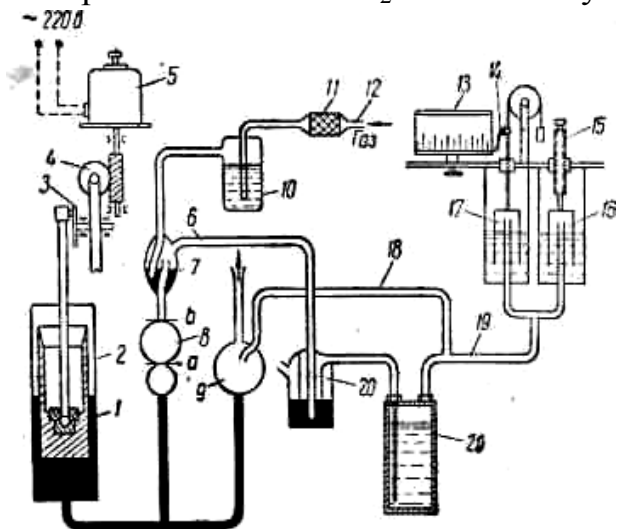


Рис. 3.35. Схема газоаналізатора типу ГА-СХ-1 на CO_2 :

- 1 – плунжер; 2 – силова посудина; 3 – кривошипний механізм; 4 – редуктор; 5 – електродвигун; 6, 18 і 19 – трубки; 7 і 20 – гідравлічні затвори; 8 – волюмометр; 9 – випускна посудина; 10 – зволожувач; 11 – фільтр; 12 – газопідвідна трубка; 13 – барабан; 14 – перо; 15 – упор; 16 – допоміжний ковпак; 17 – робочий ковпак; 21 – поглинальна посудина

Електродвигун 5 за допомогою черв'ячного редуктора 4 і кривошипного механізму 3 надає поступально-зворотного руху плунжеру 1, який міститься в силосійній посудині 2 із замикаючою рідиною (ртуттю).

При підніманні плунжера рівень ртуті в силосійній посудині і волюмометрі 8 та випускній посудині 9, які сполучені з ним, опускається, внаслідок чого у волюмометрі з газопідвідної трубки 12 через фільтр 11, зволожувач 10 і ртутний затвор 7 засмоктується свіжа проба випробовуваного газу.

Досягнувши крайнього верхнього положення, плунжер рухається вниз і витісняє ртуть з силосійної посудини 2 у волюмометр та випускну посудину 9. При цьому ртуть витісняє з

волюмометра 8 відібрану пробу газу через трубку 6 і ртутний затвор 20 у поглинальну посудину 21 з водним розчином КОН. Після поглинання CO_2 залишок газу з верхньої частини посудини 21 надходить через трубки 18 і 19 і випускно посудину 9 в атмосферу.

Газ з посудини 21 в атмосферу виходить доти, поки рівень ртуті в посудині 9, який поступово піднімається, не перекриє відкритий кінець трубки 76% що настане при підніманні ртуті у волюмометрі до нижньої позначки *a*. Цим забезпечується точне відмірювання об'єму газу, який є у волюмометрі між позначками *a* і *b* і дорівнює 100 мл, для аналізу. Після цього залишок газу з поглинальної посудини через трубку 19 надходить під допоміжний ковпак 16 і робочий ковпак 17, занурений у водяний розчин гліцерину, який міститься в двох посудинах.

Розміри і вага цих ковпаків розраховані так, що спочатку спливає до гвинтового упору 15 допоміжний ковпак, який вміщує ста лий об'єм газу, а потім починається піднімання робочого ковпака. Шнурок, на якому підвішений робочий ковпак, скріплений з пером 14, що позначає на стрічковій діаграмі, розміщеній на барабані 13, який приводиться в рух від годинникового механізму, пряму вертикальну лінію.

Висота піднімання робочого ковпака обернено пропорціоналі. на вмісту CO_2 в димовому газі. Найбільше піднімання робочого ковпака буде тоді, коли в газовій суміші не буде CO_2 . У цьому випадку перо підніметься до верхньої риски діаграми. У міру збільшення вмісту CO_2 піднімання робочого ковпака зменшуватиметься і, отже, лінії, які наносить перо, будуть коротші. Таким чином, біле не заштриховане поле у верхній частині діаграми характеризує кількість CO_2 , що є в досліджуваному газі.

До моменту закінчення аналізу ртуть у волюмометрі досягає верхньої позначки – *b*, а положення робочого ковпака, який вплив, і скріпленого з ним пера відповідає поглинутому з газової суміші об'єму CO_2 . У цей час плунжер 1, досягнувши крайнього нижнього положення, починає підніматись і, знижуючи рівень ртуті в випускній посудині 9, звільняє кінець трубки 18, через яку газ, що є під ковпаками, виходить в атмосферу і повертає ковпаки у вихідне нижнє положення. Одночасно з цим опускання ртуті у волюмометрі спричинює засмоктування в нього свіжої проби димового газу для наступного чергового аналізу. Прилад робить 12 аналізів за годину. Основна похибка його показів $\pm 2\%$ діапазону вимірювань.

Електродвигун газоаналізатора живиться від сітки змінного струму напругою 220 В. Потужність, яку споживає прилад, дорівнює 20 Ва. Корпус газоаналізатора має габаритні розміри 330×560×215 мм і пристосований для виступаючого монтажу.

Основними перевагами автоматичних хімічних газоаналізаторів є точність вимірювання і надійність дії. Недоліками їх слід вважати складність і громіздкість приладу, періодичність дії і, як наслідок запізнювання показів, складність обслуговування (треба часто замінити реактиви), ламкість деталей.

12.5. Електричні газоаналізатори

Електричні газоаналізатори, які дуже поширились, застосовують для вимірювання вмісту в димових газах CO_2 . Дія цих газоаналізаторів ґрунтується на порівнянні теплопровідності газової суміші і повітря електричним методом.

Теплопровідність димових газів залежить від їх складу і, зокрема, від вмісту в суміші CO_2 . У табл. 3.1 подано теплопровідності різних газів у процентах відносно теплопровідності повітря при температурі 0°C .

Таблиця 3.1

Повітря	CO_2	CO	O_2	N_2	H_2	CO_2	CH_4	Водяна пара (при 100°C)
100	61	96	102	100	713	34	132	97

Як видно з таблиці, CO_2 має майже в два рази меншу теплопровідність, ніж повітря, тоді як теплопровідності CO , O_2 і N_2 близькі до теплопровідності повітря. Це дає змогу визначати вміст CO_2 в димових газах за зміною теплопровідності суміші, якщо вміст у продуктах згоряння H_2 , SO_2 і CH_4 , які значно відхиляються за теплопровідністю від повітря, порівняно невеликий. Вплив водяної пари на теплопровідність газової суміші усувають, частково висушуючи газ у холодильнику, розміщеному перед приладом, внаслідок чого досягають однакової міри вологості повітря і димового газу. Електричні газоаналізатори на CO_2 непридатні для застосування без особливих додаткових пристроїв при спалюванні палива, яке багате на вміст H_2 , горючої сірки (S) і CH_4 (мазуту, торфу, бурого вугілля, природного горючого газу). При вмісті в димових газах H_2 покази електричного газоаналізатора дуже занижуються, а при вмісті SO_2 – дещо завищуються. Тому електричний газоаналізатор на CO_2 при наявності в димових газах H_2 і SO_2 можна встановлювати тільки у випадку попереднього допалювання H_2 в спеціальній електричній печі і поглинання SO_2 в сірчистому фільтрі, що містить знежирені сталеві стружки, змочені водою. Вплив на результати вимірювання CH_4 практично незначний, оскільки вміст його в димових газах невеликий.

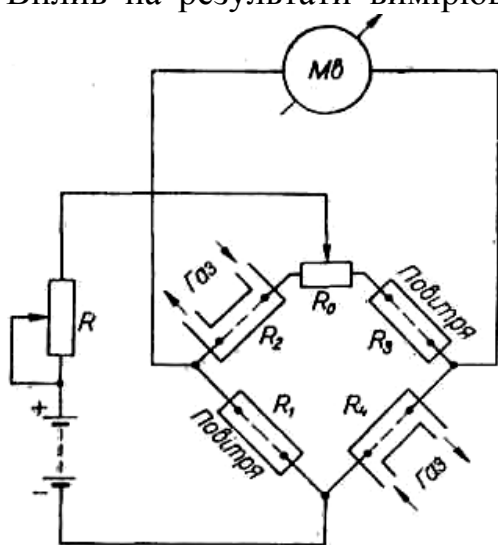


Рис. 3.36. Принципова схема електричного газоаналізатора на CO_2

Електричний газоаналізатор на CO_2 працює за схемою незрівноваженого вимірювального моста (рис. 3.36). Плечі моста R_1 , R_2 , R_3 , R_4 виготовляють у вигляді тонких платинових дротин, які мають однаковий електричний опір. Двоє протилежних плечей R_2 і R_4 розміщують у робочих камерах, крізь які безперервно просмоктується випробовуваний газ, а двоє інших плечей – R_1 і R_3 – у зрівняльних камерах з повітрям.

Міст живиться від увімкненого в одну з його діагоналей джерела постійного струму з реостатом для регулювання величини струму.

В другу діагональ моста ввімкнений мілівольтметр mB , проградуирований у процентах CO_2 . При проходженні струму плечі моста нагріваються до температури, близької до $100^\circ C$, і віддають тепло стінкам камер крізь шар повітря і димових газів, які просмоктовуються через камери.

Якщо через газові камери приладу пропускати замість димових газів повітря, то всі четверо плечей моста нагріваються до однакової температури, бо тепловіддача дротинки у навколишнє середовище буде однаковою. Тоді завдяки рівності температури, а отже, і електричного опору плечей міст прийде в стан рівноваги, при якій показ мілівольтметра mB дорівнюватиме нулю.

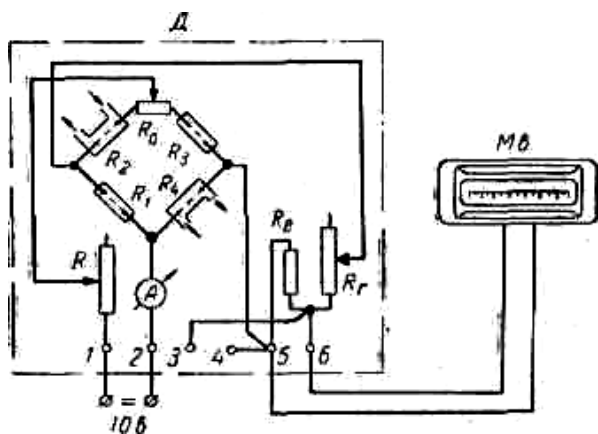


Рис. 3.37. Електрична схема газоаналізатора типу ГЕУК-21

При просмоктуванні через газові камери димових газів, які містять CO_2 , тепловіддача розміщених тут дротинки порівняно з тепловіддачею дротинки у повітряних камерах зменшиться. Внаслідок цього температура плечей R_2 і R_4 підвищиться, а разом з нею збільшиться й опір останніх, що порушить рівновагу моста і відхилить стрілку мілівольтметра на кут, який відповідає об'ємному вмісту у випробовуваному газі CO_2 .

Для корегування електричного нуля приладу при обмиванні всіх плечей повітрям призначений реостат R_0 , установлений у вершині моста.

Електричний газоаналізатор на CO_2 має порівняно рівномірну шкалу завдяки майже лінійній залежності величини струму, що проходить через мілівольтметр, від зміни теплопровідності димового газу.

Для визначення вмісту CO_2 у димових газах застосовують електричний газоаналізатор типу ГЕУК-21 з межами шкали $0-20\% CO_2$. Електричну схему його подано на рис. 3.37. Основними елементами газоаналізатора є датчик D , що має окремий корпус, і вторинний прилад mB (як такий звичайно застосовують мілівольтметр типу МПЩПр-154). У датчику встановлені: R_1, R_2, R_3, R_4 – активні плечі моста опором кожне близько 7 Ом , виготовлені з платинової дротини діаметром $0,04 \text{ мм}$ і завдовжки 75 мм , вміщені в газових і повітряних камерах металевих блоків; R_0 – реостат для встановлення електричного нуля з загальним опором $0,2 \text{ ом}$; R_r – градуювальний опір для початкової підгонки показів приладу; R_e – еквівалентний опір, який вимикають, коли в комплекті газоаналізатора є самопишучий мілівольтметр типу МСЩПр-054, що приєднується до затискачів 5 і 6; R – реостат для регулювання струму, який живить вимірювальний міст; A – амперметр для контролю і встановлювання струму за допомогою реостата R (по червоній позначці на шкалі амперметра). Гнізда 3 і 4 призначені для підключення до датчика переносного мілівольтметра при встановлюванні електричного нуля (у випадку розміщення вторинного приладу на великій відстані від датчика).

Прилад живиться постійним струмом напругою 10 В від акумуляторної батареї або спеціального джерела живлення типу ИП-6.

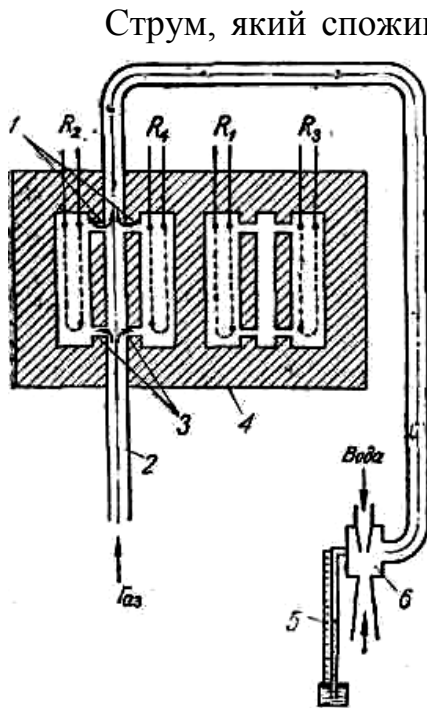


Рис. 3.38. Газова схема газоаналізатора типу ГЕУК-21:
1 і 3 – дроселі; 2 – газопідвідна трубка; 4 – блок;
5 – однотрубний водяний тягомір;
6 – водоструминний ежектор

Струм, який споживає газоаналізатор, дорівнює $0,4 \text{ А}$. Опір зовнішніх проводів, які з'єднують датчик з вторинним показуючим приладом, становить 3 Ом , а з самопишучим – 15 Ом .

На рис. 3.38 подано газову схему датчика газоаналізатора типу ГЕУК-21. Випробовуваний газ, який відсмоктується з димоходу водоструминним ежектором 6, по газопідвідній трубці і надходить у блок 4, в якому невелика частина газу відгалужується від загального потоку і надходить у газові камери, входячи через дроселі 3 і виходячи через дроселі 1, які призначені для вирівнювання витрати. При цьому газ обмиває плечі моста R_2 і R_4 , двоє інших плечей (R_1 і R_3) розміщені в щільно закритих повітряних камерах блока.

Для нормальної роботи газоаналізатора треба, щоб розрідження, створюване ежектором при просмоктуванні газової суміші, яке характеризує швидкість проходження газу через приймач, становило $30\text{-}40 \text{ мм вод. ст.}$, а розрідження в місці відбирання проби не перевищувало 150 мм вод. ст. Розрідження газу перед ежектором контролюють однотрубним водяним тягоміром 5.

Витрата води через ежектор становить близько 30 л/год , при тиску $0,6\text{-}0,8 \text{ кг/см}^2$.

Основна похибка показів газоаналізатора типу ГЕУК-21 не перевищує $\pm 0,5\% \text{ CO}_2$. Покази приладу залежать від зміни температури навколишнього середовища, а також від витрати газової суміші, тиску ежектуючої води і складу топкових газів. Додаткова температурна похибка приладу становить $\pm 0,3\% \text{ CO}_2$ на кожні 10°C відхилення температури навколишнього середовища від нормального значення (20°C) в діапазоні $20\text{-}50^\circ\text{C}$.

12.6. Встановлення та перевірка автоматичних переносних газоаналізаторів

При встановлюванні газоаналізатора велике значення має правильний вибір місця відбору проби газу, яка повинна відображати склад усієї маси газу, що рухається в димоході. Для відбору газів застосовують звичайно сталеву газовідбірну трубку із закріпленням на ній пористим керамічним фільтром, який затримує золу і сажу. Трубку розміщують по можливості всередині потоку в місцях, де немає завихрень і застійних зон. Газовідбірну трубку не можна також розміщувати поблизу від місць можливого підсосу повітря» (люків, заслінок, нещільностей обмурівки).

Отвір у стінці димоходу, через який вставлено газовідбірну трубку,

треба добре ущільнити.

Газовідбірну трубку треба встановлювати на відстані від місцевих збурень потоку, які виникають внаслідок різних опорів (поворот димоходу, заслінка, шибер і т. д.). Найкраще встановлювати трубку на прямих вертикальних ділянках димоходу з низхідним потоком, а також у вузьких місцях димоходу, де краще переміщується рухомий газ. При встановленні газовідбірної трубки на горизонтальних ділянках кінець її треба розміщати ближче до верхньої частини перерізу димоходу, де швидкість руху нагрітого газу вища.

Температура газу в місці відбору проби повинна бути в межах 200-600°C. При температурі газу нижче 200°C поверхня керамічного фільтра може забруднитись незгорілими продуктами згоряння (смолами), які конденсуються на ній. При температурі понад 600°C виникає небезпека руйнування газовідбірної трубки і відновлення CO₂ у CO і O₂.

З'єднувальні газопідвідні трубки виготовляють з сталі або червоної міді і прокладають з уклоном не менш як 0,1-0,2 в бік конденсаційної посудини, яку встановлюють у нижній точці установки.

Щоб зменшити запізнювання показів приладу, внутрішній об'єм з'єднувальних ліній бажано мати невеликий, тому газоаналізатор або його датчик треба встановлювати якомога ближче до місця відбору проби газу, а діаметр газопідвідних трубок вибрати в межах 10-15 мм. Температура газу при надходженні в прилад не повинна перевищувати 35°C. Пробу газу часто відбирають за допомогою так званої шунтуючої труби (рис. 3.39), яка дає можливість зменшити запізнювання показів газоаналізатора і розмістити датчик приладу в місці, яке не піддається дії високих температур і зручне для обслуговування. По шунтуючій трубці 2, прокладеній вертикально і підключеній паралельно газоходу 1 в обхід водяного економайзера і повітряного підігрівника котельної установки, рухається потік газів, який відгалужується з газоходу. Шунтуючу трубу виготовляють з тепловою ізоляцією сталеві труби діаметром 70-80 мм; у місці відбору газу вона має розширення (патрубок) 4, яке дає змогу розмістити в ньому звичайну газовідбірну трубку 5 з керамічним фільтром 3, сполучену з датчиком газоаналізатора.

Газоаналізатор встановлюють у місцях, які не зазнають вібрацій і розміщені далеко від поверхонь, які випромінюють тепло. Температура середовища, яке оточує прилад, не повинна виходити за межі 10-35°C. Бажано,

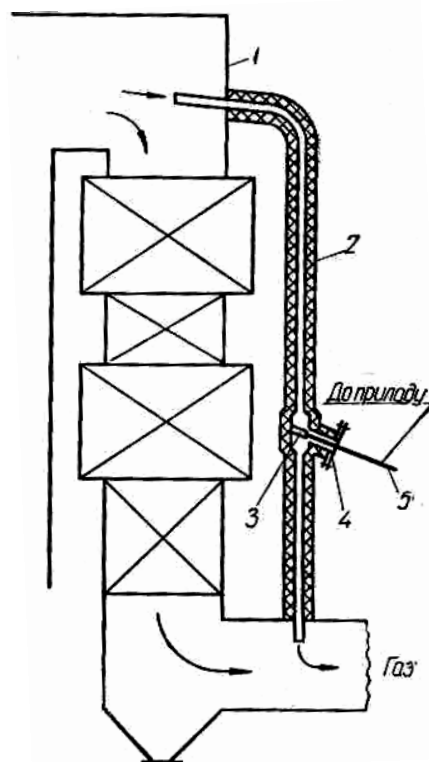


Рис. 3.39. Схема встановлювання шунтуючої труби: 1 – газохід котла; 2 – шунтуюча труба; 3 – керамічний фільтр; 4 – патрубок; 5 – газовідбірна трубка

щоб ця температура відповідала градувальній температурі приладу (20°C). Для нормальної роботи газоаналізатора треба, щоб з'єднувальні трубки і встановлена на них арматура були щільними. Періодично всі газопідвідні з'єднувальні трубки, а також газовідбірну трубку з керамічним фільтром продувають стисненим повітрям під тиском $0,5 \text{ кг/см}^2$.

12.7. Арматура автоматичних газоаналізаторів

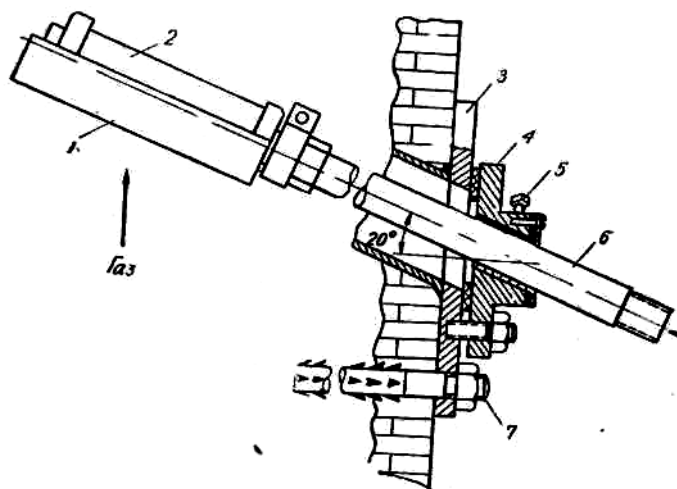


Рис. 3.40. Газовідбірний пристрій:

- 1 – захисний козирок; 2 – керамічний фільтр;
3 – втулка; 4 – фланець; 5 – стопорний гвинт;
6 – газовідбірна трубка; 7 – болт

Для відбору газу призначений пристрій (рис. 3.40), який складається з сталевий газовідбірної трубки 6, затиснутої під кутом $20-25^{\circ}$ (для стоку конденсату) у фланці 4 стопорним гвинтом 5. Фланець з'єднаний з торцевою поверхнею втулки 3, скріпленої з обмурівкою котла болтами 7. На верхньому кінці газовідбірної трубки закріплений керамічний фільтр 2 із захисним козирком 1. При невеликому вмісті в газах механічних домішок (не більш як $0,05 \text{ г/м}^3$) газовідбірну трубку можна

встановлювати без керамічного фільтра. Газ, який має температуру понад 600°C , відбирають газовідбірними трубками з водяним охолодженням.

Первинну очистку відібраного для аналізу газу від механічних домішок при вмісті їх у ньому в межах $0,5-15 \text{ г/м}^3$ здійснюють за допомогою керамічного фільтра (рис. 3.41, а), що складається з вогнетривкої пористої керамічної втулки 2, закріпленої на сталевій трубці 3 з отворами за допомогою кришок 4 і 1, пробки 5 і муфти 7, призначеної для з'єднання фільтра з газовідбірною трубкою. Щоб захистити фільтр від забруднення, на ньому за допомогою хомута закріплюють захисний козирок 6, розміщений назустріч руху газового потоку.

Для контролю за чистотою газу застосовують контрольний фільтр (рис. 3.41, б), заповнений скляною ватою, який установлюють біля газоаналізатора. Допустимий вміст завислих механічних домішок перед цим фільтром не повинен перевищувати $0,05 \text{ г/м}^3$. Фільтр складається з металевого корпусу 3 з штуцерами 1 і 4 для входу і виходу газу і знімної кришки 5 із склом 6. За ступенем забруднення вати 2 у контрольному фільтрі, який видно через прозору кришку, роблять висновок про якість попереднього очищення газу.

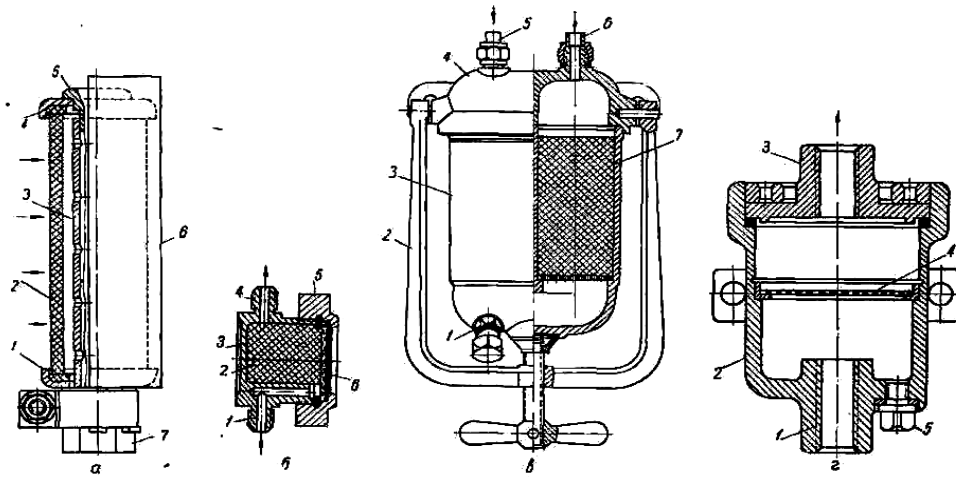


Рис. 3.41. Фільтри для газу і води:

a – керамічний фільтр для газу: 1 і 4 – кришки; 2 – керамічна втулка; 3 – стальна трубка; 5 – пробка; 6 – захисний козирок; 7 – муфта; *б* – контрольний фільтр для газу: 1 і 4 – штуцери для проходження газу; 2 – вага; 3 – корпус; 5 – кришка; 6 – оглядове скло; *в* – сірчистий фільтр для газу: 1 – дренажний штуцер; 2 – скоба; 3 – корпус; 4 – кришка; 5 і 6 – штуцери для проходження газу; 7 – стальна стружка; *г* – сітчастий фільтр для очищення води: 1 і 3 – штуцери для проходження води; 2 – корпус; 4 – металева сітка; 5 – пробка

Для очищення димових газів від SO_2 застосовують сірчистий фільтр (рис. 3.41, в), що складається з двокамерного корпуса 3, кришки 4, вхідного і вихідного штуцерів 5 і 6, дренажного штуцера 1 і скоби 2 для кріплення кришки до корпуса. Обидві циліндричні камери фільтра заповнені знежиреною стальною стружкою 7, змоченою водою. Сірчистий фільтр установлюють безпосередньо біля місця відбору проби газу – у нижній точці газопідвідної лінії і використовують одночасно як конденсаційну посудину.

Воду, яка надходить для привода автоматичних газоаналізаторів, від механічних домішок очищають сітчастим фільтром (рис. 3.41, г). У циліндричному корпусі 2, що має вхідний і вихідний штуцери 3 і 1, закріплена металева сітка 4. Фільтр промивають крізь отвір, закритий пробкою 5.

Для просмоктування димових газів через газоаналізатор призначений водоструминний ежектор (рис. 3.42). Прилад складається з корпуса 2, всередині якого є сопло. Вода входить в ежектор через штуцер 3 і виходить через штуцер 1, а газ надходить через штуцер 4. До нижньої частини корпуса ежектора приєднаний чашковий водяний тягомір 6. Бенталем 5 газу лінію відключають від камери всмоктування ежектора. Максимальне розрідження яке створює ежектор, дорівнює 200 мм вод. ст. Нормальна робота приладу забезпечується при тиску води $0,5-3 \text{ кг/см}^2$ і витрати її 30 л/год.

Набірний бак з водою для живлення ежектора вибирають місткістю не менш як 30 л і встановлюють на висоті 6-8 м над газоаналізатором. Для підтримання сталого рівня води бак має переливну трубку або простий регулятор рівня. Температура води, яка надходить в ежектор, повинна бути нижча від температури навколишнього середовища не менш як на 5°C .

Охолодження газу і конденсація наявної в ньому водяної пари (висушування газу) відбувається в одноканальному поверхневому холодильнику. На рис. 3.43 подано холодильник, який має дві концентрично розміщені трубки 4 і 5. Трубка 5 призначена для проходження газу, а кільцевий

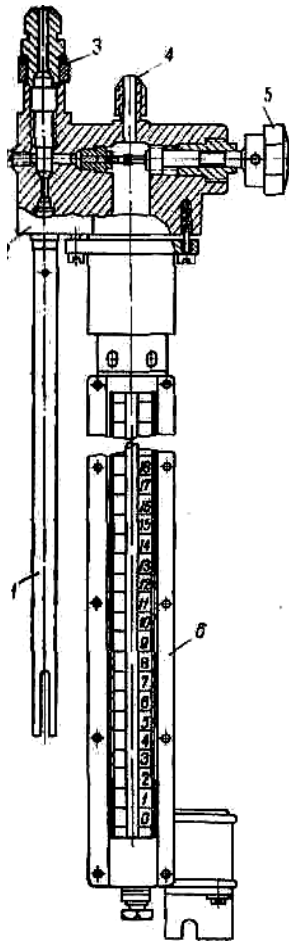


Рис. 3.42. Водоструминний ежектор: 1 – штуцер для виходу води і газу; 2 – корпус; 3 – штуцер для входу води; 4 – штуцер для входу газу; 5 – вентиль; 6 – однотрубний водяний тягомір

для проходження охолодної води, яка надходить у холодильник через штуцер 1, а виходить з нього через штуцер 3.

Дренування конденсату, що утворюється в холодильнику і газопідвідних трубках, і відведення води, яка надходить з водоструминного ежектора, а також створення гідравлічного затвору для газового тракту приладу здійснюються за допомогою конденсаційної посудини (рис. 3.44), що являє собою циліндричний бачок 3 із вставленою в нього переливною трубкою 2. Штуцер 1 призначений для приєднання посудини до відповідної дренажної лінії.

Завдання

1. Як поділяються газоаналізатори за принципом дії і охарактеризувати кожен з них прикладом.
2. Принцип дії, будова та призначення приладів для вимірювання числа обертів.
3. Будова, принцип дії та призначення показників осьового зсуву ротора турбіни.
4. Будова, принцип дії та призначення приладів для вимірювання вологості атмосферного повітря.
5. Будова, принцип дії та призначення приладів для вимірювання густини диму.

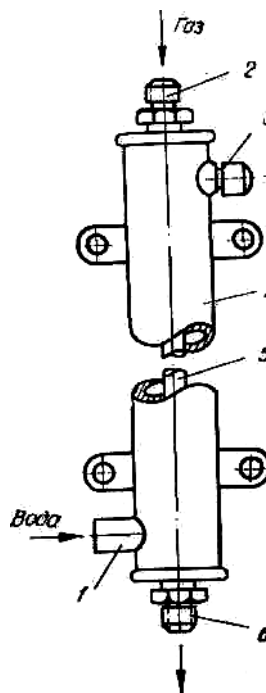


Рис. 3.43. Холодильник для газу: 1 і 3 – штуцери для проходження води; 2 і 6 – штуцери для проходження газу; 4 і 5 – трубки

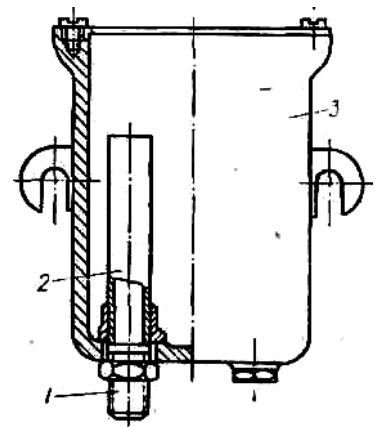


Рис. 3.44. Конденсаційна посудина:
1 – штуцер; 2 – переливна трубка; 3 – посудина

Тема 13. Визначення якості води і пари

13.1. Методи визначення якості води і пари

Насичена пара, яку виробляють парові котли, завжди містить деяку кількість вологи. Збільшення вологості пари погіршує її якість, бо разом з водою виносяться наявні в ній солі. Відкладання цих солей на окремих ділянках парового тракту спричинює розтоплення труб перегрівників, заїдання клапанів турбін, зниження потужності й економічності роботи турбоагрегату внаслідок заносу лопатей турбін і т. д.

На роботу теплосилової установки дуже впливає також якість живильної води, яка характеризується вмістом розчинених у ній солей і кисню, що утворюють в котлоагрегаті накип і корозію.

Отже, щоб забезпечити надійну й ефективну роботу силового устаткування, треба безперервно контролювати якість пари, конденсату і живильної води. В експлуатації для цього застосовують ряд постійно діючих вимірювальних приладів, а саме: для визначення солемісту конденсату пари, котлової і живильної води – солеміри і для визначення вмісту кисню в живильній воді – киснеміри. Вологість пари вимірюють паровими калориметрами.

Визначення солемісту відібраної проби конденсату пари або води в хімічній лабораторії за допомогою вагового методу, який полягає у випарюванні 3-5 л води з метою дістати сухі рештки, не може бути безперервним експлуатаційним контролем, бо воно забирає дуже багато часу (тривалість аналізу 1,5-2 доби). Трудомістким є й визначення лабораторним способом вмісту розчиненого у воді кисню.

Точність визначення вологовмісту і солемісту насиченої пари, яка надходить з котла в перегрівник, великою мірою залежить від методу відбору середньої проби, яка повинна повніше характеризувати якість пари, що проходить по трубопроводу.

Насичена пара, яка проходить по паропроводу, має нерівномірний розподіл швидкостей і вологості по перерізу труби. Тому паровідбірний пристрій повинен здійснювати відбір проби по всьому діаметру паропроводу.

Для відбору проб пари застосовують, паровідбірні трубки (зонди) з рядом розміщених по твірній отворів, які встановлюють горизонтально на

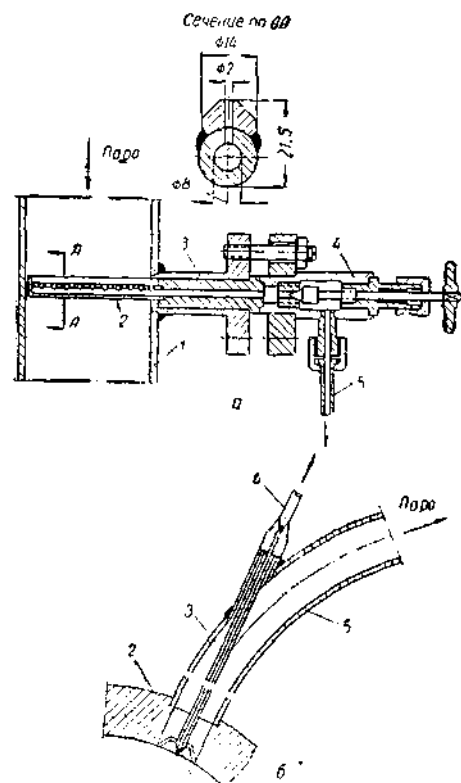


Рис. 3.45. Паровідбірні пристрої:
а – зі щільною трубкою;

1 – паропровід; 2 – паровідбірна трубка; 3 – втулка; 4 – голчастий вентиль; 5 – з'єднувальна трубка;

б – з торцевою трубкою:
1 – наконечник; 2 – барабан котла;
3 – паровідбірна трубка;
4 – з'єднувальна трубка;
5 – паропровід

прямих вертикальних дільницях паропроводу з низхідним потоком пари. Як виняток допускається встановлювати паровідбірну трубку на вертикальних дільницях з висхідним потоком пари.

На правильність відбору середньої проби пари впливає не тільки спосіб установлювання паровідбірної трубки, а й її будова і розміри паропроводу. Для відбору проби насиченої пари з трубопроводів великого діаметра застосовують паровідбірний пристрій (рис. 3.45, а), що складається зі щілинної трубки 2 і голчастого вентиля 4, закріплених у втулці 3, яка приварена до стінки паропроводу 1. Проба пари надходить до приладу по трубці 5. Конструктивно щілинну трубку виготовляють з сталюї товстостінної трубки з глухим кінцем, що має внутрішній діаметр 8 мм. По довжині її приварюють два паралельні ребра заввишки 7,5 мм кожне (див. розріз А-А), які утворюють щілину завширшки 2 мм. Трубка з щілиною сполучається за допомогою десяти пароприймальних отворів, розміщених на рівних відстанях один від одного.

Щоб запобігти нерівномірному розподілу кількості відбираної пари між окремими пароприймальними отворами трубки, сумарний переріз їх беруть близько 50% площі її живого перерізу. Перевагою щілинної трубки є її чутливість до кидків вологи в паропроводі, тому її широко використовують для постійного експлуатаційного контролю якості пари.

Для паропроводів невеликого діаметра щілинну трубку заміняють торцевою (рис. 3.45, б), яка призначена для відбору проби насиченої пари безпосередньо з барабана котла в місці входу пари в трубопровід. Тут паровідбірна трубка 3, що має наконечник 1, кріпиться в паропроводі 5, сполученому з барабаном котла 2. Проба пари відводиться по трубці 4.

Відбір проби живильної води і конденсату здійснюється без спеціальної відбірної трубки, тобто безпосередньо через штуцер у стінці труби або резервуара.

13.2. Солеміри

Солевміст у конденсаті пари і живильній воді визначають за допомогою вимірювання електропровідності випробовуваної води.

Електропровідністю називається величина, обернена до електричного опору провідника; її вимірюють в ом^{-1} . Відповідно до цього питома електропровідність χ ($\text{ом}^{-1}\text{-см}^{-1}$), яка дорівнює електропровідності електроліту завдовжки 1 см з площею перерізу 1 см^2 , є величина, обернена до питомого опору ρ ($\text{ом}\text{-см}$), тобто

$$\chi = \frac{1}{\rho}. \quad (3.20)$$

Тоді згідно з рівнянням (3.20) електропровідність розчину можна подати залежністю

$$\frac{1}{R} = \frac{\chi \cdot f}{l}, \quad (3.21)$$

де R – електричний опір електроліту, ом ;

l – довжина електроліту, см ;

f – площа перерізу електроліту, см^2 .

Питома електропровідність електроліту залежить від хімічної природи

розчиненої речовини, ступеня її концентрації в розчині і температури розчину.

Залежність питомої електропровідності від концентрації солей у розчині визначається формулою

$$\chi = \frac{\lambda \cdot c}{\delta}, \quad (3.22)$$

де λ – еквівалентна електропровідність, $\text{ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$, віднесена до еквівалентної концентрації розчину, вимірюної в грам-еквівалентах речовини в 1 мл;

c – концентрація розчину, мг/л;

δ – еквівалентна вага розчиненої речовини. Зміна величини c в невеликих межах при сталій температурі електроліту спричинює дуже невелику зміну λ , тому, як випливає з рівняння (3.22), між величинами χ і c існує практично лінійна залежність.

Питома електропровідність електроліту в значній мірі залежить від його температури, причому на відміну від металевих провідників електропровідність розчинів з підвищенням температури збільшується.

Для розчинів з невисокою концентрацією питома електропровідність змінюється із зміною температури згідно з таким виразом:

$$\chi_t = \chi_{t_0} \cdot [1 + a(t - t_0) + b(t - t_0)^2], \quad (3.23)$$

де χ_t і χ_{t_0} – питомі електропровідності при температурах t і t_0 $\text{ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$;

a і b – температурні коефіцієнти. Оскільки за рівнянням (3.21)

$$\frac{R_t}{R_{t_0}} = \frac{\chi_{t_0}}{\chi_t}, \quad (3.24)$$

то зміну опору електроліту залежно від температури можна визначити за формулою

$$R_t = \frac{R_{t_0}}{1 + a(t - t_0) + b(t - t_0)^2}, \quad (3.25)$$

де R_t і R_{t_0} — опори електроліту при температурах t і t_0 , ом.

Таблиця 3.2

Концентрація розчину, мг/л	5	10	15	20	25
Питома електропровідність $\% \cdot 10^{-6}$, $\text{Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$	10,0	10,6	28,4	38,0	46,6

Електропровідність конденсату пари і живильної води з розчиненими в них солями різного складу в середньому відповідає електропровідності водяного розчину хлористого натрію (NaCl). Внаслідок цього шкали солемірів градуують звичайно в мг/кг NaCl.

Для розчину NaCl температурні коефіцієнти a і b відповідно дорівнюють $225 \cdot 10^{-4}$ і $8,5 \cdot 10^{-4}$ тому на підставі рівняння (3.23) підвищення температури розчину на 1°C збільшує його електропровідність приблизно на 2%, тобто набагато. Внаслідок цього електропровідність рідини в солемірах треба вимірювати або при сталій температурі розчину, або застосовуючи спеціальну температурну компенсацію. У противному разі треба вимірювати температуру електроліту і вводити до показів приладу поправки за допомогою таблиць або графіків.

Якщо в електроліті, крім солей, є кислоти і луки, то результати вимірювань можуть дуже спотворитись у бік завищення солемісту. Значні спотворення вносять також аміак і двоокис вуглецю. які звичайно є в парі.

Щоб уникнути поляризації електродів, електропровідність електроліту вимірюють звичайно на змінному струмі.

На рис. 3.46 подано принципіальну схему солеміра типу РС-25 (автор А. А. Мостофін), виготовлену у вигляді не зрівноваженого вимірювального

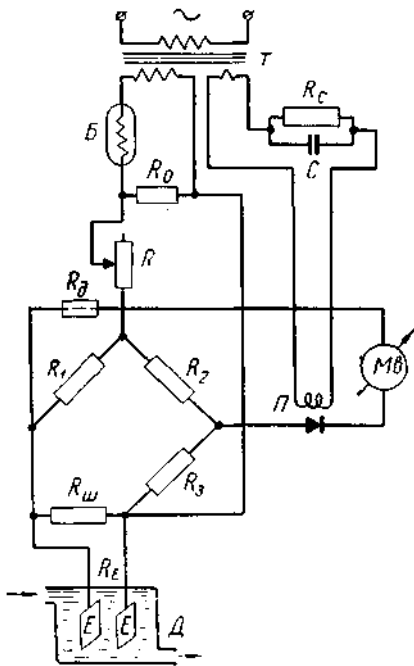


Рис. 3.46. Принципова схема солеміра типу РС-25

моста, яким живиться змінним струмом. Прилад складається з датчика з автоматичною підтримкою сталості температури електроліту, джерела постійної напруги і самопишучого мілівольтметра на три точки вимірювання (для трьох датчиків) з випрямним пристроєм.

Випробовуваний конденсат безперервно проходить через електролітну посудину D датчика. У цій посудині на невеликій відстані один від одного розміщені два електроди E , паралельно яким увімкнений опір $R_{ш}$ з манганіну.

Опір електроліту R_e , який змінюється залежно від кількості розчинених у воді солей, увімкнений в одне з плечей вимірювального моста. Опори R_1 , R_2 і R_3 з манганіну утворюють трое інших плечей моста, в одну діагональ якого подана напруга від живильного пристрою типу ПУ-28, що складається із знижувального трансформатора T , баретера B *, сталих опорів R_0 і R_c і конденсатора C , а в другу увімкнений самопишучий мілівольтметр мВ типу МСЦПр-354 з механічним випрямлячем Π . Струм у колі моста регулюють реостатом R .

Живильний пристрій вмикають у сітку змінного струму 127 або 220 В; він дає вторинні напруги 2 В для живлення моста і 3,5 в для обмотки механічного (вібраційного) випрямляча. Наявність у живильному пристрої баретера забезпечує сталість напруги на вершинах моста при коливаннях напруги в сітці $\pm 10\%$ нормальної величини. Потужність, яку споживає живильний пристрій, дорівнює 20 Вт.

Прилад призначений для вимірювання солевмісту насиченої або перегрітої пари тиском до 100 кг/см². Шкала солеміра нерівномірна (логарифмічна), з межами 0-4 мг/кг.

Для підгонки опорів з'єднувальних проводів між датчиками і мілівольтметром до

моста, яким живиться змінним струмом. Прилад складається з датчика з автоматичною підтримкою сталості температури електроліту, джерела постійної напруги і самопишучого мілівольтметра на три точки вимірювання (для трьох датчиків) з випрямним пристроєм.

Випробовуваний конденсат безперервно проходить через електролітну посудину D датчика. У цій посудині на невеликій відстані один від одного розміщені два електроди E , паралельно яким увімкнений опір $R_{ш}$ з манганіну.

Опір електроліту R_e , який змінюється залежно від кількості розчинених у воді солей, увімкнений в одне з плечей вимірювального моста. Опори R_1 , R_2 і R_3 з манганіну утворюють трое інших плечей моста, в одну

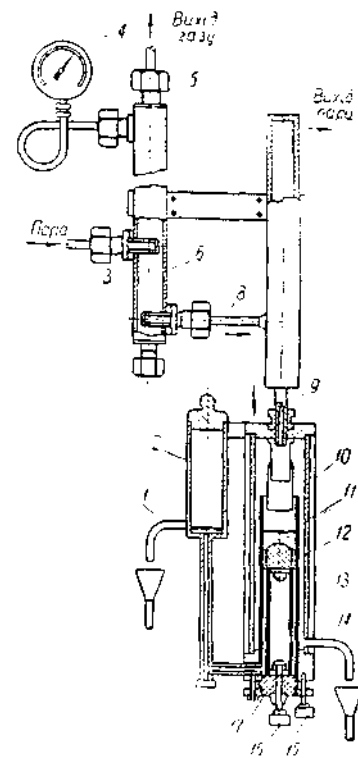


Рис. 3.47. Датчик солеміра типу РС-25 з холодильником і розширником:

- 1 і 14 – дренажні трубки;
- 2 – зливний бачок; 3 – вхідний штуцер; 4 – манометр; 5 – дренажний штуцер;
- 6 – дегазаційний холодильник;
- 7 – розширник; 8 – трубка; 9 – штуцер; 10 – корпус датчика;
- 11 і 13 – електроди; 12 і 17 – ізолятори; 15 і 16 затискачі

величини 5 Ом і періодичного контролю напруги, яка живить міст, у схему солеміра ввімкнені зрівняльний і контрольний опори і перемикач (на рис. 3.46 не показані). При встановленні перемикача в положення контролю стрілка вторинного приладу повинна встановитись на поверхні шкали 3 мГ/кГ, позначеній червоною рисою.

Конструкцію датчика солеміра РС-25, з'єднаного з дегазаційним холодильником і розширником, подано на рис. 3.47. Відібрана з паропроводу проба насиченої пари через штуцер 3 надходить у дегазаційний холодильник 6. Тут пара частково конденсується і виділяє наявний у ній аміак, оскільки при однакових параметрах (тиску і температурі) вміст аміака в конденсаті менший, ніж у парі. Аміак, який виділяється, виходить через штуцер 5. Тиск пари в холодильнику контролюють манометром 4.

З холодильника суміш пари й конденсату надходить по трубці 8 у сполучений угорі з атмосферою розширник 7, з якого вона через штуцер 9 надходить під атмосферним тиском у корпус датчика 10. Усередині датчика конденсат заповнює кільцевий простір між циліндричними електродами 11 і 13, розміщеними концентрично відносно один одного за допомогою карболітових ізоляторів 12 і 17, а пара, яка відділилась від суміші, утворює парову сорочку, надходячи в кільцевий простір між зовнішнім електродом 11 і стінками корпуса датчика.

Наявність у датчику парової сорочки забезпечує сталу температуру конденсату, яка дорівнює 100°C, що виключає вплив температури на електропровідність конденсату.

Конденсат і пара з датчика виходять відповідно через зливний бачок 2 і дренажні трубки 1 і 14. Затискачі 15 і 16 призначені для підключення електродів до вимірювального моста.

Витрата конденсату через датчик повинна становити для тиску пари 30 і 100 кГ/см² відповідно не більш як 10 і 20 кг/год. Мінімальна витрата конденсату 6 кг/год.

Шкалу приладу градуують за допомогою магазину опорів згідно з залежністю опору електроліту в датчику від солемісту.

Для сполучення дегазаційного холодильника з паровідбірною трубкою застосовують сталеву підвідну трубку внутрішнім діаметром 10 мм, прокладаючи її з уклоном не менш як 0,1 в бік холодильника солеміра. Довжина підвідної трубки не повинна перевищувати 8-10 м.

Тепер випускають солеміри типу РЗС-106, в яких на відміну від солемірів типу РС-25 як вторинний прилад застосовується електронний самопишучий зрівноважений міст типу ЕМП-62 на три або шість точок вимірювання.

13.3. Киснеміри

Ступінь розчинності будь-якого газу у воді залежить від парціального тиску цього газу в газовому середовищі над водою незалежно від наявності в цьому

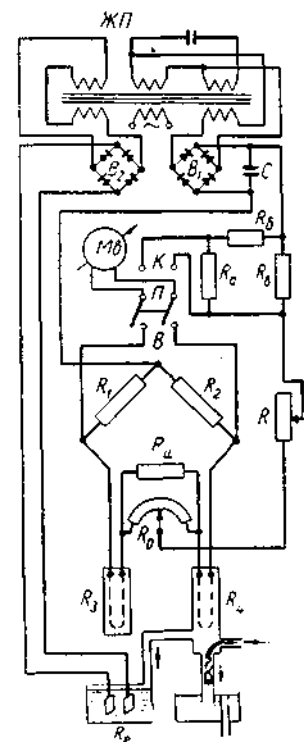


Рис. 3.48. Принципова схема киснеміра типу РК-20

середовищі інших газів. Отже, якщо над поверхнею води, яка містить розчинений кисень, перебуватиме вільна від нього газова атмосфера, то кисень виділятиметься з води доти, поки не настане стан рівноваги між концентраціями O_2 в газовому середовищі і воді. Звідси чим більше O_2 міститиметься у воді, тим більша його кількість виділиться в навколишнє газове середовище. Навпаки, при зменшенні концентрації O_2 у воді частина його, яка раніше виділилась, знову поглинатиметься водою, поки не настане новий стан рівноваги.

На цьому принципі ґрунтується дія киснеміра для визначення концентрації O_2 в конденсаті і живильній воді. У цьому приладі розчинений у протікаючій воді кисень виділяється в атмосферу водню, що є над нею, в якій вміст його вимірюють електричним способом. До комплексу киснеміра входять: датчик, холодильник, живильний пристрій і мілівольтметр.

На рис. 3.48 подано принципіальну схему киснеміра типу РК-20. Прилад складений за схемою незрівноваженого вимірювального моста, за принципом роботи і будовою схожий на електричний газоаналізатор. Сталі плечі моста R_1 і R_2 виготовлені з манганіну, а активні плечі R_3 і R_4 , розміщені в особливих камерах,— з двох однакових платинових дротинок діаметром 0,02 мм. У вершині моста міститься реостат установа нуля R_0 зашунтований опором $R_{ш}$. В одну діагональ моста подана напруга від живильного пристрою ЖП, а в другу за допомогою перемикача П, який установають у положення В, увімкнений самопишучий мілівольтметр Мв типу МСЦПр-154 з шкалою, проградуєваною в межах 0-0,7 мг/л O_2 .

Живильний пристрій типу ПУ-23, який з'єднують із сіткою змінного струму напругою 220 В, складається із знижувального трансформатора з двома вторинними обмотками. Одна обмотка з електромагнітним стабілізатором напруги призначена для живлення вимірювального моста напругою 18 В через селеновий двопівперіодний випрямляч V_1 . У це саме коло ввімкнений електролітичний конденсатор С для згладжування пульсацій напруги у вимірювальному контурі. Друга обмотка трансформатора напругою 10 в призначена для живлення електролізера Re через другий селеновий випрямляч R_2 . Потужність, яку споживає живильний пристрій, дорівнює 35 Вт. Опір R_3 який є порівняльним, міститься в закритій скляній камері, наповненій чистим воднем, а робочий опір R_4 — у проточній скляній камері. Поряд з камерами розміщений електролізер Re з двома електродами. Водень з електролізера, заповненого 17%-ним водним розчином їдкого калі (KOH), безперервно надходить у проточну камеру з опором R_4 . Водночас у цю саму камеру з холодильника надходить випробовувана вода, яка, стікаючи і стикаючись з атмосферою водню, виділяє частину розчиненого в ній O_2 і виходить зі приладу назовні через гідравлічний затвор.

Отже, при роботі приладу платинові плечі моста R_3 і R_4 містяться: перше — в атмосфері H_2 , а друге — в газовому середовищі, яке складається з суміші H_2 і O_2 . Якщо вода, яка проходить через киснемір, не має O_2 , то плече моста R_4 , так само як і плече R_3 , оточене атмосферою H_2 . внаслідок чого температури, а отже, і опори обох платинових дротинок, які нагріваються струмом, що проходить по них, однакові. У цьому випадку міст перебуватиме в стані рівноваги, а стрілка мілівольтметра — на нульовій позначці шкали.

З появою у воді розчиненого O_2 частина його, яка виділилась у

середовище H_2 , що міститься в проточній камері, збільшить температуру плеча R_4 внаслідок погіршення умов теплопередачі до стінок камери, оскільки теплопровідність O_2 у 7 раз менша від теплопровідності H_2 . При цьому опір R_4 порівняно з опором R_3 збільшиться, що порушить рівновагу моста і спричинить відхилення стрілки мілівольтметра. Порушення рівноваги моста буде тим більше, чим вища температура плеча R_4 , тобто чим більша концентрація O_2 у випробовуваній воді.

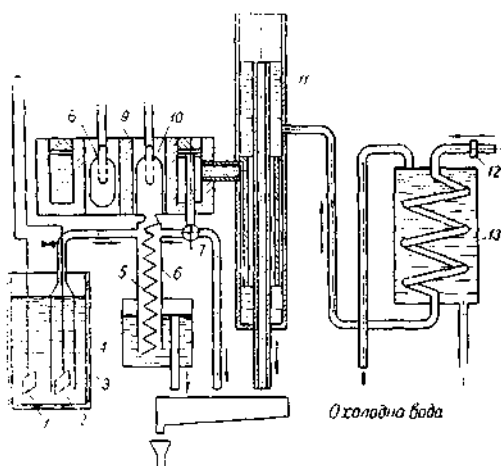


Рис. 3.49. Датчик киснеміра типу РК-20 з холодильником:

- 1 і 2 – електроди; 3 – електролізер;
- 4 – гідравлічний затвор; 5 – нікельова спіраль; 6 – контактна трубка;
- 7 – триходовий кран; 8 і 10 – платинові опори; 9 – блок; 11 стабілізатор напору;
- 12 – дросель; 13 – холодильник

Для контролю і регулювання напруги, яка живить міст, мілівольтметр Мв за допомогою перемикача П, який встановлюють у положення К, підключають до контрольних опорів R_a , R_b і R_6 , що є шунтом при вимірюванні величини струму в колі живлення. Струм регулюють при цьому реостатом R по контрольній позначці на шкалі мілівольтметра. Будову датчика киснеміра типу РК-20 подано на рис. 3.49. Живильна вода або конденсат, пройшовши спочатку через дросель 12 і поверхневий змійовиковий холодильник 13, надходить у пристрій для підтримання сталості напору 11, виготовлений у вигляді трьох концентрично розміщених трубок. Цей пристрій забезпечує потрібну величину витрати випробовуваної води, яка

дорівнює 30 л/год. Надлишок води зливають у дренаж по внутрішній трубці. Температура води при вході в прилад не повинна перевищувати 25-30°C.

Пройшовши напірний пристрій, вода надходить у сорочку, яка оточує металевий блок 9 із скляними вимірювальними камерами, усередині яких розміщені платинові опори 8 і 10.

З сорочки вода, пройшовши через триходовий кран 7, надходить у контактну трубку 6, з якої вона після виділення в ній O_2 зливається через гідравлічний затвор 4 в дренаж. У середині контактної трубки розміщена спіраль 5 з нікельового дроту, яка забезпечує краще стикання проточної води з газовим середовищем. У верхній частині контактна трубка сполучена з вимірювальною камерою платинового опору 10, в яку надходить газова суміш, що складається з H_2 і виділеного з води O_2 . Склад газової суміш в цій камері впливає на умови теплообміну між платиновим опором 10, який нагрівається струмом, що проходить по ньому, і стін камери.

Потрібний для роботи приладу водень безперервно виділяється в електролізері 3 з електродами 1 і 2 і надходить у контакти) трубку і камеру опору. Нуль приладу перевіряють за допомогою крана 7, який закриває доступ води в контактну трубку 6.

Наявність у досліджуваній воді азоту впливає на роботу киснеміра так само, як наявність O_2 , оскільки теплопровідності N_2 і O_2 майже однакові. Тому середню кількість N_2 , яка міститься звичайно в дегазованій воді, враховують

при градуванні приладів.

Датчик і холодильник з'єднують мідною трубкою з внутрішнім діаметром 8 мм і завдовжки 350 мм. Опір з'єднувальних проводів між датчиком і вторинним приладом дорівнює 5 ом. Температура навколишнього середовища в місці встановлення приладу не повинна перевищувати 35°C.

13.4. Парові калориметри

Для визначення вологості пари застосовують дросельний паровий калориметр (рис. 3.50), який являє собою сталеву циліндричну посудину 1 діаметром 50-75 мм і заввишки 150 мм, що має сопло 2, розміщене з боку паровідбірної трубки (на схемі не показана).

У кришці посудини закріплені дві захисні гільзи 4, одна з яких призначена для встановлення термометра опору, призначеного для постійного вимірювання температури пари всередині калориметра, а друга – для встановлювання ртутного термометра при контрольних вимірюваннях. Штуцер 3 призначений для приєднання манометра, а штуцер 5 для випускання проби пари, яка пройшла через прилад.

Щоб зменшити похибку вимірювань внаслідок теплових втрат у навколишнє середовище, калориметр з'єднують безпосередньо з паровідбірним пристроєм. Усю установку накривають тепловою ізоляцією.

Вимірювання вологості за допомогою дросельного калориметра ґрунтується на тому, що взята з трубопроводу проба пари при проходженні через сопло дроселюється, зберігаючи сталю (внаслідок незначних теплових втрат) свою початкову ентальпію. Внаслідок дроселювання тиск пари швидко знижується. Це спричинює випаровування води, яка є в парі, і перегрівання останньої, оскільки ентальпія сухої насиченої пари тим менша, чим нижчий її тиск.

При визначенні вологості пари дросельним калориметром вимірюють: тиск пари p_1 у місці відбору проби (у паропроводі), тиск p_2 і температуру перегріву t_2 в калориметрі.

Позначимо ентальпію випробовуваної пари в паропроводі через i_1 і ентальпію цієї самої пари в калориметрі через i_2 . За умовою дроселювання потоку при відсутності теплових втрат маємо

$$i_1 = i_2, \quad (3.25)$$

Величини i_1 і i_2 визначаються формулами;

$$i_1 = i_1' - (1 - \chi) \cdot r_1, \quad (3.26)$$

і

$$i_2 = i_2' + c_{cp} (t_2 - t_2'), \quad (3.27)$$

де i_1' і i_2' – ентальпії сухої насиченої пари при тисках p_1 і p_2 , ккал/кГ;

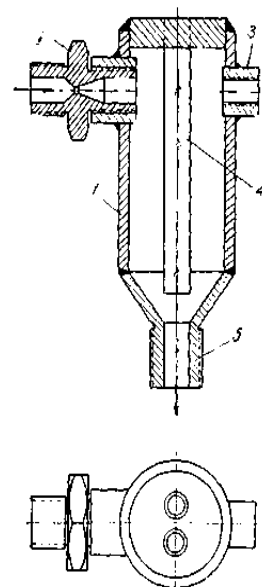


Рис. 3.50. Дросельний паровий калориметр: 1 – посудина; 2 – сопло; 3 – штуцер для приєднання манометра; 4 – захисна гільза; 5 – штуцер для випускання пари

χ – ступінь сухості пари;
 r_1 – теплота пароутворення при тиску пари p_1 , ккал/кг;
 t_2 – температура перегрітої пари в калориметрі, °С;
 t_2' – температура сухої насиченої пари при тиску p_2 , °С;
 c_{cp} – середня теплоємність перегрітої пари в межах температур від t_2 до t_2' при тиску p_2 ккал/кг °С.

Підставляючи значення i_1 і i_2 з рівнянь (3.26) і (3.27) у рівняння (3.25), дістанемо

$$i_1' - (1 - \chi) \cdot r_1 = i_2' + c_{cp} (t_2 - t_2'),$$

звідки вологість пари W_n у процентах,

$$W_n = (1 - \chi) \cdot 100 \frac{i_1' - [i_2' + c_{cp} (t_2 - t_2')]}{r_1} \cdot 100. \quad (3.28)$$

Величини i_1' , i_2' , t_2' , c_{cp} і r_1 у правій частині цього рівняння визначають залежно від значень p_1 , p_2 і t_2 з таблиць для водяної пари.

Орієнтовний вологовміст пари можна знайти за i -s-діаграмою. Для цього за вимірними p_2 і t_2 визначають ентальпію випробовуваної пари i , проводячи від цієї точки горизонтальну лінію до перетину з ізобарою p_1 , знаходять ступінь сухості пари χ . Тиск пари в калориметрі не повинен перевищувати 3-3,5 атм, чого досягають, підбираючи гідравлічний опір скидної лінії приладу. Похибка вимірювань за допомогою дросельного калориметра становить близько $\pm 0,1\%$ вологості пари. Верхня межа вимірювання вологості пари за допомогою цього приладу дорівнює 5-6%.

Тема 14. Вимірювання рівня рідини

14.1. Рівнеміри для парових котлів

У сучасних потужних барабанних парових котлах є дуже невеликий водяний запас (кількість води в просторі між граничними положеннями рівня в барабані), внаслідок чого після припинення живлення котла водою рівень у ньому може знизитись за нижню граничну позначку через 1-2 хв. Звідси видно, яке велике значення має контроль рівня води в барабані. Звичайно на парових котлах для спостереження за рівнем води в барабані встановлюють вказівні стекла, які є частиною їх арматури. Оскільки сучасні котли мають значну висоту, їх додатково оснащують рівнемірами, які встановлюють у пунктах корування роботою агрегатів.

За принципом дії рівнеміри поділяються на механічні і гідравлічні.

14.1.1. Механічні рівнеміри

До механічних рівнемірів належать переважно покажчики поплавкового типу. Зображено будову поплавкового покажчика рівня води в парових котлах. Прилад має сталю циліндричну посудину $б$, сполучену за допомогою труб 4 і 5 з паровим і водним просторами барабана котла. До днища посудини підключена вертикальна труба 9 , на її нижньому кінці, опущеному до площадки

чергового персоналу, закріплений показчик 2, що складається з двох розміщених один проти одного плоских стекел у металевій оправі.

У посудині 6 міститься порожнистий поплавець 7, який частково заповнений водою для зрівноважування зовнішнього тиску. За допомогою сталюго троса 8 до поплавця підвішений стержень 3, нижній кінець якого перебуває в просторі між стеклами показчика. За положенням кінця цього стержня роблять висновок про висоту рівня води в барабані. Для кращої видимості за показчиком іноді розміщують електричну лампу з рефлектором, яка освітлює нижню частину скла. Вентиль 1 призначений для продування приладу.

Також зображено поплавковий рівнемір з дистанційним передаванням показів. У цьому пристрої поплавець 2, що міститься в посудині 1, яка сполучена з котлом, приєднаний до троса 3, перекинутого через блок 5. На другому кінці троса закріплені противага 6 і плунжер 4 з м'якої сталі. Останній приводиться в рух від поплавця і переміщається всередині трубки 7 з немагнітної сталі з надітою на неї зовні індуктивною котушкою 8.

При переміщенні плунжера всередині котушки змінюється її індуктивний опір, а отже, і струм, який проходить по ній, вимірюється електровимірвальним приладом, за показом якого роблять висновок про висоту рівня води в котлі.

14.1.2. Гідравлічні рівнеміри

У теплових установках найширше застосовуються гідравлічні рівнеміри, дія яких ґрунтується на принципі вимірювання різниці тисків двох водяних стовпів. Принципіальну схему такого приладу для вимірювання рівня води в барабані котла подано на рис. 3.51. До барабана котла на позначках вищого і нижчого рівнів води за допомогою з'єднувальних трубок 2 і 4 підключений однотрубний рідинний диференціальний манометр, який складається з посудини 1 і скляної вимірвальної трубки 5. У верхній частині трубки 4 розміщена зрівняльна посудина 3, призначена для підтримування сталого рівня води за допомогою конденсації пари. Прилад заповнюють робочою рідиною з питомою вагою більшою від 1 кГ/см^3 .

Припустимо, що вода в барабані досягла найвищого рівня. Тоді внаслідок різниці питомої ваги в котлі і з'єднувальних трубках 2 і 4 (зумовленої різними температурами води) робоча рідина у вимірвальній трубці 5 опуститься на величину Δh , бо вага стовпа води, яка передається приладу з правого боку, буде більша, ніж з лівого.

У стані рівноваги для перерізу ab можна написати таке рівняння

$$H\gamma_k + H_0\gamma_B + \Delta h\gamma_p = (H + H_0 + \Delta h)\gamma_B, \quad (3.29)$$

де H – різниця граничних рівнів води в барабані котла;

H_0 – висота стовпа води від рівня робочої рідини в посудині диференціального манометра до нижчого рівня води в барабані;

γ_k і γ_B – питома вага води в котлі і з'єднувальних трубках;

γ_p – питома вага робочої рідини в приладі. Розв'язуючи рівняння (3.29) відносно Δh , дістанемо

$$\Delta h = H \frac{\gamma_K - \gamma_B}{\gamma_P - \gamma_B}. \quad (3.30)$$

При опусканні рівня води в барабані котла на величину h робоча рідина у вимірювальному склі знизиться на величину h_1 , а в посудині приладу підвищиться на величину h_2 . У цьому випадку рівняння рівноваги для перерізу cd набере вигляду

$$h\gamma_{II} + (H-h)\gamma_K + (H_0-h_2)\gamma_B + (h_2 + \Delta h + h_1)\gamma_P = (H + H_0 + \Delta h + h_1)\gamma_B, \quad (3.31)$$

де γ_{II} – питома вага пари в котлі.

Замінюючи в рівнянні (3.31) величину Δh згідно з рівнянням (3.30) і враховуючи, що $h_2 = h_1 f/F$ (де f і F – площі перерізів вимірювальної трубки і посудини), дістанемо, розв'язуючи рівняння (3.31) відносно γ_P ,

$$\gamma_P = \frac{h_1 \cdot \left(1 + \frac{f}{F}\right) \cdot \gamma_B + h(\gamma_K - \gamma_{II})}{h_1 \left(1 + \frac{f}{F}\right)}. \quad (3.32)$$

Щоб зміна рівня робочої рідини у вимірювальній трубці показчика дорівнювала за величиною дійсній зміні рівня води в барабані котла, що значно полегшує спостереження, треба мати робочу рідину з певним значенням γ_P або підібрати відповідне значення відношення f/F . Потрібні в цьому випадку величини γ_P або f/F можна знайти з рівняння (3.32), підставивши в нього замість h_1 величину h , тобто

$$\gamma_P = \frac{\left(1 + \frac{f}{F}\right) \cdot \gamma_B + \gamma_K - \gamma_{II}}{1 + \frac{f}{F}}, \quad (3.33)$$

$$\frac{f}{F} = \frac{\gamma_K - \gamma_{II}}{\gamma_P - \gamma_B} - 1, \quad (3.34)$$

Як гідравлічні показчики рівня води в барабанах парових котлів застосовують рідинні скляні, поплавкові, мембранні та інші типи диференціальних манометрів.

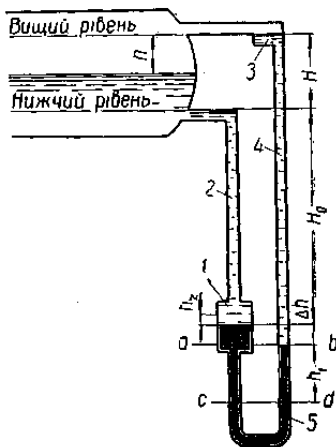


Рис. 3.51. Схема гідравлічного рівнеміра:

- 1 – посудина; 2 і 4 – з'єднувальні трубки;
- 3 – зрівняльна посудина;
- 5 – вимірювальна трубка

На електростанціях дуже поширився простий і надійний у роботі рівнемір з однотрубним диференціальним манометром (рис. 3.52, а). Цей показчик до барабана котла приєднують за допомогою сталевих трубок 4 і 5. Прилад складається із зрівняльної посудини 6, з'єднувальних мідних трубок 3 і 7, грязевловлювачів 2 і 8, широкої посудини 1 і вимірювальної трубки з вказівним склом 10.

Заповнення водою і продування грязевловлювачів здійснюється через верхні і нижні отвори в їх корпусі. Отвір, закритий пробкою 12, призначений для випускання з приладу робочої рідини. Як робочу рідину застосовують, наприклад,

суміш бромформу (CHBr_3) і бензолу (C_6H_6) в однакових за об'ємом кількостях, підфарбовану спеціальним лаком. Питома вага цієї робочої рідини становить близько $1,8 \text{ Г/см}^3$.

Для кращої видимості рівня робочої рідини у вказівному склі за приладом установлюють освітлювальну лампу 11 з рефлектором. Вимірювальну трубку відключають запірним вентилям 9.

Інколи на електростанціях застосовують також повітряний гідравлічний рівнемір для парових котлів, який складається з П-подібного диференціального манометра особливої конструкції (рис. 3.52, б). У цьому пристрої диференціальний манометр підключений за допомогою трубок 1 і 3 до парового і водного просторів барабана котла.

У верхній частині трубки 3 розміщена ребриста зрівняльна посудина 2, яка підтримує в ній сталий (вищий) рівень води. У трубці стовп води має змінну висоту, яка залежить від рівня води в котлі. Під дією тиску, що передається по з'єднувальних трубках, повітря, яке є в диференціальному манометрі, стискується і рівні води, витісненої в скляні вимірювальні трубки 6 і 8, установлюються на різних висотах, які характеризують величину рівня води в барабані котла.

Покази приладу відлічують по шкалі 7, установленій між вимірювальними трубками. Для зменшення впливу коливань тиску в котлі, які спричинюють переміщення рівнів води у вимірювальних трубках внаслідок зміни об'єму наявного в них повітря, паралельно лівій скляній трубці, сполученій із зрівняльною посудиною, підключають металеву трубку 5 великого діаметра. Наявність у додатковій трубці значного об'єму повітря зменшує зміщення рівнів у стеклах відносно шкали, через що переставляти останню не потрібно.

Вентилі 4 і 9 призначені для продування з'єднувальних ліній і заповнення диференціального манометра повітрям.

Для вимірювання рівня води в барабанах парових котлів дуже широко застосовують гідравлічні рівнеміри типу У III з застосуванням показуючих і самопишучих поплавкових і мембранних диференціальних манометрів типів ДП, ДПЕС, ДЕМП і ДМ і зрівняльних посудин типу П.

Рівнеміри з односторонньою шкалою мають верхню межу вимірювання 630-6300 мм вод. ст., а з двосторонньою $\pm (200 \text{ № } 500)$ мм вод. ст.

На рис. 3.53 зображено загальний вигляд рівнеміра типу У III, розрахованого на робочий тиск до 160 кг/см^2 . Прилад має двокамерну

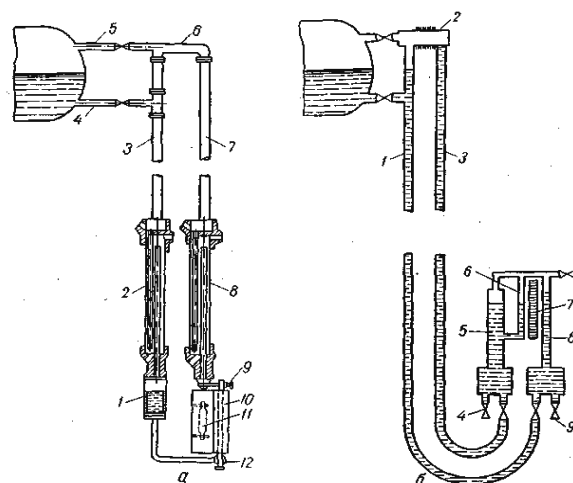


Рис. 3.52. Гідравлічні рівнеміри для парових котлів:

- a – з одностороннім диференціальним манометром: 1 – посудина; 2 і 8 – грязевловлювачі; 3 і 7 – з'єднувальні трубки; 4 і 5 – трубки; 6 – зрівняльна посудина; 9 – вентиль; 10 – вимірювальна трубка; 11 – лампа; 12 – дренажна пробка; б – з П-подібним диференціальним манометром: 1 і 3 – з'єднувальні трубки; 2 – зрівняльна посудина; 4 і 9 дренажні вентиля; 5 – трубка; 6 і 8 – вимірювальні трубки; 7 – шкала

зрівняльну посудину 4 типу П-198, виготовлену з сталевих труб і з'єднану з барабаном котла та показуючим поплавковим диференціальним манометром 6 типу ДП-280.

У зовнішній камері посудини 4, яка сполучена трубкою 3 з паровим простором барабана, підтримується сталий рівень води. Тиск стовпа цієї води передається по трубці 5 широкій (поплавковій) посудині диференціального манометра. Внутрішню камеру посудини 4, відкриту зверху, з'єднують за допомогою трубок 1 і 2 з водним простором котла і вузькою змінною посудиною диференціального манометра. Рівень води у внутрішній камері змінюється, бо він відповідає положенню рівня в барабані котла. Розміщення камери змінного рівня всередині зрівняльної посудини виключає вплив змін температури води в камерах на покази приладу.

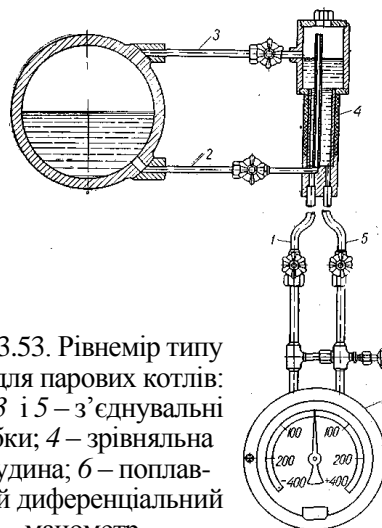


Рис. 3.53. Рівнемір типу УШ для парових котлів: 1, 2, 3 і 5 – з'єднувальні трубки; 4 – зрівняльна посудина; 6 – поплавковий диференціальний манометр

Якщо диференціальний манометр типу ДП використовують як рівнемір, щоб мати нормальний напрям руху стрілки (праворуч – при підвищенні рівня), то частково змінюють його кінематику, переставляючи важіль, який повертає вісь стрілки (перо). Середнє (нормальне) положення рівня води в барабані котла позначають нульовою поділкою, розміщеною по середині шкали приладу. При підвищенні рівня води стрілка переміщається вправо, а при зниженні – вліво від нуля.

Щоб мати нормальну шкалу для рівнемірів з диференціальним манометром типу ДПЕС, переключують два крайні з'єднувальні проводи.

Для меж вимірювань рівня води від 0 до ± 320 і від 0 до ± 500 мм висоту зрівняльної двокамерної посудини беруть відповідно 730 і 1090 мм.

14.1.3. Електронний рівнемір

Останнім часом на електростанціях для вимірювання рівня води в барабанах парових котлів застосовують електронний рівнемір типу ЗУ-1. Він складається з поплавкового диференціального манометра з індуктивним датчиком, розрахованого на робочий тиск 100 кг/см^2 , і вторинного показуючого та самопишучого приладу.

Диференціальний манометр електронного рівнеміра типу ЕУ-1 зображено на рис. 3.54. Стальна посудина 8, скріплена болтами з кришкою 2, заповнена ртуттю. Всередині посудини встановлений стакан 9 з нержавіючої сталі, в якому на поверхні ртуті плаває стальний поплавець 10, жорстко зв'язаний з штоком 1. На верхній кінець штока насаджений плунжер 4 з м'якої сталі, який переміщається в трубці 3 з немагнітної (нержавіючої) сталі. Із зовнішнього боку на трубку надіта індуктивна котушка 5, яка складається з первинної і вторинної обмоток. За допомогою двох штуцерів (на рис. 3.54 показаний тільки один) 6 кільцевий простір між стінками посудини 8 і стакана 9 та простір над поплавцем у стакані 9 з'єднують відповідно з паровим і водним об'ємом барабана парового котла.

На рис. 3.54 подано принципіальну схему електронного рівнеміра типу ЕУ-1. У датчику поплавкового диференціального манометра ДМ і вторинному показуючому і самопишучому приладі ВП розміщені однакові індуктивні котушки I і II з сталевими плунжерами, кожна з яких має по одній первинній і одній вторинній обмотці. Первинні обмотки A_I і A_{II} котушок сполучені послідовно і живляться змінним струмом напругою 4 в від трансформатора Т, що міститься у вторинному приладі. Вторинні обмотки цих котушок B_I і B_{II} ввімкнені назустріч і приєднані на вхід електронного підсилювача до затискачів *a* і *б*.

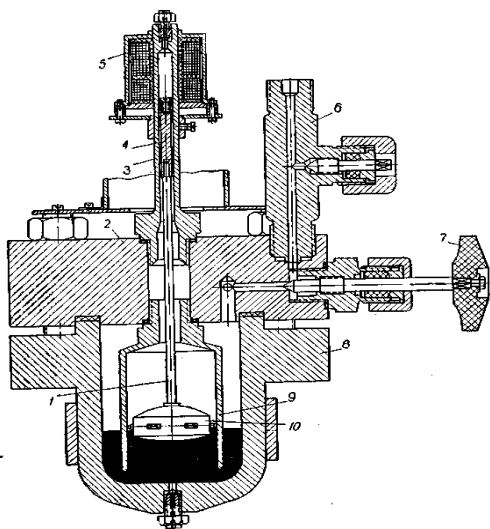


Рис. 3.54. Диференціальний манометр електронного рівнеміра типу ЕУ-1:

- 1 – шток; 2 – кришка; 3 – немагнітна трубка;
4 – плунжер; 5 – індуктивна котушка;
6 – штуцер; 7 – зрівняльний вентиль;
8 – посудина; 9 – стакан; 10 – поплавець

При однаковому положенні плунжерів у котушках I і II різниця е.р.с, які наводяться у вторинних обмотках, дорівнює нулю. Із зміною положення плунжера в котушці I внаслідок відхилення рівня води в барабані котла рівновага системи порушується і на вході електронного підсилювача буде різниця

напруг (небаланс), величина і фаза якої залежать від величини і напрямку зміщення плунжера.

Межі вимірювань електронного рівнеміра типу ЕУ-1 дорівнюють ± 200 мм вод. ст. при ціні поділки шкали 10 мм вод. ст. Прилад живиться від сітки змінного струму 220 В. Потужність, яку споживає прилад, становить 100 Вт.

Останнім часом для безперервного вимірювання рівня рідин, які мають високі параметри (тиск і температуру), застосовують радіоактивні рівнеміри, дія яких ґрунтується на просвічуванні посудин з рідиною γ – променями радіоактивного ізотопу кобальту (Co^{60}). Якщо об'єкт вимірювання помістити між випромінювачем і приймачем (лічильником γ – випромінювання), розмішеними в одній

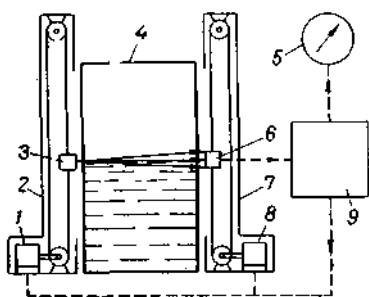


Рис. 3.55. Схема радіоактивного рівнеміра типу УР-4:

- 1 і 8 – селсини-приймачі; 2 і 7 – колонки; 3 – випромінювач;
4 – посудина; 5 – вторинний прилад;
6 – приймач (лічильник); 9 – електронний блок

горизонтальній площині, то залежно від висоти рівня рідини змінюватиметься інтенсивність γ – променів, які падають на приймач. Так, наприклад, при рівні рідини, який лежить вище випромінювача, на приймач потрапить менша кількість γ – променів внаслідок часткового поглинання їх шаром рідини, ніж у випадку, коли рівень рідини лежатиме нижче випромінювача.

На рис. 3.55 подано схему радіоактивного рівнеміра типу УР-4. Тут випромінювач 3 і приймач (лічильник) 6, закріплені в каретках колонок 2 і 7, установлених з обох боків посудини 4 з рідиною, переміщуються синхронно у вертикальному напрямі перекинутими через блоки тросами, які приводяться

в рух від сельсинів-приймачів 1 і 8 з редукторами. Приймач 6 сполучений з електронним блоком 9, реверсивний двигун якого повертає ротор поміщеного тут сельсина-датчика, сполученого проводами з сельсинами-приймачами 1 і 8, і переміщає плунжер вбудованого в блок індукційного датчика, зв'язаного з вторинним приладом 5. Як вторинний прилад застосовують один з приладів диференціально-трансформаторної системи типів ЕПІД, ДС1 або ДСР1.

При розміщенні випромінювача і приймача на позначці рівня рідини в посудині напруга, яку передає приймач електронному блоку, цілком врівноважується, і реверсивний двигун перебуває в спокої. Із зміною рівня рідини виникає стан небалансу системи, що спричинює синхронне переміщення сельсинами-приймачами кареток випромінювача і приймача до нової позначки рівня, тобто до настання нового стану рівноваги системи. Швидкість стеження за рівнем дорівнює 0,5 м/хв.

Рівнеміри типу УР-4 випускають з верхньою межею шкали 1000 і 2000 мм вод. ст. і мають висоту колонок відповідно 1440 і 2435 мм. Основна похибка приладу становить 0,5% діапазону шкали. Прилад живиться від сітки змінного струму напругою 220 В. Допустима відстань між приймачем і електронним блоком не повинна перевищувати 100 м. Рівнемір може працювати при товщині металевої стінки посудини до 100 мм.

14.1.4. Показчики рівня рідини в резервуарах

Найпростішим пристроєм для вимірювання рівня є вказівне скло. Однак

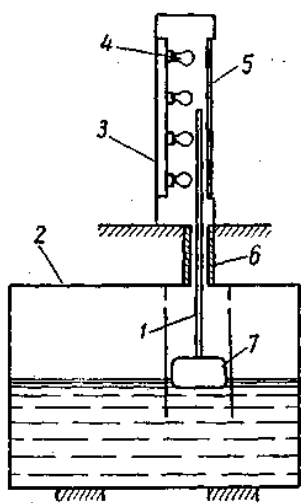


Рис. 3.56. Показчик рівня масла в банці турбоагрегату:

- 1 – рейка; 2 – масляний бак;
- 3 – колонка; 4 – лампи;
- 5 – скло; 6 – горловина;
- 7 – поплавець

при високому або низькому розміщенні резервуара з рідиною відносно місця спостереження користуватись вказівним склом буває важко. У таких випадках застосовують спеціальні показчики рівня. На рис. 3.56 подано схему поплавкового показчика рівня масла в маслобаку турбіни, розміщеному нижче від площадки чергового машиніста. У маслобаку 2 на поверхні масла плаває поплавець 7, який несе на собі рейку 1. У верхній частині бак вузькою горловиною 6 поєднаний з колонкою 3 показчика, яка виготовлена у вигляді шафи і встановлена на рівні підлоги площадки. З лицьового боку проти рейки колонка має поздовжній виріз з розміщеною поряд шкалою, закритою склом 5. За рейкою встановлений ряд освітлювальних ламп 4. Залежно від піднімання поплавка змінюється висота затемненої рейкою частини скла, яка відповідає висоті рівня масла в маслобаку. Показчик рівня додатково має електроконтактний пристрій для сигналізації граничних (високого і низького) положень рівня масла в маслобаку за допомогою двох сигнальних ламп,

розміщених на колонці справа від шкали.

Рівень води у відкритих резервуарах або баках вимірюють гідравлічним рівнеміром типу УП з поплавковим диференціальним манометром. Однокамерну зрівняльну посудину цього показчика у верхній частині з'єднують з атмосферою, а в нижній залежно від характеру вимірювання (зниження рівня проти верхньої межі або підвищення рівня проти нижньої

межі) з'єднують з поплавковою або змінною посудиною диференціального манометра.

Для вимірювання рівня води в резервуарах, які перебувають під розрідженням або тиском до 2 кг/см^2 , застосовують гідравлічний рівнемір типу $У_{IV}$ з однаковою зрівняльною посудиною, яку сполучають з резервуаром аналогічного до показчика рівня типу УШ. При експлуатації конденсаційного пристрою турбоагрегату треба стежити за положенням

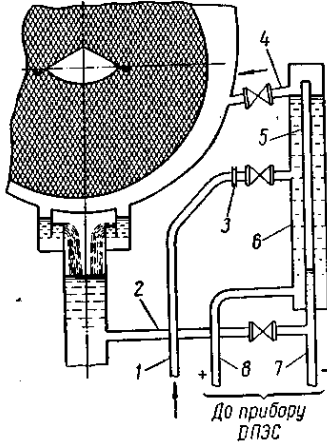


Рис. 3.57. Схема показчика рівня в конденсаторі:
 1 – напірна трубка; 2 і 5 – трубки; 3 – шайба;
 4 – зливна трубка;
 6 – зрівняльна посудина;
 7 і 8 – з'єднувальні трубки

рівня води в конденсаторі, оскільки надмірне піднімання рівня затоплює нижні ряди охолодних трубок і переохолоджує конденсат, а велике зниження рівня може позначитись на надійності роботи конденсатного насоса внаслідок зменшення підпору з боку всмоктувальної труби насоса.

Крім контролю висоти рівня в конденсаторі за допомогою вказівного скла, застосовують спеціальні пристрої, які передають покази висоти рівня на щит керування турбоагрегату. Схему одного з таких показчиків подано на рис. 3.57. Посудина 6,

виготовлена з сталевих труби, сполучена за допомогою похилої зливної трубки 4 з паровим простором конденсатора. Всередину посудини вставлена відкрита трубка 5, яку з'єднують за допомогою трубки 2 з всмоктувальною лінією конденсатного насоса. По трубці 1 з обмежувальною шайбою 3 в посудину безперервно надходить конденсат від напірної лінії конденсатного насоса. Цим забезпечується сталість рівня в посудині 6, причому зайвина конденсату по трубці 4 стікає назад у конденсатор.

Тиски стовпів води сталої висоти в посудині 6 і змінної висоти, яка залежить від рівня в конденсаторі, у трубці 5 по з'єднувальних трубках 7 і 8 передаються диференціальному манометру типу ДПЭС. До датчика його підключають показуючий або самопишучий вторинний прилад типу Е.

Розділ 4. СПЕЦІАЛЬНІ ВИМІРЮВАННЯ

Тема 15. Спеціальні вимірювання

15.1. Тахометри та лічильники числа обертів

Для безпосереднього і безперервного вимірювання числа обертів вала машин застосовують переносні (ручні) і стаціонарні тахометри і лічильники числа обертів. Тахометри показують миттєве значення швидкості обертання вала за одиницю часу (хвилину) і за принципом дії поділяються на відцентрові та магнітні.

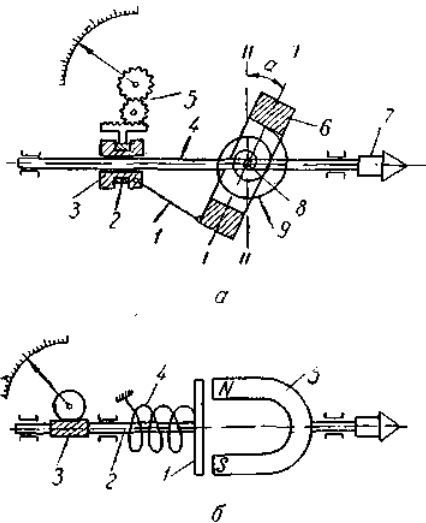


Рис. 4.1. Тахометри:

- а* – відцентрований: 1 – тяга; 2 – кільце; 3 – муфта; 4 – вісь; 5 – зубчаста передача; 6 – тягарець; 7 – наконечник; 8 – вісь тягарця; 9 – пружина; *б* – магнітний: 1 – алюмінієвий диск; 2 – вісь; 3 – черв'ячна пара; 4 – пружина; 5 – постійний магніт

Найчастіше застосовують ручний відцентровий тахометр (рис. 4.1, *а*), будова якого ґрунтується на використанні відцентрової сили, що виникає при обертанні навколо осі 4 тягарця 6 у вигляді кільця, закріпленого похило на осі 8. Притисканням наконечника 7 до центра торця вала вісь 4 приводиться в рух, і тягарець 6, який вдержує нормально в похилому положенні I-I спіральна протидіюча пружина 9, обертається разом з віссю 4, повертаючись навколо осі 8 і намагаючись зайняти вертикальне положення II-II, причому кут α буде тим менший, чим більша відцентрова сила, тобто чим більше буде вимірюване число обертів вала.

Тягарець 6 за допомогою тяги 1 переміщає вздовж осі 4 рухоми муфту 3, з'єднану за допомогою необертового кільця 2 і зубчастої передачі 5 з стрілкою приладу.

Відцентрові тахометри дають змогу вимірювати число обертів вала, який обертається як стрілкою годинника, так і проти

неї.

Для збільшення точності відліку ручні відцентрові тахометри мають коробку швидкостей з різним числом ступенів, які включають при потребі. У стаціонарних тахометрів приводну вісь з'єднують з валом машини за допомогою спеціальної передачі.

Принцип дії магнітних тахометрів (рис. 4.1, *б*) полягає в тому, що сталевий постійний магніт 5, який приводиться в рух валом, обертається навколо алюмінієвого диска 1 і наводить у цьому диску вихрові струми, які, перемагаючи опір протидіючої пружини 4, намагаються повернути його в напрямі обертання магніту. Кут повороту диска і зв'язаної з ним осі 2 пропорціональний кутовій швидкості обертання вала і за допомогою черв'ячної пари 3 передається стрілці приладу.

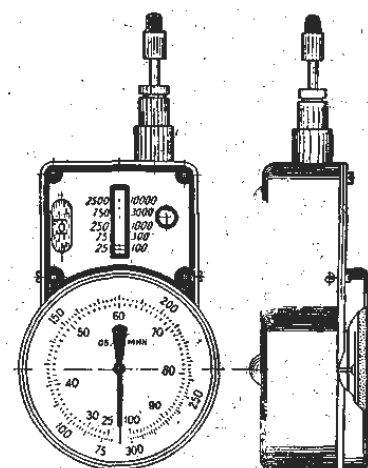


Рис. 4.2. Ручний відцентровий тахометр типу ІО-10

На рис. 4.2 зображено вигляд ручного відцентрового тахометра типу ИО-10. Прилад має п'ять меж вимірювань, які можна переключати: 25-100, 75-300, 250-1000, 750-3000 і 2500-10000 об/хв. Циферблат приладу має подвійну шкалу – зовнішню і внутрішню, ціна поділок якої змінюється залежно від межі вимірювань з 1 до 100 об/хв. Перед початком вимірювань покажчик тахометра для забезпечення збереженості приладу встановлюють попередньо на верхню межу вимірювань (2500-10000 об/хв). Після визначення приблизного числа обертів вала включають межу вимірювань, яка забезпечує найбільшу точність відліку.

Ручні тахометри мають набір знімних наконечників. Для визначення швидкості обертання вала, який має внутрішній центр, при малому числі обертів використовують наконечник з металевою насадкою, а при великому – з гумовою. Коли центр розміщений у заглибині, застосовують наконечник із здовжувачем, а коли вал не має центра, вимірювання провадять за допомогою невеликого шківця з гумовим ободом, який притискується до поверхні вала. Тоді число обертів вала за хвилину n визначають за формулою

$$n = \frac{n_T \cdot D_{ш}}{D_B}, \quad (4.1)$$

де n_m – показ тахометра, об/хв;

$D_{ш}$ – діаметр шківця, мм (32 мм);

D_B – діаметр вала, мм.

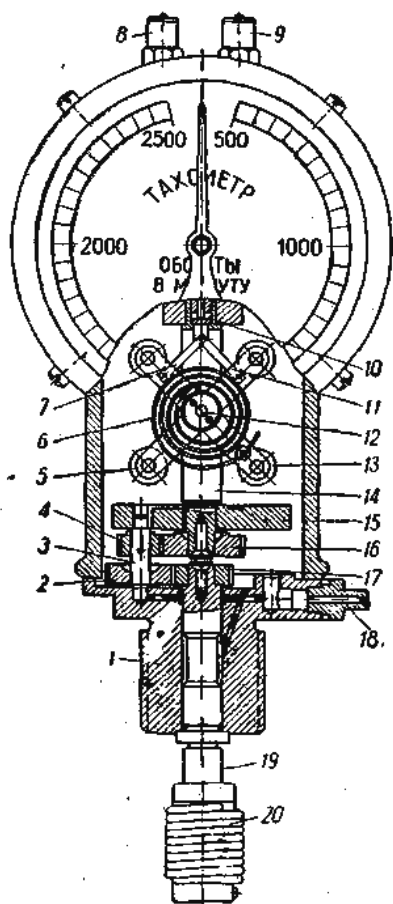


Рис. 4.3. Стационарний відцентровий тахометр типу ТС:
1 – штуцер; 2, 4, 16, 17 – зубчасті колеса; 3 і 12 – осі; 5 і 13 – тягарці;
6 – спіральна пружина; 7 і 11 – планки; 8 і 9 – маслянки; 10 – тяга;
14 – валик маятника; 15 – корпус;
18 – зливний штуцер; 19 – приводний валик; 20 – муфта

Будову стаціонарного відцентрового тахометра типу ТС зображено на рис. 4.3. Прилад складається з корпусу 15 з маятниковим і передавальним механізмами і скріпленого з ним штуцера 1, який призначений для встановлювання тахометра. Обертання від вимірюваного вала передається через пружинну муфту 20 приводному валіку 19, підшипник якого розміщений у штуцері 1. Приводний валік за допомогою змінних зубчастих коліс 2, 4, 16, 17 і осі 3 обертає валік 14 маятника, який несе в середній частині вісь 12. На цапфах цієї осі разом з нею обертаються чотири хрестоподібно розміщені планки (на рис. 4.3 показані дві) з двома парами тягарців 5 і 13, які при збільшенні

числа обертів валіка 14 намагаються стати в горизонтальне положення. Врівноважувальним пристроєм є плоска спіральна пружина 6 (у приладі є дві пружини), закріплена одним кінцем по середині, а другим – на краю однієї з планок. За допомогою тяг планки 7 і 11 зв'язані з рухомим, під'ятником, в якому встановлена опорна кулька тяги 10, що переміщує через зубчастий

секторний передавальний механізм стрілку приладу.

Кут повороту планок 3, тягарцями, а відповідно й стрілки залежить від величини відцентрової сили, яку розвивають тягарці, і змінюється пропорційно числу обертів валика 14 маятника. Для змащування 1 прилад має у верхній частині маслянки 5 і 9 з маслопроводами. Надлишок масла зливається через бічний штуцер 18.

Тахометри типу ТС призначені для вимірювання числа обертів у межах 50-10000 об/хв при відношеннях між верхніми і нижніми межами вимірювань 3,5÷7,5. Межі показів змінюють, відповідно підбираючи змінні зубчасті колеса 2, 4, 16 і 17, причому в усіх випадках передаточне відношення повинно бути таким, щоб при максимальному переміщенні тягарців 5 і 13. Швидкість обертання валика 14 маятника не перевищувала 1500 об/хв.

Шкалу приладу градуують, ураховуючи проставлений на ній коефіцієнт тахометра, який визначає відношення числа обертів за хвилину приводного валика 19 до показу тахометра.

Тахометри типу ТС виготовляють з діаметрами корпусів 120 мм (ТС-120), 160 мм (ТС-160) і 200 мм (ТС-200). Клас точності приладів 2.

Стаціонарні магнітні тахометри типу ТКМ випускають з однією із таких меж вимірювань: 300-2000, 600-4000, 1000-6000, 2000-12000 і 2500-16000 об/хв. Число обертів вала за допомогою лічильника вимірюють, застосовуючи секундомір або годинник. Середнє число обертів n за хвилину визначають за формулою

$$n = \frac{n_1 - n_2}{\tau}, \quad (4.2)$$

де n_1 і n_2 – покази лічильника на початку і в кінці вимірювання, об.;

τ – тривалість вимірювання, хв.

За своєю будовою лічильники числа обертів схожі на механізми інших підсумовуючих приладів і мають стрілочний або роликівий лічильний механізм з відношенням 1 : 10. У першому випадку лічильний механізм має велику колову шкалу (одиниць) і ряд маленьких колових шкал (десятків, сотень і т. д.), а в другому він складається з кількох десятизубих коліс (роликів) на ободі яких нанесені цифри 0-9, які з'являються у вікні циферблата.

15.2. Тепломіри

Тепломірами називаються лічильники, призначені для вимірювання кількості тепла, яке відпускають споживачам, приєднаним до водяних теплових сіток ТЕЦ.

У нагрівальних установках,

Де теплоносієм є вода, яка циркулює в сітці, облік кількості витраченого абонентами тепла зводиться до визначення добутку кількості води, яка проходить через місцеву систему, на різницю температур останньої в прямому і зворотному трубопроводах і інтегрування цих добутків за часом, тобто;

$$Q = C\gamma \int_{\tau_1}^{\tau_2} V(t_1 - t_2) d\tau, \quad (4.3)$$

де Q – кількість тепла, яку відпускають споживачеві за час

c – теплоємність води, ккал/кг $^{\circ}$ С;

γ – питома вага води, кг/м 3 ;

V – кількість води, яка проходить через нагрівальну систему за одиницю часу, м 3 ;

t_1 і t_2 – температури води в прямому і зворотному трубопроводах, $^{\circ}$ С.

Згідно з рівнянням (4.3) тепломір повинен складатися з водоміра, диференціального термометра і помножувального та інтегруючого механізму. Величини c і γ беруть при цьому сталі.

За принципом дії тепломіри поділяються на два види: механічні й електронні. Слід зазначити, що внаслідок певної складності будови і недостатньої надійності роботи ці прилади ще не дуже поширились. Тому тепер відпускання тепла споживачам обліковують за показами окремих приладів, які вимірюють в абонентському вводі теплової сітки температуру і кількість нагрітої води і які потребують великих затрат праці для обробки результатів вимірювань.

На рис. 4.4 додано схему механічного тепломіра типу МЕИ (автор Л. К. Якимов). Прилад має зовнішні циркуляційні мідні трубки 6 і 17 діаметром 25 мм і довжиною 500 мм кожна, розміщені паралельно в горизонтальній площині на плиті 15 і жорстко скріплені з одного кінця стояком 18. У ці трубки, закриті з обох торців, вставлені й закріплені з боку нерухомого кінця внутрішні циркуляційні трубки 2 і 4 меншого діаметра, які не доходять до протилежного кінця основних трубок. З торців до трубок 6 і 17 приварені з'єднувальні штуцери 1 і 3.

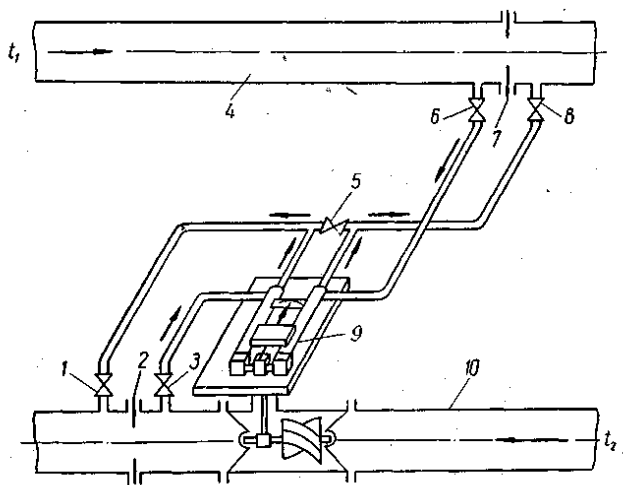


Рис. 4.5. Схема встановлення тепломіра типу МЕИ:

- 1, 3, 6 і 8 – запірні вентилі; 2 і 7 – шайби;
4 і 10 – трубопроводи теплової сітки;
5 – зрівняльний вентиль; 9 – тепломір

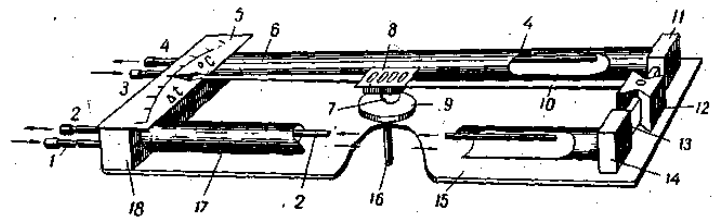


Рис. 4.4. Механічний тепломір типу МЕИ:

- 1 і 3 – штуцери; 2 і 4 – внутрішні циркуляційні трубки; 5 – шкала; 6 і 17 – зовнішні циркуляційні трубки; 7 – фрикційний диск; 8 – лічильний механізм; 9 – ведучий диск; 10 – стрілка; 11 і 14 – накладки; 12 – вилка; 13 – плоска пружина; 15 – плита; 16 – вихідна вісь; 18 – стояк

За допомогою з'єднувальних ліній зовнішні і внутрішні циркуляційні трубки включені попарно шунтом у прямий і зворотний трубопроводи теплової сітки, щоб через них безперервно проходила невелика кількість прямої і зворотної води. Трубки 4 і 6. включені в прямий трубопровід, а трубки 2 і 17 – у зворотний.

До вільних кінців основних трубок приварені накладки 11 і 14, між якими затиснута плоска стальна пружина 13 з вилкою 12, яка сидить на ній по середині. З вилкою жорстко з'єднана стрілка 10, на яку насаджений

роликовий лічильний механізм 5, що приводиться в рух від фрикційного диска 7. Цей диск стикається з горизонтальним ведучим диском 9, який обертається вихідною віссю 16 водоміра з гвинтовою вертушкою, установленою на зворотному трубопроводі теплової сітки. Вільний кінець стрілки 10 переміщається вздовж шкали 5 різниці температур води $\Delta t = t_1 - t_2$.

При русі прямої і зворотної води по основних трубках 6 і 17, які виконують роль дилатометричного (стержневого) диференціального термометра, трубки видовжуються на різну величину, що спричинює згинання пружини 13 і поворот стрілки 10. Оскільки видовження трубок практично пропорціональне зміні їх температури, то різниця їх довжин перебуває в прямій залежності від різниці температур прямої і зворотної води.

Відхилення стрілки 10 праворуч зв'язане з переміщенням фрикційного диска 7 від центра до краю ведучого диска 9 і збільшенням числа обертів диска 7, яке, отже, буде пропорціональне різниці вимірюваних температур води. Число обертів ведучого диска 9 у свою чергу залежить від витрати води, тому покази лічильного механізму являтимуть собою результат інтегрування добутку витрати води на різницю температур, тобто кількість відпущеного тепла. Різниця температур води одночасно позначається стрілкою на шкалі 5. Приєднання тепломіра МЕИ до водяної теплової сітки зображено на рис. 4.5. За допомогою з'єднувальних ліній із запірними вентилями 1, 3, 6 і 8 тепломір (циркуляційні трубки) 9 підключають до прямого 4 і зворотного 10 трубопроводів теплової сітки.

З'єднувальні лінії тепломіра підключають до трубопроводів теплової сітки так, щоб перепад тисків між точками їх приєднання був достатнім для створення потрібної циркуляції води через трубки приладу. Для цього на прямому і зворотному трубопроводах сітки встановлюють дросельні шайби 2 і 7. Для перевірки нульового положення стрілки тепломіра, при якому фрикційний диск лічильного механізму повинен бути в центрі ведучого диска і не обертатись, призначена перемичка із зрівняльним вентилям 5. При відкриванні цього вентиля вода з прямого трубопроводу проходить по обох циркуляційних контурах, внаслідок чого різниця термічних видовжень трубок дорівнює нулю.

Основна похибка вимірювань тепломіра типу МЕИ становить $\pm(2-3)\%$ дійсної кількості відпущеного тепла.

15.3. Показчики осьового зсуву ротора турбіни

Щоб запобігти аварії при недопустимому осьовому зсуві ротора турбіни, спричиненому ненормальною роботою опорно-упорного підшипника, застосовують спеціальний прилад – показчик положення ротора, який є водночас датчиком реле осьового зсуву, що діє на клапан автоматичного затвора турбіни.

Принципальну схему показчика осьового зсуву ротора турбіни з індуктивним датчиком диференціально-трансформаторного типу, яку застосовує ЛМЗ для турбін високого тиску, подано на рис. 4.6. На приставному передньому кінці вала турбіни, розміщеному біля опорно-упорного підшипника, виточений диск D , край якого заходить у повітряний зазор тристержневого трансформатора T . Первинна обмотка трансформатора, яка

розміщена на середньому стержні, живиться змінним струмом напругою 24 В від стабілізуючого (знижувального) трансформатора CT , ввімкнутого в коло змінного струму напругою 220 В з частотою 50 Гц. Дві однакові вторинні обмотки датчика, встановлені на крайніх стержнях і ввімкнені назустріч через селеновий двопівперіодний випрямляч C , сполучені з міліамперметром MA , установленим на щиті керування турбіни. Шкала міліамперметра з ціною поділки 0,1 мм має нульову позначку і проградуєрована: вліво від нуля; – до 0,5 мм і вправо – до 2 мм, причому інтервал шкали 1,7-2 мм позначено червоною смужкою. Переміщення стрілки по шкалі вправо або вліво від нуля показує осьове зміщення ротора в той чи інший бік.

При симетричному розміщенні диска D відносно крайніх стержнів трансформатора T , що відповідає такому положенню вала, коли він притиснутий до неробочих колодок упорного підшипника, повітряні зазори a і b між диском і крайніми стержнями трансформатора однакові (2-3 мм), тому е.р.с, які наводяться у вторинних обмотках, однакові і напрямлені назустріч. У цьому випадку струм у колі міліамперметра дорівнює нулю.

При осьовому зміщенні ротора турбіни в той чи інший бік рівність повітряних зазорів порушується, що змінює розподіл магнітного потоку між середнім і крайніми стержнями трансформатора. Різниця наводжуваних е.р.с, яка виникає при цьому, спричинює появу струму в колі міліамперметра і відхиляє стрілку приладу у відповідний бік. Відхилення стрілки вліво від нульової поділки характеризує спрацювання неробочих колодок упорного підшипника, а відхилення вправо, за межі розбігу в підшипнику (близько 0,7 мм), – спрацювання робочих колодок. Гранично допустиме осьове зміщення ротора при спрацюванні робочих колодок, яке позначене на шкалі міліамперметра початком червоної смуги, дорівнює 1 мм (0,7-1,7 мм). Показчик осьового зсуву має також світлову сигналізацію.

Магнітне коло стабілізуючого трансформатора CT має три стержні, з яких на середньому розміщена первинна $П$ і компенсуюча $К$ обмотки, а на правому – вторинна обмотка $В$. Лівий стержень трансформатора відокремлений від основного магнітопроводу повітряним зазором. Напруга на компенсуючій обмотці, увімкнутій назустріч вторинній, індукується в основному потоками розсіювання між середнім і лівим стержнями трансформатора. При коливаннях напруги сітки живлення в компенсуючій обмотці потоком розсіювання наводиться е.р.с, величина якої залежить від напруги первинної обмотки, і підібрана так) що при коливаннях напруги сітки в межах $\pm 10\%$ номінальної зміна вихідної напруги вторинної обмотки завдяки зустрічному вмиканню компенсуючої обмотки не перевищує $\pm 1\%$.

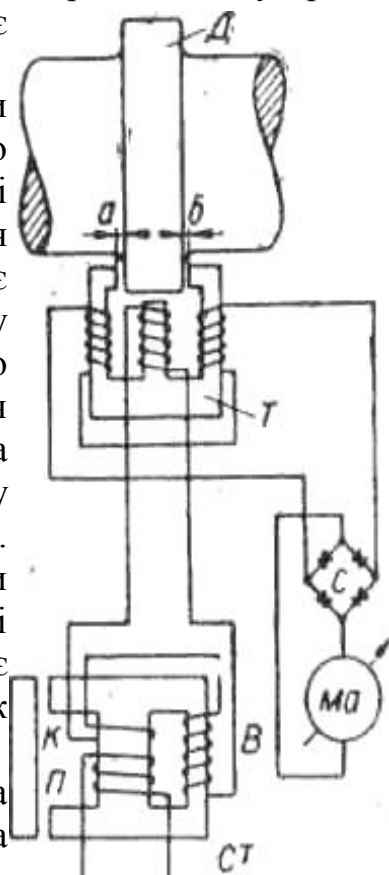


Рис. 4.6. Схема показчика осьового зсуву ротора турбіни

Тема 16. Щити керування і схеми теплотехнічного контролю

16.1. Призначення та будова щитів управління

Із зростанням установленної потужності і вдосконаленням основного устаткування теплових електростанцій підвищувався і ступінь оснащення їх вимірювальною апаратурою. У цих умовах було важко контролювати роботу установки за показами місцевих приладів, а тому виникла потреба застосувати вимірювальну апаратуру з дистанційним передаванням показів у пункти контролю і керування агрегатами.

На сучасній тепловій електростанції працює велика кількість різних агрегатів, розміщених на значних відстанях один від одного, внаслідок чого найважливіші прилади теплотехнічного контролю, а також апаратуру дистанційного керування, сигналізації, автоматичного регулювання, блокування, теплового захисту тощо встановлюють на спеціальних теплотехнічних щитах і пультах у місцях перебування чергового персоналу.

16.2. Класифікація теплотехнічних щитів

На електростанціях застосовують індивідуальні, групові, блочні і центральні теплотехнічні щити. Індивідуальні щити обслуговують окремі агрегати або такі установки станції, як, наприклад, котлоагрегат, турбоагрегат, живильно - деаераторну установку тощо; щити встановлюють поблизу від них. Групові щити об'єднують в одному пункті апаратуру контролю і керування, яка належить до кількох однотипних агрегатів або установок. Існують групові щити котлів, турбін і допоміжних пристроїв. Блочні щити застосовують для керування зв'язаними і виділеними в один спільний блок котлом та турбіною (а іноді й генератором) з їх допоміжним устаткуванням. На центральних теплотехнічних щитах зосереджують контроль за роботою і керування всіма агрегатами певного цеху (котельного, турбінного, хімічного тощо) або всією тепловою частиною електростанції. Як правило, центральні щити встановлюють в окремих приміщеннях.

За своїм призначенням теплотехнічні щити поділяють на основні (оперативні) і допоміжні.

Оперативні щити є основними пунктами контролю і керування тепловими агрегатами. На цих щитах встановлюють тільки найважливіші прилади, які потрібні для контролю за режимом роботи устаткування. З оперативного щита черговий персонал не тільки контролює роботу установки за показами приладів і дією пристроїв технологічної та аварійної сигналізації, а й оперативне керує нею за допомогою апаратури дистанційного керування регулюючими органами агрегатів. Залежно від прийнятої схеми керування оперативні щити можуть бути індивідуальними, груповими блочними або центральними.

Допоміжні щити призначені для розміщення приладів теплотехнічного контролю і автоматичної апаратури (вимірювальним і виконавчим органів

автоматичних регуляторів, тепломеханічних і електричних реле, джерел живлення вимірювальних і автоматичних пристроїв тощо), без яких в оперативній роботі по керуванню агрегатами можна обійтись. До допоміжних щитів належать, наприклад, щити самопишучих приладів (реєстраторів), які є на деяких електростанціях. На цих щитах установлюють самопишучі і підсумовуючі прилади, які потрібні для обліку й аналізу роботи устаткування.

16.3. Конструкції теплотехнічних щитів і пультів

За своєю будовою теплотехнічні щити (рис. 269) поділяються: на два основні види: шафні (закриті) і панельні (відкриті). Їх виготовляють повногабаритними, пристосованими для встановлювання на підлозі, і малогабаритними, призначеними для кріплення на стіні, колоні і т. д.

Повногабаритні щити виготовляють як у вигляді окремих однопанельних щитів, призначених для індивідуального встановлення, так і у вигляді однопанельних ланок, призначених для комплектації, (складання) багатопанельних щитів. Малогабаритні щити пристосовані тільки для індивідуального встановлювання.

Теплотехнічні щити виготовляють з листової сталі завтовшки 3-4 мм відбортуванням кромки листа по периметру, що надає йому потрібної жорсткості.

Шафні щити мають закриту (захищену від механічних дій і пилу) комутацію, яку прокладають на внутрішніх стінках (на цих стінках одночасно закріплюють і інше устаткування щитів). При складній комутації передню стінку іноді роблять подвійною з зазором між листами, щоб уникнути виходу на лицьовий бік панелі гвинтів, якими закріплюють комутацію і прилади. При порівняно простій схемі комутації передню стінку щита виготовляють односторонньою, а з'єднувальні лінії і прилади кріплять за допомогою залізних штаб, розміщених усередині щита. Шафні щити мають дверці для доступу всередину їх обслуговуючого персоналу.

На теплових електростанціях найчастіше застосовують шафні повногабаритні щити типу ЩШ. Їх виготовляють: цілком закритими або відкритими з двох бічних сторін; відкритими з правої або лівої сторони; з бічними правими або лівими дверцями; із задніми дверцями. Шафний повногабаритний щит типу ЩШ-БД з бічними правими дверцями,

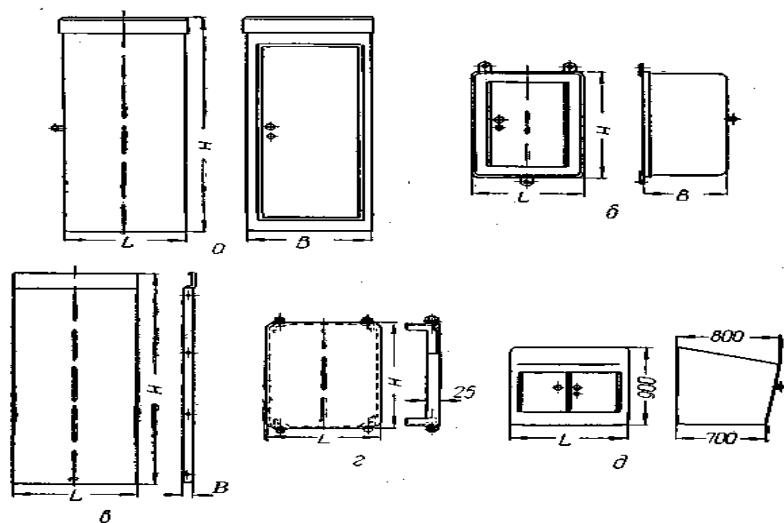


Рис. 4.7. Теплотехнічні щити і пульти:
a – шафний повногабаритний щит; *б* – шафний малогабаритний щит; *в* – панельний повногабаритний щит; *з* – панельний малогабаритний щит; *д* – приставний пульт

призначений для індивідуального установлювання, подано на рис. 4.7, *а*. Шафні щити типу ЩШ мають висоту (H) 2200 і 2400 мм, довжину (L) 600, 900, 1100 і 1400 мм і ширину (B) 500, 850 і 1200 мм. Розміри щитів у ширину і висоту забезпечують вільний доступ усередину при монтажі й обслуговуванні апаратури. При встановлюванні щит скріплюють з основою болтами.

Малогабаритні шафні щити типу ЩШМ застосовують для невеликих установок (агрегатів) і як допоміжні щити. Вони відрізняються один від одного розмірами і розміщенням дверець, які; бувають у них з передньої, задньої або з двох бічних сторін. Малогабаритний шафний щит типу ЩШМ-ПД з передніми дверцями подано на рис. 4.7, *б*. Щити типу ЩШМ мають висоту 600, 900 і 1100 мм, довжину 400, 600 і 900 мм і ширину 350 і 450 мм.

Панельні щити, які виготовляють у вигляді плоскої відкритої панелі, значно простіші і дешевші від шафних, але їх можна застосовувати тільки в чистих і просторих приміщеннях, оскільки вони мають комутацію, не захищену від пилу і механічних дій. Панельними звичайно виготовляють центральні щити і щити самопишучих приладів, які встановлюють в окремих приміщеннях.

Панельні повногабаритні щити типу ЩП складаються з плоскої відбортованої панелі або панелі з бічною стінкою, яку застосовують у багатопанельних щитах для додаткового розміщення на ній з внутрішнього боку допоміжної апаратури. На рис. 4.7, *в* зображено панельний повногабаритний щит типу ЩП без бічної стінки. Висота і довжина цих щитів такі самі, як і в шафних щитів типу ЩШ. Ширина панельного повногабаритного щита без бічної стінки 45 мм і з бічною стінкою 400 мм. Щити типу ЩП можна встановлювати вільно або приєднувати до стіни.

Панельний малогабаритний щит типу ЩПМ подано на рис. 4.7, *г*. Панель щита з'єднують болтами з опорними стальними: кутниками, скріпченими з стіною, колоною і т. д. Щити мають висоту 600, 900, 1100 і 1400 мм, довжину 400, 600 і 1100 мм і ширину 45 мм.

До повногабаритних шафних і панельних щитів з бічних сторін можна додатково приєднувати приставні панелі типу ПП, які виготовляють з дверцями або без них, ці панелі мають довжину 500, 850 і 1200 мм. Крім того, щоб фронтальна сторона повногабаритних щитів мала різну конфігурацію, застосовують кутові вставки, з кутом згину 30 і 45°.

Для розміщення апаратури дистанційного керування (ключів, кнопок), сигналізації (сигнальних ламп, світлових табло), перемикачів та інших пристроїв призначені пульти, які встановлюють разом з шафними і панельними повногабаритними щитами. Як і щити, пульти виготовляють з листової сталі з відбортованими краями, з дверцями або без них у передній стінці, закритими або відкритими з двох бічних сторін, з однієї правої або однієї лівої сторони.

На рис. 4.7, *д* подано приставний пульт типу ПД з дверцями в передній стінці. Довжина пульта відповідає довжині шафних і панельних повногабаритних щитів. Пульти з щитами зчленовують за допомогою бортових з'єднань.

Теплотехнічні щити і пульти фарбують у сірий колір.

16.4. Схеми теплотехнічного контролю

Усі теплотехнічні вимірювання, які здійснюються на основних агрегатах і допоміжному устаткуванні, яке до них належить, а також установлені на них прилади теплотехнічного контролю і сигналізації позначають за допомогою умовних позначень на так званих принципіальних схемах теплотехнічного контролю. Ці схеми дають наочне уявлення про ступінь оснащення установок вимірювальними приладами і апаратурою технологічної сигналізації, а також про місцезнаходження цих пристроїв.

Схеми теплотехнічного контролю широко використовують при проектуванні, монтажі та експлуатації систем теплотехнічного контролю електростанцій. На схемах теплотехнічного контролю устаткування електростанції подається спрощена теплова схема установки (котлоагрегату, турбоагрегату, сіткової водопідігрівної установки і т. д.), на якій за допомогою загальноновживаних умовних позначень показано розміщення потрібних вимірювальних приладів і пристроїв сигналізації.

На схемах теплотехнічного контролю агрегату (установки) зазначають: кількість і розміщення місць вимірювання (в трубопроводах, газоходах, підігрівниках тощо); вид вимірюваних величин (тиск, температура, витрата і т. д.); кількість і тип вторинних вимірювальних приладів та датчиків (показуючих, самопишучих, самопишучих з інтегратором і т. д.); пункти встановлювання вторинних приладів і датчиків (біля місця вимірювання, на щиті керування, на пульті і т. д.); межі вимірювань приладів; кількість і місцезнаходження (на щиті або пульті) перемикачів і кранів для сполучення вимірювальних приладів; розміщення апаратури технологічної сигналізації, яка повідомляє черговий персонал про відхилення від норми контрольованих параметрів, а також апаратури, яка показує ввімкнутий або вимкнутий стан електродвигунів млинів, вентиляторів, димососів, насосів і т. д. (при ввімкнутому в роботу електродвигуні на щиті або пульті горить червона сигнальна лампа, а при вимкнутому – зелена).

На рис. 4.8 як приклад побудови схем теплотехнічного контролю показано вимірювання і сигналізацію, які здійснюються на паропроводі свіжої пари, що живить турбіну. Тут вимірюють три величини: тиск, температуру і витрату пари. Кожний з трьох застосовуваних для цього вимірювальних приладів – термоелектричний пірометр, манометр і дросельний витратомір – має порядковий номер позиції (*n. 1, n. 2 і n. 3*), який привласнюють йому за специфікацією на прилади для певної установки.

Первинні прилади термоелектричного пірометра і дросельного витратоміра, а також тонку відбору тиску для манометра з'єднують на схемі тонкими вертикальними лініями із зображеними в нижній частині рисунка датчиками, перемикачами і вторинними приладами. Тут же внизу проведено чотири горизонтальні лінії, які позначають місця встановлення апаратури, а саме: біля місця вимірювання на пульті керування, на щиті керування і на щиті реєстраторів (самопишучих приладів). Місце для розміщення тих чи інших приладів або апаратури позначають на цих лініях за допомогою світлих кружків у місці перетину їх з лініями відповідних приладів.

Так, наприклад, зображену на рис. 4.8 термопару (п. 1а), установлену в паропроводі, приєднують разом з трьома іншими термопарами, встановленими окремо від неї, до перемикача (п. 1в), розміщеного на пульті керування. За допомогою перемикача зазначені термопари при вимірюванні по черзі підключають до показуючого пірометричного мілівольметра (п. 1б), що міститься на щиті агрегату. Точку відбору тиску в паропроводі з'єднують з датчиком манометра (п. 2а), установленим біля місця вимірювання, а також самопишучим манометром, який розміщений на щиті керування і має два сигнальні контакти (п. 2б). З контактними колами манометра сполучені дві сигнальні лампи (зелена і червона), які також установлені на щиті керування і спалахують при відхиленні тиску пари за допустимі межі. Звужувальний пристрій дросельного витратоміра (п. 3а), який міститься в паропроводі, зв'язаний з установленим біля місця вимірювання датчиком витратоміра (п. 3б), що має вторинний самопишучий прилад з інтегратором (п. 3в) і розміщений на щиті реєстраторів.

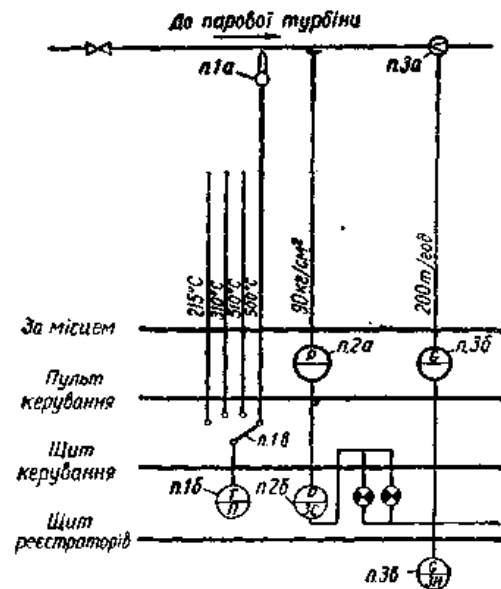


Рис. 4.8. Приклад побудови принципних схем теплотехнічного контролю

Практичне виконання принципової схеми теплотехнічного контролю

парового котла типу ТП-170-1 з кульовими млинами і паровою турбіною типу ВТ-25-4 з регульованим відбором пари, зображено на рис. 4.9. На поданих схемах для спрощення не зазначено номерів позицій установленої апаратури і значень вимірюваних приладами величин. В усьому іншому подані схеми особливих пояснень не потребують.

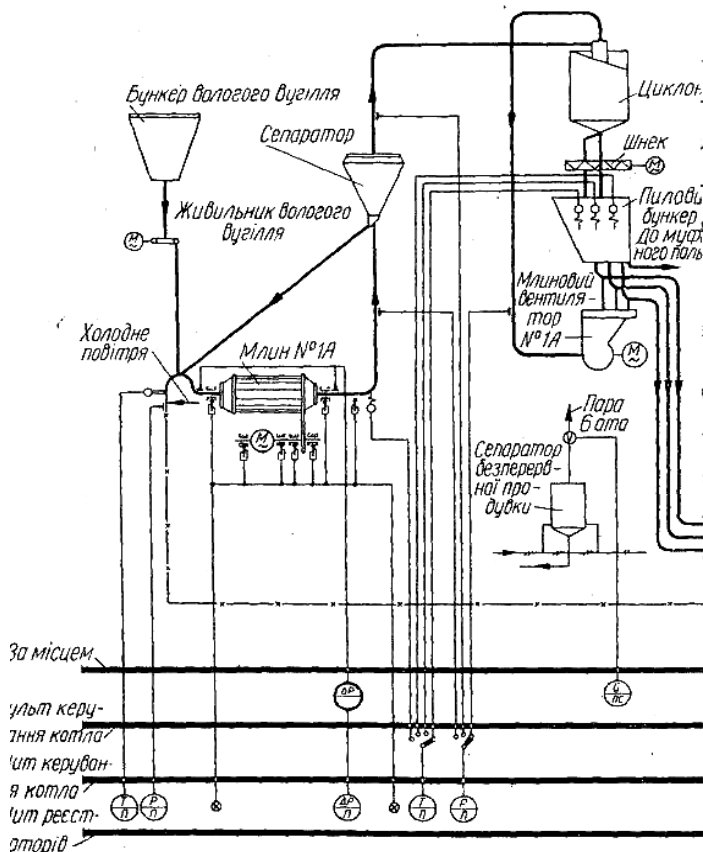


Рис. 4.9. Схема теплотехнічного контролю парового котла

Алфавітний покажчик

- А**
Абсолютна похибка вимірювання 19
Автоматичні хімічні газоаналізатори 183
Анемометри 139
- крильчаті 140
- чашкові 141
Арматура автоматичних газоаналізаторів 191
- Б**
Барометри 120
- В**
Вакуометри 114
- пружинні 117
- ртутні скляні 115
Види тиску 77
- абсолютний 77
- атмосферний 77
- вакуометричний 77
- динамічний 79
- надлишковий 77
Вимірювальний механізм 16
Вимірювальні мости 61
Вимірювальний прилад 12
Витрата речовини 121
Витратоміри сталого перепаду тиску 167
- індикатори витрати 169
- поршневі 168
Волюмометр 183
- Г**
Газоаналізатори 177
- Д**
Дренування конденсату 193
Дроселні витратоміри 122
Диференціальні манометри 126
- Е**
Електричні газоаналізатори 185
- З**
Замірні вузли 150
Звужувальні пристрої 123
- К**
Киснеміри 201
Класифікація газоаналізаторів 178
Коефіцієнт надлишку повітря 177
- Конструкції теплотехнічних щитів 223
- Л**
Логометри 63
- М**
Манометри 80
- з дистанційним передаванням показів 100
- поршневі 96
- пружинні 87
Манометричні термометри 34
Мембранні дифманометри 130
Методи визначення якості води 194
Методи вимірювання кількості речовини 121
- ваговий 122
- дросельний метод 121
- швидкісний 122
Механічні термометри 33
Міра 12
Мірні баки 147
- О**
Об'ємні лічильники 142
Об'ємні водоміри 143
Об'ємні лічильники для газу 147
- барабанні 148
- клапанні 147
- ротаційні 148
Одиниці тиску 76
- П**
Паровідбірні пристрої 195
Парові калориметри 203
Перевірка газоаналізаторів 189
Переносний газоаналізатор 179
Пірометри випромінювання 68
- оптичні 71
- радіаційні 75
- фотоелектричні 74
Пірометричний мінівольтметр 46
Показчики рівня води в резервуарах 165
Показчик положення ротора 175
Порціонні автоматичні ваги 172
- транспортні терези 173
Посередні методи вимірювань 13

Похибки 19	Терези 170
- випадкові похибки 20	- автоматичні 172
- відносна похибка 19	- ручні 171
- грубі похибки 20	Термодинамічна шкала 24
- інструментальна похибка 21	Термоелектродні матеріали 38
- систематичні похибки 20	Термометри опору 55
Прямі методи вимірювань 13	- електричні 55
<i>P</i>	- платинові 58
Рівнеміри для парових котлів 165	Термометри розширення 25
- гідравлічні 166	Термопара 36
- електронні 174	Термостати 31
- механічні 174	Технічні термометри 29
Ртутний термометр 30	Тиск рідини 76
<i>C</i>	Точність 15
Солеміри 155	Тягонапороміри 104
<i>T</i>	- ковпакові 107
Тахометри 171	- кільцеві 110
- ручні 172	- мембранні 106
- стаціонарні 171	- рідинні 104
Температурні шкали 23	<i>Ч</i>
Теплова електростанція 7	Чутливість приладу 15
Теплотехнічні вимірювальні прилади 13	<i>У</i>
- еталонні 14	Ультразвукові витратоміри 164
- контрольні 14	<i>Ш</i>
- лабораторні 14	Швидкісні водоміри 134
- місцеві 15	- з гвинтовою вертушкою 135
- показуючі 15	- крильчаті 135
- самопишучі 15	<i>Щ</i>
Тепломіри 173	Щити керування 177

Література

1. Баганов Є. О. Конспект лекцій з дисципліни «Теплотехнічні вимірювання та прилади». Херсонський Національний технічний університет. / Є. О. Баганов. Кафедра енергетики та електротехніки, 2008 р. – 74 с.
2. Преображенський В. П. Теплотехнічні вимірювання і прилади. Підручник, 3-тє видання. / В. П. Преображенський. – М. : Енергія, 1978. – 702 с.
3. Чистяков З. Ф. Теплотехнічні вимірювання і прилади. / З. Ф. Чистяков, Д. В. Радун. – М. : Вища школа, 1972. – 391 с.
4. Кулаков М. В. Технологічні вимірювання і прилади для хімічних виробництв. Підручник, 3-тє видання. – М. : Машинобудування, 1983. – 424 с.
5. Шкали температурні практичні. П. СТ СЭВ 1059-78. Термометри термоелектричні робочі. Загальні технічні вимоги. ГОСТ 8.157-75. – М., 1971.
6. Андрєєв А. А. Автоматичні електронні показуючі, реєструючі і регулюючі прилади. – 2-е видання. – Л. : Машинобудування, 1981. – 261 с.
7. Гордов А. Н. Основи пірометрії. – 2-е видання. / А. Н. Гордов. – М. : Металургія, 1971. – 471 с.
8. Кремлевський П. П. Вимірювання витрати багатофазних потоків. / П. П. Кремлевський. – Л. : Машинобудування, 1982. – 214 с.
9. Краснощеков Е. А. Задачник по теплопередаче. – 3-е видання. / Е. А. Краснощеков, А. С. Сукомел. – М. : Енергія, 1975. – 278 с.
10. Варгафтік Н. Б. Справочник по теплофізичним властивостям газів і рідин. – М. : Вид-во фізико-математичної літератури, 1963. – 708 с.
11. Кантере В. М., Козаков А. У., Кулаков М. В. Потенціометричні і титриметричні прилади. – М.~Л. : Машинобудування, 1970. – 303 с.
12. Макаров А. Д. Прилади для вимірювання рН. / А. Д. Макаров, В. М. Свердлін. – М. : Енергія, 1970. – 92 с.
13. Павленко В. А. Газоаналізатори. / В. А. Павленко. – М.~Л. : Машинобудування, 1965. – 295 с.
14. Туричин А. М. Електричні вимірювання неелектричних величин. – 4-е видання. / А. М. Туричин. – М. : Енергія, 1966. – 690 с.
15. Ісаченко В. П., Осипова В. А., Сукомел А. З. Теплопередача. – 3-тє видання. / В. П. Ісаченко, В. А. Осипова, А. З. Сукомел. – М. : Енергія, 1975. – 485 с.
16. Короткий довідник хіміка. – 7-е видання. – М. : Хімія, 1964. – 559 с.
17. Берлінер М. А. Вимірювання вологості. – 2-е видання. – М. : Енергія, 1973. – 399 с.
18. Іванова Р. М. Теплотехнічні вимірювання і прилади. / Р. М. Іванова, Н. Д. Ковалев, В. С. Чистяков. – М. : Енергоатоміздат, 1984. – 232 с.
19. Геращенко О. А. Температурні вимірювання. Довідник. / О. А. Геращенко, А. Н. Гордов, В. І. Лах та ін. – К. : Наукова думка, 1984 р. – 494 с.
20. Босий В. В. Інженерні методи розрахунку похибок. / В. В. Босий, Г. Н. Васильченко, Е. Н. Панов. – К. : КПІ, 1986 р. – 72 с.