

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ДНІПРОДЗЕРЖИНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

О.Л. Глущенко

Конспект лекцій з дисципліни
ТЕПЛОТЕХНІЧНІ ВИМІРЮВАННЯ ТА ПРИЛАДИ
для студентів за напрямом
6.050601–Теплоенергетика
заочної форми навчання

Затверджено
редакційно-видавничою секцією
НМРДДТУ

_____, протокол № _____

Дніпродзержинськ
2012

Розповсюдження і тиражування без офіційного дозволу Дніпродзержинського державного технічного університету **заборонено**.

Конспект лекцій з дисципліни «Теплотехнічні вимірювання та прилади» для студентів за напрямом 6.050601 – Теплоенергетика заочної форми навчання / Укл. Глущенко О.Л., – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2012 – 88 с.

Укладач: О.Л. Глущенко, кандидат технічних наук

Рецензент: І.С. Долгополов, кандидат технічних наук

Відповідальний за випуск: зав.кафедрою ТЕП, доктор технічних наук Павленко А.М.

Затверджено на засіданні кафедри ТЕП

/протокол № від _____/

Конспект лекцій призначений для студентів 4 курсу заочної форми навчання за напрямом 6.050601 – Теплоенергетика. У конспекті розглядаються розділи, які вивчаються, як на лекційних заняттях, так і призначені для самостійного вивчення і цілком відповідають робочій програмі курсу «Теплотехнічні вимірювання та прилади»:

- Розділ 1. Вимірювання температури.
- Розділ 2. Вимірювання тиску рідких і газових середовищ.
- Розділ 3. Вимірювання витрати газу, рідини і пари.
- Розділ 4. Вимірювання рівнів рідини та сипучих матеріалів.
- Розділ 5С. Теоретичний матеріал, призначений для самостійного опрацювання.

Конспект лекцій містить повний ілюстративний матеріал, який допомагає більш досконаліше ознайомитися з обладнанням, яке призначене для пилословлювання та очищення промислових відходів.

ЗМІСТ

Розділ 1. ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ	6
Тема 1.1 Температурні шкали	6
Контрольні питання до теми 1.1	7
Тема 1.2 Засоби виміру температури	8
1.2.1 Термометри розширення	8
1.2.2 Манометричні термометри	13
1.2.3 Термоелектричні термометри	15
1.2.4 Конструктивне виконання термопар	19
Контрольні питання до теми 1.2	21
Розділ 2. ВИМІРЮВАННЯ ТИСКУ РІДКИХ І ГАЗОВИХ СЕРЕДОВИЩ	22
Тема 2.1 Загальні відомості про види тисків	22
Контрольні питання до теми 2.1	24
Тема 2.2 Прилади, які використовуються для вимірювання тисків	24
2.2.1 Рідинні манометри	24
2.2.2 Деформаційні манометри	28
2.2.3 Електричні манометри	32
Контрольні питання до теми 2.2	33
Розділ 3. ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ ГАЗУ, РІДИНИ І ПАРИ	34
Тема 3.1 Витратоміри по перепаду тиску в пристроях, що звужують	34
3.1.1 Типи пристроїв, що звужують	36
3.1.2 Особливі випадки виміру витрати	38
Контрольні питання до теми 3.1	40
Тема 3.2 Вимір витрати рідин і газів напірними трубками	41
Контрольні питання до теми 3.2	43
Розділ 4. ВИМІРЮВАННЯ РІВНІВ РІДИНИ ТА СИПУЧИХ МАТЕРІАЛІВ	44

Тема 4.1 Вимірювання рівня рідини	44
4.1.1 Візуальні рівнеміри	45
4.1.2 Гідростатичні рівнеміри	46
4.1.3 Поплавкові і буйкові рівнеміри	50
Контрольні питання до теми 4.1	52
Тема 4.2 Акустичні рівнеміри	52
Контрольні питання до теми 4.2	54
Тема 4.3 Вимірювання рівня сипучих матеріалів	54
4.3.1 Сигналізатори рівня сипучих матеріалів	55
4.3.2 Прилади для виміру рівня сипучих тіл	56
Контрольні питання до теми 4.3	58
Розділ 5С. ТЕОРЕТИЧНИЙ МАТЕРІАЛ, ПРИЗНАЧЕНИЙ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО ОПРАЦЮВАННЯ	59
Тема 5.1 Термометри опору. Вимірювання температури методом оптичної пірометрії	59
5.1.1 Термометри опору	59
5.1.2 Вимірювання температури методом оптичної пірометрії	60
Контрольні питання до теми 5.1	62
Тема 5.2 Принцип дії теплових та іонізаційних вакууметрів	62
5.2.1 Теплові вакууметри	62
5.2.2 Іонізаційні вакууметри	64
Контрольні питання до теми 5.2	65
Тема 5.3 Ультразвукові та електромагнітні витратоміри	65
5.3.1 Ультразвукові витратоміри	65
5.3.2 Електромагнітні витратоміри	68
Контрольні питання до теми 5.3	70
Тема 5.4 Принцип дії ємнісних та індуктивних рівнемірів	70
5.4.1 Ємнісні рівнеміри	70

5.4.2 Індуктивні рівнеміри	71
Контрольні питання до теми 5.4	74
Тема 5.5 Принцип дії оптичних та лазерних газоаналізаторів	74
5.5.1 Оптичні газоаналізатори	74
5.5.2 Лазерні газоаналізатори	77
Контрольні питання до теми 5.5	78
Тема 5.6 Вимірювання вологості газів	78
5.6.1 Загальні відомості про вимір вологості газів	78
5.6.2 Психрометричний метод	80
5.6.3 Конденсаційний метод	82
5.6.4 Сорбційний метод	84
Контрольні питання до теми 5.6	86
ПЕРЕЛІК ОСНОВНОЇ ТА ДОДАТКОВОЇ ЛІТЕРАТУРИ	87

Розділ 1

ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

Тема 1.1 Температурні шкали

Температура – це величина, що використовується для визначення ступеня нагрівання тіла або середовища.

З найдавніших часів люди намагалися знайти кількісну оцінку теплового стану усього, що їх оточувало.

Спроби наочного представлення температурних змін (охолодження і нагрівання) відомі ще з давніх часів, при цьому використовували для цієї мети термічне розширення повітря. Перший термометр, побудований на цьому принципі, був запропонований Галілеєм у 1592 році. Також відомі термометри Геріха, Гюйгенса, Фаренгейта, Реомюра та інших.

Вирішальним кроком в галуззі виміру температури можна вважати пропозицію шведського астронома Цельсія розділити інтервал між крапками танення льоду і кипіння води на 100 градусів. Після Цельсія питання про вибір опорних крапок і про величину градуса було вирішено на багато років, і він увійшов у практику температурних вимірів.

До істотних недоліків рідинних термометрів відноситься залежність показань від робочої речовини (води, спирту, ртуті та ін.), що заповнює термобалон і капілярну трубку. У термометрі з різними рідинами висота підняття стовпчиків рідин у капілярах при однакових температурах різна в наслідок різних залежностей коефіцієнтів розширення від температури. З цієї причини рідинні термометри не придатні для визначення поняття температури і звідси неможливо базисну величину, тобто градус, робити залежним від властивостей визначеної речовини.

Англійський учений Кельвін запропонував будувати температурну шкалу, виходячи з кінетичної енергії молекул. При 0°C середня кінетична енергія

молекул газу має деяку визначену величину. Зі зниженням температури на кожний градус Цельсія молекули втрачають $1/273$ частину своєї кінетичної енергії, і убування енергії молекул відбувається зовсім рівномірно. Це означає, що при температурі $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ чи, точніше, при $-273,16\text{ }^{\circ}\text{C}$ молекули мають нульову кінетичну енергію.

Отже, температуру $-273,16\text{ }^{\circ}\text{C}$ можна вважати «абсолютним нулем». Якщо побудувати нову шкалу, у якій за початок прийняти абсолютний нуль, а кожен розділ має дорівнювати звичайному градусу Цельсія, то співвідношення між двома шкалами виразяться формулою

$$K = ^{\circ}\text{C} + 273,16. \quad (1.1)$$

(До 1968 р. писали $^{\circ}\text{K}$, а за угодою, прийнятому в 1968 р., необхідно писати просто «K»).

У цей час використовується Міжнародна практична температурна шкала (МПТШ) за редакцією 1968 р. Ця шкала обрана таким чином, щоб температура, що вимірюється по цій шкалі, була близька термодинамічній температурі з точністю, яка може бути забезпечена сучасними засобами вимірів. МПТШ - 68 устанавлюється для температур від 13,82 до 6300 K.

Як еталони засобів виміру для різних галузей температур використовуються:

- від 13,81 до 903,89 K - платиновий термометр опору;
- від 903,89 до 1337,58 K - платинородій - платинова термopара;
- від 1337,58 до 6300 K - квазімонохроматичний пірометр.

На Україні крім шкали МПТШ - 68 устанавлені практичні температурні шкали, які призначені для здійснення однакових вимірів температури в діапазоні від 0,01 до 100000 K. Для діапазону 0,01 до 0,8 K устанавлена температурна шкала термометра магнітної чутливості.

Контрольні питання до теми 1.1

1.1.1 Дайте визначення поняттю «температура».

1.1.2 Хто з видатних учених запропонував перший термометр? Приведіть характеристику цього термометри та відмінності від раніше існуючих приладів.

1.1.3 Яка температура вважається «абсолютним нулем»?

1.1.4 Яка температурна шкала використовується на даний час в Україні?

Тема 1.2 Засоби виміру температури

1.2.1 Термометри розширення

Одним з основних параметрів, які визначають хід технологічних процесів у теплоенергетичних агрегатах (котлах, плавильних і нагрівальних печах різного призначення, сушарках, газогенераторах, хімічних реакторах і т.ін.) є температура.

Температурні виміри в цих агрегатах характеризуються:

- широким діапазоном виміру (від -200 до $+3000$ $^{\circ}\text{C}$);
- необхідністю виміру температури твердих, рідких і газоподібних середовищ;
- присутністю агресивних середовищ у теплоенергетичних агрегатах.

Засіб виміру температури, призначений для виробітку сигналу у вигляді, зручному для сприйняття спостерігачем, автоматичної обробки, передачі й використання в автоматичних системах керування, **називається термометром**. У таблиці 1.1 наведені найпоширеніші в промисловості засоби виміру температури й визначені границі використання серійних засобів виміру.

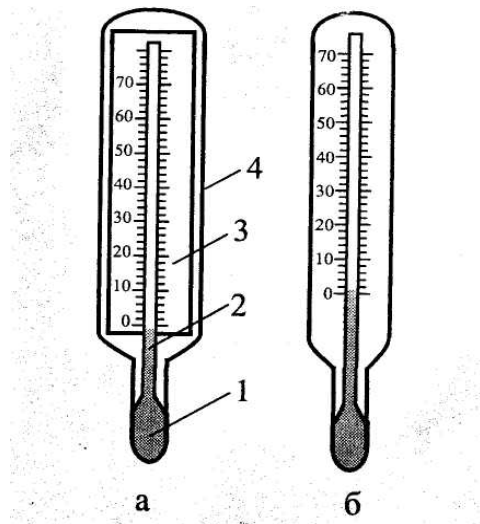
Для виміру температури в лабораторних умовах і промисловій практиці широко використовуються скляні рідинні термометри, які є самим старим видом термометрів.

Таблиця 1.1 - Температурні границі використання промислових засобів виміру температури

Типи засобів виміру	Розмаїття засобів виміру	Границя використання, °C	
		нижня	верхня
Термометри розширення	Рідинні скляні термометри	-200	+750
	Манометричні термометри	-200 (-272)	1000
Термометри опору	Термометри опору металеві	-260	1100
	Термометри опору напівпровідникові	-272	600
Термоелектричні термометри	Термопара	-200 (-270)	2200 2800
Пірометри	Оптичні пірометри	700	600 (100000)
	Пірометри спектрального відношення	300	2800
	Пірометри повного випромінювання (радіаційні пірометри)	-50	3500

Вони характеризуються досить високою точністю, невеликою вартістю й простотою у використанні. Принцип дії термометра заснований на залежності між температурою й обсягом термометричної рідини, вкладеної в скляну оболонку. Рідинний скляний технічний термометр (*рисунок 1.1*) складається з термобалона 1 (чутливий елемент), заповненого термометричною рідиною (ртуть, спирт й ін.), капілярної трубки 2 (вимірювальні пристрої), пластинки 3 з нанесеною на неї

шкалою, зовнішньої скляної оболонки 4. Температура вимірюваного середовища, у яке поміщені резервуар (термобалон) з рідиною й частина капіляра, визначається по положенню рівня рідини в капілярі, довжина якого визначена в градусах.



*а) кийовий; б) технічний із вкладеною шкалою
1 – термобалон; 2 – капіляр; 3 – шкала; 4 – оболонка*

Рисунок 1.1 – Рідинні термометри

Лабораторні ртутні термометри використовуються для виміру температури від -30 до $+600$ $^{\circ}\text{C}$, серед яких можна виділити термометри виду ТР із діапазоном від 0 до 500 $^{\circ}\text{C}$, призначені для точного виміру температури.

Виготовляються також лабораторні ртутні термометри спеціального призначення, які використовуються при вимірі температур у якій-небудь одній певній області. До цієї групи відносять калориметричні термометри. Калориметричні термометри використовуються для визначення теплоти згоряння палива або теплоємності тіл і мають шкалу в області кімнатних температур від 15 $^{\circ}\text{C}$ до 25 $^{\circ}\text{C}$ з похибкою вимірів не більше $0,001$ $^{\circ}\text{C}$.

Технічні термометри електроконтактні використовуються для замикання й розмикання ланцюга електричного струму з метою сигналізації,

регулювання (у найпростіших схемах) температури в лабораторних і промислових умовах. Принцип його заснований на здатності ртуті служити провідником електричного струму. Електроконтактні термометри виготовляють із постійними впаяними контактами (*рисунок 1.2*) або з одним контактом, що рухається, який можна переміщати в середині капіляра за допомогою спеціального магніту й іншим контактом, що не рухається, який впаяний у капіляр термометра (*рисунок 1.3*).

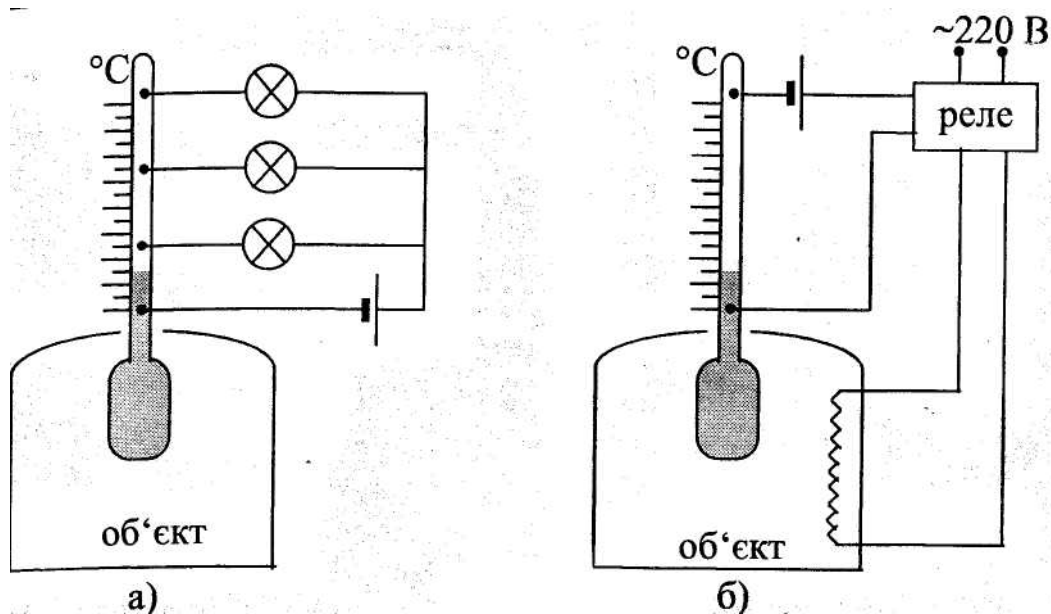
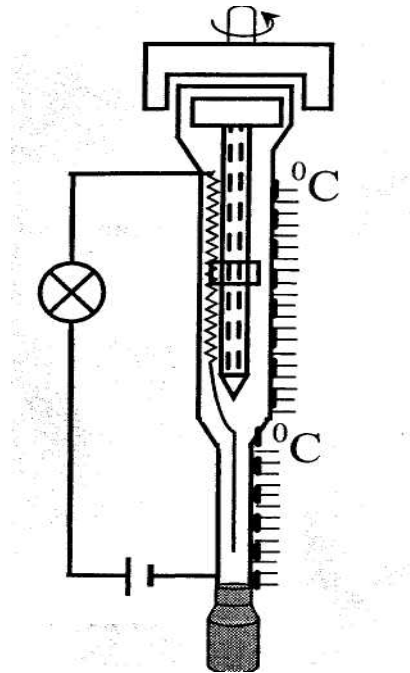


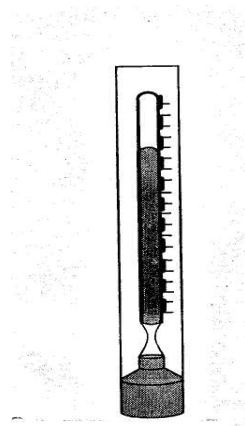
Рисунок 1.2 – Електроконтактні термометри
а) у схемах сигналізації; б) у схемах регулювання

Термометри з контактом, що рухається, забезпечують замикання й розмикання електричного ланцюгу при кожному значенні обраної шкали термометра. Ртуть, що переміщається в капілярі, забезпечує електричний контакт упаяними електродами, навантаження на який не повинна перевищувати 0,5 мА при напрузі не більше 0,3В.



**Рисунок 1.3 – Схема
електроконтактного термометра
із рухомих контактом**

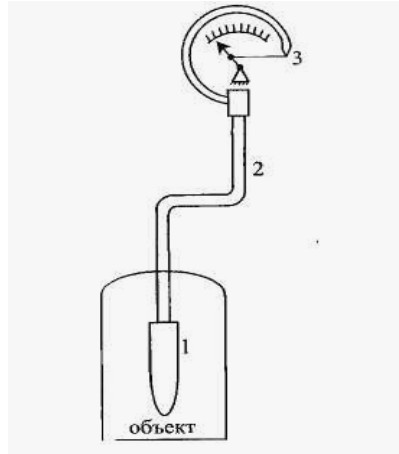
Спеціальні ртутні термометри (максимальні) використовуються для фіксування максимальної температури атмосферного повітря або води у водоймах (метеорологічні термометри) або для визначення максимальної температури людського організму (медичні). У цих термометрах використовується незмочуванність скла ртуттю й у місці пережиму капіляра (*рисунок 1.4*) відбувається розрив стовпа ртуті при охолодженні термобалона.



**Рисунок 1.4 – Ртутний
термометр**

1.2.2 Манометричні термометри

Загальний вид манометричного термометра представлений на *рисунку 1.5*.



*1-балон; 2 –вимірювальна
трубка; 3 – манометр*

***Рисунок 1.5 –
Манометричний термометр***

Капіляр виготовляють із мідного сплаву внутрішнім діаметром 0,5 мм. Для підвищення міцності капіляра він поміщається в металеву плівку. Балон заповнюється термометричною рідиною або газом, тому манометричні термометри ділять на рідинні, газові й конденсаційні.

Принцип дії заснований на тому, що використовується розширення рідини або газу й приміщення балонів у середовище, для якого вимірюється температура. При підвищенні температури підвищується тиск усередині балона. Цей тиск передається по капіляру у вимірювальну пружину. Під дією тиску пружина розправляється й повертає стрілку.

На точність виміру впливає також обсяг каналу капіляра й обсяг порожнини у вимірювальній пружині, впливає також температурне розширення балона, капіляра й порожнини вимірювальної пружини.

Тому матеріали підбирають так, щоб температурне розширення було меншим, а також, щоб обсяг каналу капіляра й обсяг порожнини у вимірювальній

пружині були малими в порівнянні з обсягом балона. Величина розширення балона, капіляра й пружини враховується при градуюванні приладу. Газовий манометричний термометр призначений для виміру температури від -200°C до $+600^{\circ}\text{C}$. Як газ, звичайно, використовують азот. У реальних приладах обсяг порожнин капіляра залежить від температури й тиску. Цей вплив враховується при градуюванні шкали. При заповненні балона газом тиск вибирають трохи більшим атмосферного. Довжина балона в основному становить від 80 до 400 мм. Діаметр балона вибирають із наступного ряду: 8, 10, 12, 16, 20, 25, 30 мм. Залежно від призначення довжина капіляра може становити від 0,6 до 6 м.

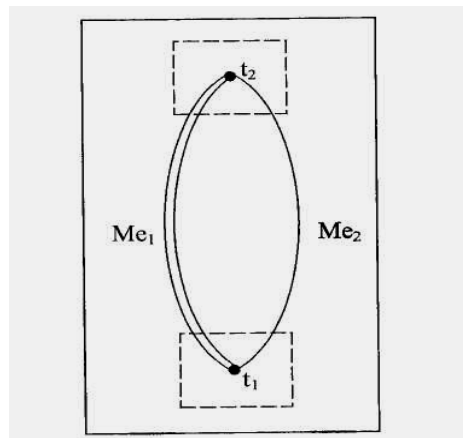
Рідинні термометри в основному призначені для виміру температури від -150 до $+350^{\circ}\text{C}$. Як термометричні рідини застосовують ртуть і спирт. У рідинних манометричних термометрах похибка викликається зміною барометричного тиску, а також за рахунок гідростатичного тиску. Для усунення похибки від гідростатичного тиску довжину капіляру беруть менше 10 м.

Конденсаційні манометричні термометри застосовуються для виміру температури від -50 до $+300^{\circ}\text{C}$. У конденсаційних приладах балон заповнюється рідиною на три чверті, інша частина обсягу заповнена насиченими парами. Як термометрична рідина в конденсаційних термометрах застосовують фреон 22, пропілен, хлористий метил, ацетон. У цих приладах капіляр і вимірювальна пружина заповнюються іншою рідиною, що не змішується з термометричною. Тиск у балонах цих приладів дорівнює тиску насиченої пари, тому шкали цих приладів нерівномірні. Для усунення гідростатичної помилки капіляр беруть не довше 25 м. Конденсаційні термометри, у яких балон заповнений гелієм, дозволяють вимірювати температуру від 0,8 К. Газові й рідинні манометричні термометри випускають із класом точності 1; 1,5 й 2,5. Конденсаційні прилади випускаються із класом точності 1,5; 2,5 й 4.

1.2.3 Термоелектричні термометри

Вимір температури за допомогою термоелектричних термометрів засновано на фізичному явищі термо-ЕРС, що було відкрито німецьким фізиком Томасом Зеєбеком у 1821 році.

В електричному ланцюзі, що складається з двох різнорідних провідників, з'єднаних кінцями (*рисунок 1.6*) виникає термоелектрорушійна сила (термо-ЕРС) при різній температурі в місцях з'єднання провідників. При контакті двох металів, що мають різну концентрацію вільних електронів, відбудеться явище дифузії, тобто електрони почнуть переходити з одного металу в інший, створюючи контактну різницю потенціалів.



**Рисунок 1.6 –
Термоелектричний
ланцюг**

Величина виниклого потенціалу буде залежати як від природи самих металів (тобто розходження в них вільних електронів), так і від температури в місці контакту.

Для виникнення електричного струму в ланцюзі, що складається з двох металів, необхідні дві умови:

- електричний ланцюг повинний складатися з двох різнорідних провідників;
 - температура в місцях з'єднання провідників повинна бути різною, тобто $t_1 \neq t_2$.

З'єднання двох провідників з різних металів при різній температурі виконане з метою виміру температури газоподібних, рідких і твердих середовищ (чи одержання електричної енергії) *одержало назву «термопара»* (чи термоелектричний генератор).

Відповідно до вищенаведеного, можна записати основне рівняння термопари:

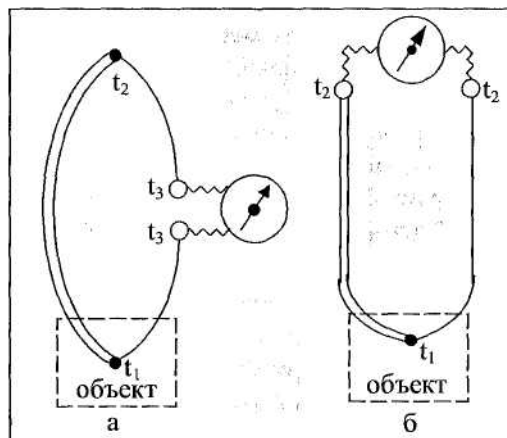
$$\Delta E = E_{t_1} - E_{t_2}, \quad (1.2)$$

де ΔE - результуюча ЕРС, що розвивається термопарою;

E_{t_1} - ЕРС, що виникає в місці з'єднання при температурі t_1 ;

E_{t_2} - ЕРС, що виникає в місці з'єднання при температурі t_2 ($t_1 > t_2$).

Для виміру термо-ЕРС, що розвивається термопарою, використовують два способи підключення вимірювального приладу: у розрив електрода (*рисунк 1.7, а*) і в розрив спаю, тобто в розрив місця з'єднання (*рисунк 1.7, б*).



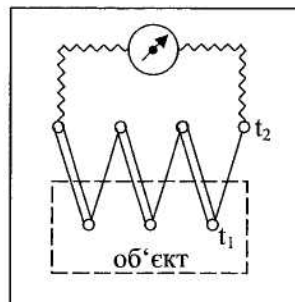
а – розрив електрода; б – у розрив місця з'єднання

Рисунок 1.7 – Включення вимірювального прибору у ланцюг термопари

У першому випадку в термопарі буде чотири кінці: робочий з температурою t_1 , вільний з температурою t_2 і нейтральні з температурою t_3 ,

причому, температури цих двох нейтральних кінців повинні бути постійними при будь-якому їх значенні.

Для збільшення чутливості термоелектричного методу виміру температури в ряді випадків застосовують термобатарею: декілька послідовно включених термопар, робочі кінці яких знаходяться при температурі t_1 , вільні при відомій і постійній температурі t_2 (*рисунок 1.8*).

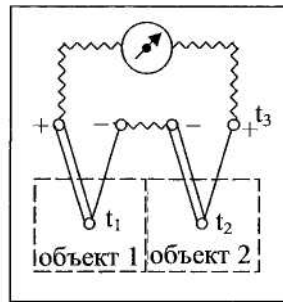


**Рисунок 1.8 -
Термобатарея**

Термобатарей застосовують також для одержання електроенергії, що може жити малих по потужності споживачів її (наприклад, морські буї, сигналізатори, радіосхеми й ін.). У деяких випадках виникає необхідність виміру різниці температур у двох точках одного тіла (наприклад, для визначення теплового потоку, що проходить через тіло) чи в двох однотипних об'єктах (наприклад, у системах керування тепловими процесами в об'єктах). На *рисунок 1.9* показана диференціальна термопара, коли ЕРС однієї термопари включають назустріч ЕРС іншої термопари.

До матеріалів, використовуваних для виготовлення термопар, пред'являються такі вимоги:

- лінійна характеристика, тобто лінійна залежність між вимірювальною температурою і вироблюваною термо-ЕРС;
- стабільність характеристики протягом тривалого часу роботи;



**Рисунок 1.9 –
Диференційна
термопара**

- висока жаростійкість (окалиностійкість), тобто здатність працювати в умовах підвищених температур без окислювання термопарних проводів;
- висока жароміцність (збереження механічних властивостей при високій температурі);
- хімічна стійкість при роботі в агресивних середовищах, як рідких, так і газоподібних;
- однозначність характеристики в широкому діапазоні температур;
- однорідність термоелектричних властивостей по довжині провідника;
- легкість технологічної обробки матеріалу для одержання термопарного проводу;
- гарні економічні показники.

Нижче приводяться типи термопар, прийнятих у відповідності зі стандартами, застосовуваними в Україні, у Росії й у міжнародній практиці, а також даються їхні основні характеристики.

Платинородій-платинова термопара застосовується для тривалого виміру температур в області від 0 до 1300 °С та короткочасно – до 1600 °С. Градувальне позначення цих термопар - ПП. Платинородій-платинові термопари (ПП) відносяться до числа кращих термоелектричних термометрів по точності і відтворюваності термо-ЕРС, тому вони застосовуються в основному в якості еталонних і зразкових термометрів. У цій функції вони розділяються на наступні три різновиди: еталонні (ТПП - Е), зразкові (ТПП - О), робочі підвищеної точності (ТПП - РПТ) і технічні (ТПП).

Платинородій-платинородієві термопари одержали велике поширення в промисловості й у лабораторній практиці для тривалого виміру високих температур від 300 до 1600 °С та короткочасно – до 1800 °С. Позитивний електрод - сплав з 30 % родію і 70 % платини, а негативний - з 6 % родію і 94 % платини. Градувальне позначення цих термопар - ПР 30/6 (цифри вказують зміст родію в одному і другому термоелектродному проводі).

Хромель-копелеві термопари широко застосовуються для виміру температур різних середовищ у межах від - 50 до 600°С. Градувальне позначення цих термопар ХК. Термопари типу ХК можуть експлуатуватися як в окисній так і у відбудовній атмосфері у зазначеному діапазоні виміру температур і застосовуються для виміру температури продуктів згоряння в димовідвідних трактах печей, для контролю температури різних деталей, що працюють в умовах підвищених температур і в інших областях.

Хромель-алюмелеві термопари з градувальною характеристикою ХА застосовуються для виміру температур від -200 до 1100 °С. Термопари типу ХА застосовуються для виміру температури в робочому просторі теплових агрегатів (печей, котлів і ін.), температури газових середовищ, пара і рідини.

Вольфрам-ренієві термопари з градувальною характеристикою ВР застосовуються порівняно рідко і призначені для тривалого виміру температур від 0 до 2200 °С, короткочасно - до 2500 °С. Вони можуть бути використані для виміру температури у вакуумі, у нейтральному чи відбудовному середовищі.

1.2.4 Конструктивне виконання термопар

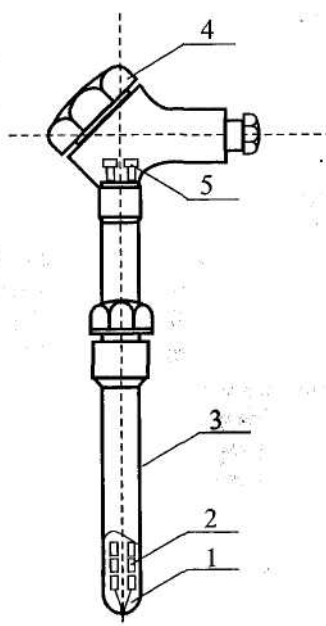
Конструктивне виконання термопар залежить від величини вимірюваної температури, від фізичних, хімічних властивостей вимірюваного середовища і його стану (твердого, рідкого, газоподібного), від мети виміру й ін.

Однак, існують загальні вимоги, яким повинні задовольняти різні конструктивні елементи самої термопари:

- спай термопар (робочий кінець) повинний забезпечувати гарний контакт між двома термоелектродами термопар;
- термоелектроди по всій довжині повинні бути добре ізольовані друг від друга з використанням керамічної (Al_2O_3 , Si_2 , Mg) чи іншої ізоляції, що була б інертна до термоелектродних проводів при високій температурі;
- термопара разом з ізоляцією повинна бути поміщена в захисну газонепроникнену гільзу, виконану з жаротривкої сталі при вимірі високих і середніх температур чи із щільного картону для одноразових термопар при вимірі температури рідких металевих розплавів (сталі, чавуна й ін.);
- спай робочого кінця повинний мати гарний тепловий контакт із нижньою частиною захисної гільзи (чохла) для зменшення інерційності термопар. Стандартні термопары мають наступні значення теплової інерції: малоінерційне - 5 с, середньої інерційності - до 60 с, великої інерційності - до 180 с.
- конструкція лабораторних термопар (підвищеної точності) повинна забезпечувати можливість термостатування вільних кінців.

В даний час найбільш раціональними і такими, що зарекомендували себе при тривалій експлуатації в промисловості, є стандартні термопары (термоелектричні термометри) (*рисунок 1.10*).

Для захисту від механічних ушкоджень і впливів середовища, температура якогось вимірюється, термопарні проводи (термоелектроди), ізольовані один від одного вогнетривкою керамікою 2, містяться в спеціальну захисну арматуру. Термоелектроди розташовані так, що їхній спай 1 торкається захисного чохла 3. На кінці захисного чохла кріпиться голівка термопары 4. У голівці розташовані затиски 5 для з'єднання термоелектродів з вимірювальним приладом. Захисні чохла виготовляються найчастіше з різних марок сталі для температур до 1000 °С. При більш високих температурах застосовують спеціальні чохла з тугоплавких з'єднань.



**Рисунок 1.10 –
Конструктивне виконання
одного із видів термопар**

Контрольні питання до теми 1.2

1.2.1 Що називають «термометром»?

1.2.2 Перелічите типи засобів вимірів.

1.2.3 Які види термометрів відносяться до термометрів розширення?

1.2.4 Дайте характеристику рідинним термометрам.

1.2.5 На чому заснований принцип дії манометричного термометра?

1.2.6 Які прилади відносяться до термоелектричних термометрів?

1.2.7 Дайте визначення поняттю «термопара».

1.2.8 Які вимоги пред'являються до матеріалів з яких виготовляються термопари?

1.2.9 Яким вимогам повинні задовольняти різні конструктивні елементи самої термопари?

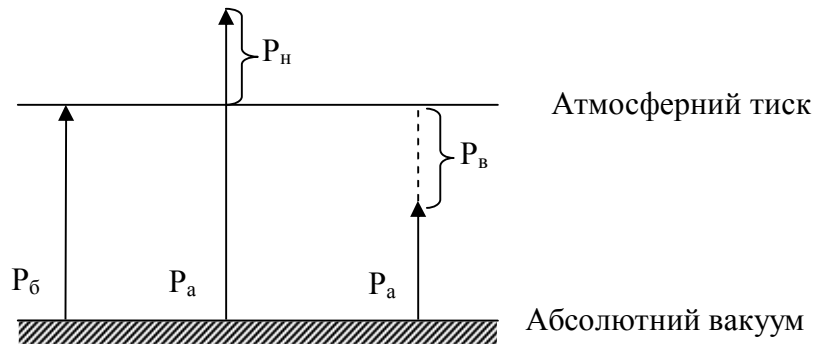
Розділ 2

ВИМІРЮВАННЯ ТИСКУ РІДКИХ І ГАЗОВИХ СЕРЕДОВИЩ

Тема 2.1 Загальні відомості про види тисків

У багатьох галузях промисловості, а також у наукових дослідженнях необхідно вимірювати тиск, що створюється газовими й рідкими середовищами на огорожувальних поверхнях (резервуари, труби, канали й т.ін.)

При вимірах розрізняють абсолютний P_a , надлишковий P_n , вакуумний P_v і барометричний P_b тиск (*рисунок 2.1*).



а б в

а — барометричний (атмосферний) тиск;

б — абсолютний тиск, $P_a > P_b$;

в — абсолютний тиск, $P_a < P_b$.

Рисунок 2.1 - Відношення тисків

Під абсолютним тиском розуміють повний тиск, під яким перебуває рідина або газ при відліку від абсолютного вакууму.

Абсолютний тиск може бути більшим (**б**) або меншим (**в**) атмосферного. На практиці частіше вимірюється й використовується надлишковий тиск P_n , що дорівнює:

$$P_H = P_a - P_{\text{б}}, \quad (2.1)$$

якщо абсолютний тиск більше атмосферного, і вакууметричний тиск

$$P_B = P_{\text{б}} - P_a, \quad (2.2)$$

якщо абсолютний тиск менше атмосферного.

Прилади для виміру тиску, розрідження або різниці тисків **називаються манометрами**.

Вони діляться на:

- барометри, які вимірюють атмосферний тиск;
- манометри надлишкового тиску або просто манометри;
- напороміри, які вимірюють невеликий надлишковий тиск, приблизно від 0 до + 40 кПа;
- тягоміри, які вимірюють розрідження, приблизно від 0 до -40 кПа;
- тягонапороміри, які вимірюють як позитивні, так і негативні тиски й мають двосторонню шкалу з межами від -20 до + 20 кПа;
- манометри абсолютного тиску, які вимірюють тільки значення абсолютного значення;
- диференціальні манометри, які вимірюють різницю тисків.

Одиницею виміру тиску в системі СІ є Паскаль (Па).

На практиці допускається застосування внесистемних одиниць, таких як:

$$1 \text{ мм. вод. ст.} = 9,8 \text{ Па}$$

$$1 \text{ мм. рт. ст.} = 133,3 \text{ Па}$$

$$1 \text{ кг/см}^2 \text{ (1 техн. атмосфера)} = 0,98066 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

Залежно від принципу виміру тиску всі прилади можна розділити на три групи:

- ❖ рідинні, у них вимірюваний тиск урівноважується тиском стовпа рідини;
- ❖ деформаційні (пружинні), у них вимірюваний тиск визначається по величині деформації різних пружин чутливих елементів;

- ❖ електричні, принцип дії яких заснований на перетворенні тиску в яку-небудь електричну величину або на зміні електричних властивостей матеріалів під дією тиску;
- ❖ грузопоршньові, у яких вимірюваний тиск урівноважується тиском, що створюється масою поршня й вантажу.

Контрольні питання до теми 2.1

2.1.1 Що розуміють під абсолютним тиском?

2.1.2 Які прилади називають манометрами?

2.1.3 На які види діляться манометри?

2.1.4 Залежно від принципу виміру тиску, на які групи можна розділити прилади для виміру тиску?

Тема 2.2 Прилади, які використовуються для вимірювання тисків

2.2.1 Рідинні манометри

У рідинних манометрах мірою виміру тиску є висота неврівноваженої частини стовпа рідини в сполучених посудинах. Найпростіший рідинний манометричний прилад складається з U-образної скляної трубки й прямолінійної шкали з найменшою ціною розподілу 1 мм (*рисунок 2.2*).

Обидва кінці трубки заповнені рідиною приблизно до половини своєї висоти. Як робоча рідина використовується вода й ртуть, звідки відповідно тиск вимірюється в міліметрах водяного або в міліметрах ртутного стовпчика.

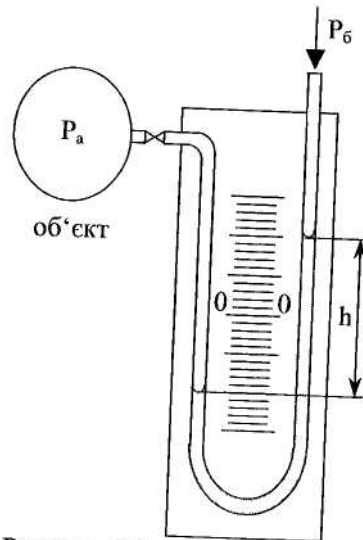


Рисунок 2.2 – Вимір надлишкового тиску U-образним манометром

При вимірі тиску один кінець трубки підключається до об'єкта, інший сполучується з атмосферою.

Стовп рідини h урівноважує різниця тисків:

$$P_a - P_6 = \rho \cdot g \cdot h; \quad h = \frac{1}{\rho \cdot g} \cdot (P_a - P_6), \quad (2.3)$$

де P_a – абсолютний тиск газового (рідкого) середовища в об'єкті, Па;

P_6 – атмосферний тиск у момент виміру, Па;

ρ – густина робочої рідини, кг/м^3 ;

g – прискорення сили ваги, м/с^2 .

Якщо густина середовища (рідини або газу) в об'єкті помітно відрізняється від густини робочої рідини, що заповнює U-образну трубку, то вираз (2.3) прийме наступний вид:

$$h = \frac{1}{g \cdot (\rho_1 - \rho_2)} \cdot (P_a - P_6), \quad (2.4)$$

де ρ_1 – густина робочої рідини, кг/м^3 ;

ρ_2 – густина середовища в об'єкті, кг/м^3 .

Найбільша абсолютна похибка виміру тиску h U-образним манометром становить близько 2 мм, що пов'язане з неточністю зчитування (фіксації) рівня рідкого середовища у двох трубках манометра через наявність меніска (увігнутого при водяному заповненні й опуклого при ртутному заповненні). Для зменшення впливу капілярних сил у манометрах використовують скляні трубки діаметром від 8 до 10 мм.

Для збільшення точності відліку висоти стовпа робочої рідини використовують чашкові однострубні манометри (*рисунок 2.3*), у яких одна трубка замінена широкою посудиною, діаметр якої в кілька разів більше діаметра трубки. При вимірі надлишкового тиску широка посудина з'єднується з об'єктом, а кінець з'єднується з атмосферою, при цьому рівень рідини в трубці піднімається, а в широкій посудині опускається.

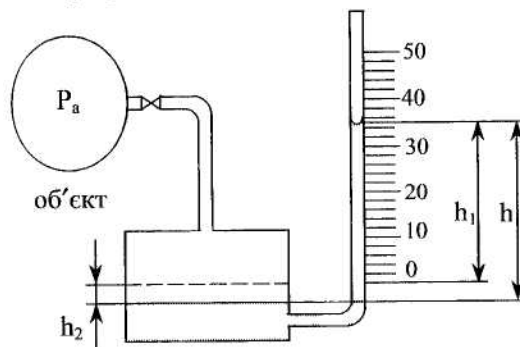


Рисунок 2.3– Чашковий манометр

При вимірі вакууметричного тиску трубка з'єднується з об'єктом, а широка посудина з атмосферою. При цьому рідина у вимірюваній трубці буде підніматися доти, поки вага стовпа рідини не зрівноважить різниця між атмосферним тиском і вакуумом контрольованого середовища.

У цьому пристрої точний тиск або розрідження буде визначатися як сума висот опускання рідини h_2 і підйоми h_1 :

$$h = h_1 + h_2 . \quad (2.5)$$

Однак, на практиці, через несуттєве опускання рідини в широкій посудині h_2 , тиск визначається тільки по величині h_1 .

Мінімальний діапазон виміру чашкового манометра з рідинним заповненням становить 1,6 кПа, при цьому відносна наведена похибка виміру не перевищує $\pm 1\%$.

Для виміру малих тисків і розріджень (± 2500 Па), а також для підвищення точності виміру застосовують чашкові манометри з похилою трубкою (**рисунок 2.4**), показання яких визначаються по довжині розтікання робочої рідини в похилій трубці манометра. Такі прилади одержали назву **мікроманометри** й застосовуються як у лабораторній практиці так й у промислових умовах при вимірі тиску й розрідження в топковому просторі, а також тяги в димових трактах теплових агрегатів.

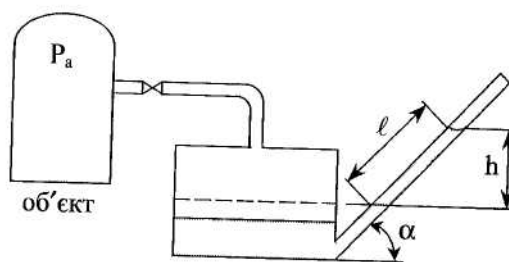


Рисунок 2.4 – Манометр з похилою трубкою

Похиле положення трубки підвищує точність виміру. При цьому вимірюваний тиск у мм. вод. ст. при водяному заповненні визначається по формулі:

$$h = l \cdot \sin \alpha. \quad (2.6)$$

Частіше, як робочу рідину в мікроманометрах використовують етиловий спирт. При вимірі у формулу (2.6) уводять виправлення на густину спирту:

$$h = \frac{\rho_1}{\rho_2} \cdot l \cdot \sin \alpha, \quad (2.7)$$

де ρ_1 – густина спирту, кг/м^3 ;

ρ_2 – густина води, кг/м^3 .

НЕДОЛІКАМИ рідинних манометрів є відсутність дистанційної передачі показів і порівняно невелика межа вимірів. Тому рідинні прилади як стаціонарні в промисловості використовуються рідко. Вони широко використовуються в лабораторній практиці, у промисловості при епізодичних вимірах і при перевірці інших приладів завдяки високій точності виміру.

2.2.2 Деформаційні манометри

У деформаційних манометрах мірою вимірюваного тиску або розрідження служить величина деформації пружних чутливих елементів у вигляді їх лінійних або кутових переміщень.

Як пружні елементи в приладах тиску найчастіше використовують (*рисунок 2.5*) плоскі мембрани (*а*), гофровані мембрани (*б*), коробчасті гофровані мембрани (*в*), сильфони (*г*), сильфони із циліндричною пружиною (*д*) і трубчасті пружини (*е*) і ін.

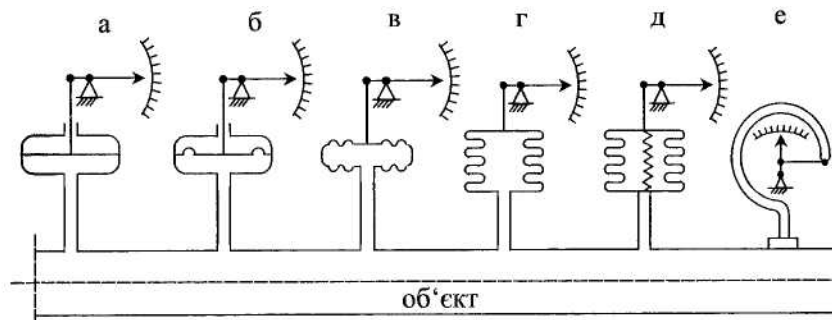


Рисунок 2.5 – Пружні чуттєві елементи

Для виготовлення мембран, сильфонів і трубчастих пружин використовуються матеріали з високою пружністю, антикорозійністю, малою залежністю параметрів від зміни зовнішніх умов і добре піддаються технологічній

обробці, пайці й зварюванню. Наведеним умовам відповідають бронза, латунь і хромопіділеві сплави.

Однієї з основних характеристик пружного чутливого елемента є залежність лінійного (або кутового) переміщення Δl певної його крапки від діючого тиску, тобто $\Delta l = f(p)$.

Для забезпечення надійної роботи пружного чутливого елемента необхідно, щоб розмір напруги, що виникає в матеріалі під дією зовнішніх сил, не перевищував границі пружності.

Внаслідок недосконалості пружних властивостей реальних матеріалів від статичної характеристики $\Delta l = f(p)$ чутливого елемента при збільшенні й зменшенні навантаження в рамках пружних деформацій неоднозначний і створює, **так звану петлю гістерезису**. Розмір гістерезису є однією з важливих характеристик пружного елемента, тому що визначає похибку приладу. На розмір гістерезису впливає хімічний склад, структура матеріалу й значення напруг у матеріалі чутливого елемента.

Гістерезис, а звідси й величина похибки, виражається у відсотках:

$$\delta = \frac{(\Delta l_1 - \Delta l_2)_{\text{макс}}}{\Delta l_{\text{макс}}} \cdot 100, \quad \%, \quad (2.8)$$

де $(\Delta l_1 - \Delta l_2)_{\text{макс}}$ - максимальна різниця між переміщеннями пружинного елемента при прямому й зворотному вимірі;

$\Delta l_{\text{макс}}$ - максимальна величина переміщення пружинного елемента при вимірі максимально припустимого тиску для даного пружинного елемента.

По класі точності манометри підрозділяються на технічні, контрольні й зразкові. Технічні манометри мають класи точності 1,5; 2,5; 4; контрольні - 0,5 й 1,0; зразкові - 0,16 й 0,45.

Плоскі мембрани. Плоска мембрана являє собою тонкостінну мембрану постійної товщини (*рисунк 2.5, а*), затиснуту по краях. Під дією тиску газу або рідини мембрана прогинається й передає переміщення свого центра через піднімальну систему на стрілку показуючого приладу. Перевагою манометрів із

плоскою мембраною є стійкість до вібрацій. Такі манометри застосовуються для виміру тиску не вище 2,5 МПа при похибці від $\pm 2,5$ до ± 4 %.

Гофровані мембрани. Гофрована поверхня мембрани у вигляді кільцевих хвиль (*рисунк 2.5, б*) дозволяє одержати лінійну характеристику й значно підвищити надійність роботи мембрани. Найбільше застосування в приладах тиску (тягомірах, напоромірах, дифманометрах) одержали коробчасті мембрани, утворені двома спаями або звареними по зовнішній кромці гофрованими мембранами. Основна похибка приладу становить $\pm 2,5$ %.

Сильфонні манометри. Сильфон являє собою тонкостінний циліндр, бічна поверхня якого виконана з поперечним гофруванням (*рисунк 2.5, г*). Висота сильфона змінюється пропорційно прикладеному тиску або перепаду тисків, при цьому більше значення створюється над сильфоном, а менше – у середині його. Сильфони застосовуються в напоромірах і тягомірах для виміру невеликого тиску до 25 кПа й розрідження до 100 кПа повітря й неагресивних газів. Для збільшення твердості й зменшення впливу нелінійності характеристики усередині сильфона поміщають дротову циліндричну гвинтову пружину (*рисунк 2.5, д*). Внаслідок цього вимірюваний тиск урівноважується силою пружної деформації сильфона й гвинтової пружини. Основна похибка цих манометрів становить 1,0...2,5 %.

Барометри. Барометри призначені для виміру атмосферного тиску, тобто абсолютного тиску, виробленого газовим шаром планети Земля на земну поверхню. Дія барометра заснована на деформації коробчатої або сильфонної мембрани при вимірі атмосферного тиску (*рисунк 2.5*). Внутрішня порожнина мембран герметична й перебуває під вакуумом.

Трубчасті мембрани. Прилади із трубчастою пружиною належать до числа найпоширеніших манометрів і вакууметрів. Манометри мають чутливий елемент у вигляді зігнутої по колу на кут $\approx 270^\circ$ трубки овального або еліптичного перетину (*рисунк 2.5, е*). Один кінець трубки закритий, а до іншого через спеціальний штуцер підводиться вимірюваний тиск. При підвищенні тиску в середині трубки відбувається деформація перетину в напрямку близькому до круглого перетину, і це викликає появу зусиль, які змушують трубку розгинатися.

Таким чином, величина переміщення кінця трубки служить мірою вимірюваного тиску.

Тонкостінні трубчасті пружини застосовують у приладах для виміру вакууметричного тиску до 0,1 МПа й надлишкового тиску до 6 МПа. Для виміру надлишкового тиску від 20 до 160 МПа використовують товстостінні пружини овального перетину.

На **рисунку 2.6** показана схема електроконтактного манометра.

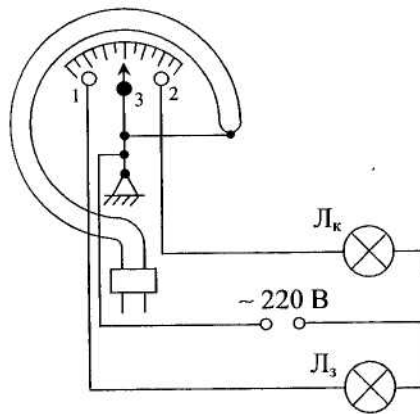


Рисунок 2.6 –Електроконтактний манометр

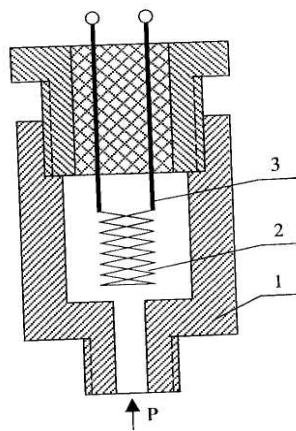
У цьому приладі в якості пружного чутливого елемента використовується одновиткова трубчаста пружина. У середині приладу розташовуються спеціальні електроконтакти 1, 2, 3.

Якщо вимірюваний тиск середовища в об'єкті зменшиться до нижнього заданого рівня, то показуюча стрілка за допомогою контактів 3 й 1 замкне електричний ланцюг і включить лампу L_3 (зеленого кольору). Якщо ж тиск середовища збільшиться до верхнього заданого значення, то стрілка за допомогою контакту 3 замкне контакт 2 і при цьому загориться сигнальна лампа L_k (червоного кольору).

2.2.3 Електричні манометри

При вимірі надвисоких тисків, глибокого вакууму й тиску, що змінюється, з високою частотою, застосовуються тільки електричні манометри, дія яких заснована на перетворенні тиску в будь-яку електричну величину. Розрізняють наступні типи електричних манометрів: електричного опору, п'єзоелектричні, термопарні, іонізаційні, ємнісні.

Конструкція манометра з перетворювачем з манганіну показана на **рисунку 2.7**.



1 – корпус прибору; 2 – манганіновий резистор; 3 – мідний струмовідвід

Рисунок 2.7 – Схема манометру опору

Чутливий елемент манометра являє собою біфілярну котушку 1 з опором 180-200 Ом із дроту діаметром 0,05 мм. Для виміру опору манганінової котушки застосовують автоматичні мости або потенціометри, якщо вимагаються більш точні виміри. Межі основної припустимої похибки приладу не перевищують 1 %. Манометри опору призначені для виміру надвисоких тисків до 3000 МПа.

Контрольні питання до теми 2.2

3.2.1 У чому полягає принцип виміру надлишкового тиску U-образним манометром та чашковим однотрубним манометром?

3.2.2 Який прилад застосовують для виміру малих тисків і розріджень? Дайте характеристику цього приладу.

3.2.3 Перелічіть недоліки рідинних манометрів.

3.2.4 Що служить мірою вимірюваного тиску або розрідження в деформаційних манометрах? Які пружні елементи використовуються в приладах для вимірювання тиску? Приведіть їх характеристики.

3.2.5 У чому полягає принцип дії електроконтактного манометра?

3.2.6 В якому випадку застосовуються електричні манометри?

Розділ 3

ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ ГАЗУ, РІДИНИ І ПАРИ

В усіх галузях промисловості для оперативного контролю, регулювання і керування технологічними процесами необхідно вести постійний облік витрати газоподібних середовищ (пальних газів, кисню, повітря й ін.), рідин (води, рідкого палива, рідких хімічних речовин і ін.), енергетичної і теплофікаційної пари. Точний вимір витрати цих середовищ дозволяє визначати й порівнювати економічну ефективність роботи однотипних агрегатів.

При вимірах, зв'язаних з урахуванням кількості речовини необхідно розрізняти поняття витрата і кількість речовини.

Витрата є ***кількість речовини, що протікає через перетин трубопроводу (чи каналу іншого перетину) в одиницю часу, тобто миттєве значення витрати.*** Відповідно до обраних одиниць може робитися вимір або масової витрати (кг/с, кг/год, т/год), або об'ємної витрати (м³/с, м³/год, л/с).

Кількість є ***загальний обсяг чи маса речовини, що протікає через трубопровід за конкретний інтервал часу (тобто за весь проміжок часу) за годину, добу, місяць, рік і т.д.***

Вимірювальний прилад, що служить для виміру витрати речовини, називається витратоміром, а прилад для виміру кількості речовини - лічильником кількості (лічильником).

Тема 3.1 Витратоміри по перепаду тиску в пристроях, що звужують

Одним з найбільш розповсюджених і широко застосовуваних безупинних методів виміру витрати в промисловості й у лабораторній практиці є метод перемінного перепаду тиску. Він дозволяє вимірювати витрату будь-яких газових, рідких середовищ, а також пари в широкому діапазоні температур, тисків, вологості, складу. Метод виміру витрати по перепаду тиску заснований на залежності перепаду тиску в пристрої, що звужує, який установлено в трубопроводі (чи в каналі іншої форми), від витрати вимірюваного середовища.

При протіканні речовини через пристрій, що звужує, створюється перепад статичного тиску $\Delta P = P_1 - P_2$, що залежить від швидкості потоку i , отже, витрати середовища. Перепад тиску, створюваний пристроєм, що звужує, може служити мірою витрати речовини, що протікає в трубопроводі.

Використання розглянутого методу виміру вимагає виконання наступних умов:

- характер руху потоку до і після пристрою, що звужує, повинний бути турбулентним і стаціонарним;
- потік повинний цілком заповнювати весь перетин трубопроводу;
- фазовий стан потоку не повинний змінюватися при його плинні через пристрій, що звужує;
- у внутрішній порожнині трубопроводу до і після пристрою, що звужує, не утворюються опади й інші види забруднень;
- на поверхнях пристрою, що звужує, не утворюються відкладення, що змінюють його геометрію;

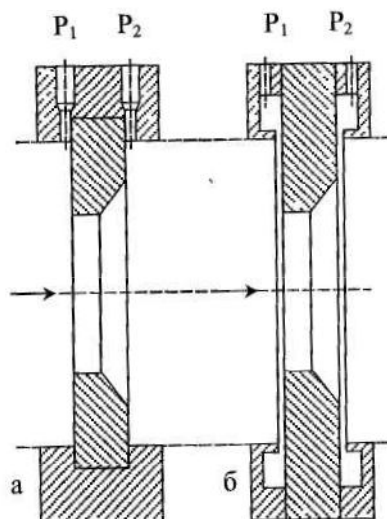
- пара повинна бути перегрітою для виключення конденсації і наближення його властивостей до властивостей газоподібних середовищ.

У якості пристроїв, що звужують, для виміру витрати рідин, газів і пари широко застосовують стандартні діафрагми, сопла і сопла Вентурі. Стандартними називаються пристрої, що звужують, які виготовлені і встановлені у відповідності з керівними нормативними документами, розробленими державною метрологічною службою.

3.1.1 Типи пристроїв, що звужують

На практиці в залежності від конкретних умов вимірів застосовуються різні типи пристроїв, що звужують. Найбільш розповсюдженим типом пристроїв, що звужують, для виміру витрати рідких, газоподібних середовищ і пари є стандартні діафрагми. Діафрагма для трубопроводів діаметром не менш 50 мм (*рисунок 3.1 а, б*) являє собою тонкий диск, затиснутий на фланцях, із круглими концентричними отворами. З боку входу отвір має гостру прямокутну кришку, а вихідна частина отвору розточується на конус під кутом $30-40^{\circ}$. Для великих діаметрів трубопроводів, більш 500 мм, діафрагми виготовляється без конічного розширення.

Добір тиску P_1 і P_2 здійснюється через окремі циліндричні отвори на фланцях діафрагми для трубопроводів діаметром від 450 до 1600 мм. Для трубопроводів <450 мм добір тиску здійснюється за допомогою кільцевих камер. Діафрагми з кільцевими камерами (камерні діафрагми) менш чуттєві до місцевих збурювань і несиметричності потоку, дозволяють вирівнювати тиск і робити більш точний вимір перепаду тиску при менших довжинах прямих ділянок трубопроводу. Недоліком камерних діафрагм є їхня велика товщина (50-60мм), що утрудняє її установку й велику витрату металу на виготовлення при великих діаметрах трубопроводів.



*а – діафрагма з окремими отворами;
б – камерна діафрагма*

Рисунок 3.1 – Типи діафрагм

В окремих випадках, коли необхідно значно зменшити втрати тиску при вимірі витрати, приймають у якості пристроїв, що звужують, сопла і сопла Вентурі.

Нормалізоване сопло (*рисунок 3.2*) являє собою звуження у виді насадки з плавним закругленим профілем з боку входу струменя, що закінчується короткою циліндричною частиною.

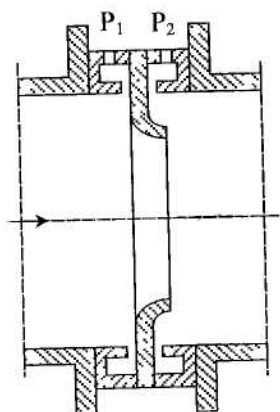


Рисунок 3.2 – Стандартне сопло

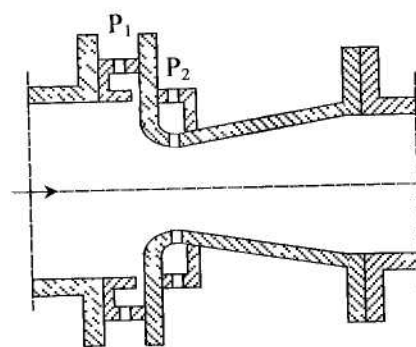


Рисунок 3.3 – Стандартне сопло Вентурі

Торцева частина сопла на вході потоку має циліндричне виточення для запобігання вихідної крайки циліндричної частини сопла від ушкодження. Сопла застосовуються при вимірі витрат газу, перегрітої пари високого тиску й агресивних рідин у трубопроводах діаметром від 50 до 200 мм. Сопло менш чуттєве до забруднення потоку і впливу корозії і дозволяє вимірювати великі витрати з меншою похибкою і вимагає менших довжин прямих ділянок трубопроводів при установці, чим діафрагма.

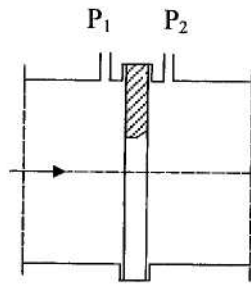
Сопло Вентурі, що має профільовану вхідну частину, складається із циліндричної частини й конічної вихідної частини - дифузора (*рисунок 3.3*).

3.1.2 Особливі випадки виміру витрати

На практиці часто зустрічаються такі випадки, коли необхідно вимірювати витрату грузлих речовин (мазуту, смол, олій, газів з малою густиною) і при малих діаметрах трубопроводів (менше 50 мм). За таких умов режим плин у речовин у трубопроводах характеризується малими числами Рейнольдса, тобто потік слаботурбулентний.

У випадку виміру витрати забруднених середовищ (забруднена рідина, запилений газ) застосовуються сегментні діафрагми. Такі пристрої не є перешкодою для проходу забруднюючих потік домішок і в них не утворюються відкладення поблизу діафрагми.

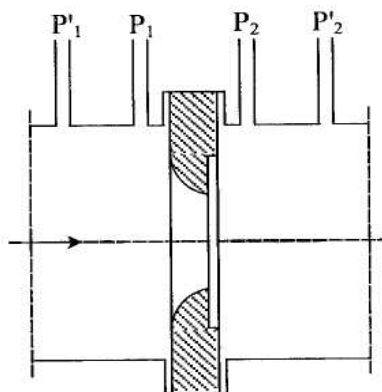
Сегментна діафрагма являє собою тонкий диск, що має отвір у вигляді сегмента (*рисунок 3.4*), що розташовується у верхній частині трубопроводу, якщо необхідно вимірювати газові і рідкі середовища, забруднені твердими частками, і в нижній частині, якщо в рідині знаходяться газові пухирці.



**Рисунок 3.4 –
Сегментна діафрагма**

В обох випадках домішки вільно проходять через отвір і не утворюють відкладень і газових міхурів (мішків) у місці розташування діафрагми. Такі діафрагми застосовуються для діаметрів трубопроводу більше 25 мм і при $Re > 2,5 \cdot 10^4$.

Досвід застосування пристроїв, що звужують, для виміру витрати вугільного пилу в суміші з повітрям на теплових електростанціях показав, що найбільш раціональною конструкцією з погляду точності виміру, чутливості і надійності роботи в запилених потоках є сопло з профілем "чверть кола" (рисунок 3.5).



**Рисунок 3.5 – Сопло з
профілем в чверть круга для
виміру витрати запилених
газових потоків**

Такий пристрій, що звужує, забезпечує вимір окремо витрати повітряного потоку з похибкою, яка не перевищує $+ 2 \%$ і окремо витрати вугільного пилу з похибкою $\pm 2,5 \%$.

Аеродинаміка потоку в його профілюючій частині обумовлює незначний знос вхідних заокруглень, радіус яких допускається зменшити до 30% . У той же час цілком зберігається чистота поверхні вхідної крайки.

Витратоміри з використанням пристроїв, що звужують, різних типів набули широкого застосування через наступні їх **переваги**:

- простота конструкції і надійність одержання первинної інформації про витрату середовища, що рухається;
- універсальність методу, що дозволяє вимірювати витрату будь-яких середовищ (рідких, газоподібних, двофазних) у широкому діапазоні тисків, температур, витрат і діаметрів трубопроводу;
- градуовальна характеристика стандартних пристроїв, що звужують, може бути визначена розрахунковим шляхом, тому відпадає необхідність у зразкових витратомірах;
- можливість використання для різних умов виміру однотипних вторинних приладів — витратомірів.

Однак, пристрої, що звужують, мають **недоліки**, основними з яких є:

- необоротні втрати тиску, тому що пристрої, що звужують, є місцевим аеродинамічним опором;
- нелінійна залежність між витратою і перепадом, що дозволяє вимірювати витрати, що складають менш 30% від верхнього його значення;
- необхідність індивідуального градування пристроїв, що звужують, при малих числах Re чи в трубах $d < 50$ мм;
- відносно висока похибка виміру, що складає від $1,5$ до $3,0 \%$;
- обмежена швидкодія через кінцеву й недостатню швидкість проходження сигналу від пристрою, що звужує, до витратоміра, що

реєструє (включаючи інерційність і самого витратоміра), що створює труднощі при вимірі витрат, що швидко змінюються.

Контрольні питання до теми 3.1

3.1.1 Дайте визначення таким поняттям, як витрата та кількість.

3.1.2. Які прилади називають витратомірами, а які лічильниками кількості?

Дайте визначення обох параметрів.

3.1.3 Приведіть характеристику методу перемінного перепаду тиску для визначення витрати.

3.1.4 Які треба виконати умови при використанні методу перемінного перепаду тиску для вимірювання витрати?

3.1.5 Які звужуючі прилади називаються стандартними?

3.1.6 Приведіть характеристику кожного з типів пристроїв, що звужують.

3.1.7 Які застосовуються прилади при особливих випадках виміру витрати?

3.1.8 Приведіть переваги та недоліки витратомірів з використанням пристроїв, що звужують.

Тема 3.2 Вимір витрати рідин і газів напірними трубками

Напірні трубки (трубки Піто-Прандтля) застосовують для виміру швидкості потоку рідкого чи газоподібного середовища в трубопроводах, а також у відкритих чи закритих каналах. При відомій площі перетину потоку (трубопроводу) F і обмірюваній за допомогою напірної трубки середньої швидкості потоку $\bar{w}$ по всьому перетину можна розрахувати витрату даного середовища по формулі:

$$V = \bar{w} \cdot F \quad (3.1)$$

Вимір швидкості потоку напірними трубками виконується по виміру динамічного тиску (швидкісного напору) P_d , що відповідно до рівняння Бернуллі дорівнює:

$$P_d = \frac{w^2 \cdot \rho}{2} \quad (3.2)$$

де w - швидкість потоку в крапці виміру, м/с;

ρ - щільність середовища, що рухається, у робочих умовах, кг/м³;

P_d - динамічний тиск, створюваний потоком, Па.

У даний час застосовується кілька конструктивних варіантів напірних трубок, пристосованих як для лабораторних, так і для промислових вимірів витрати чи швидкості рідких і газоподібних середовищ.

Найбільше поширення одержали нормалізовані напірні трубки з напівсферичним наконечником (*рисунок 3.6*).

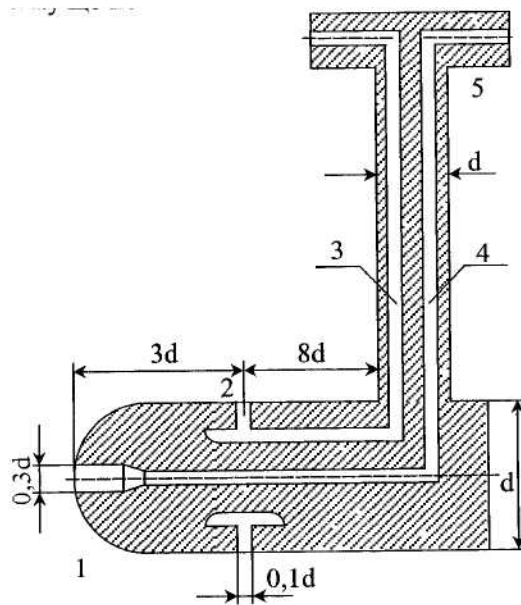


Рисунок 3.6 – Нормалізована напірна трубка

Повний напір сприймається центральним отвором у голівці, спрямованим назустріч потоку, а статичний тиск – через ряд отворів, розташованих по окружності на бічній поверхні корпуса трубки 2. Тиски з точок виміру

відбираються за допомогою тонких трубочок 3 і 4 та виводяться усередині корпусу тримача до сполучних штуцерів 5. Перевагою трубки з напівсферичною голівкою є її мала чутливість до напрямку потоку, що набігає. Відхилення трубки від осі потоку на кут до 16° практично не позначається на результатах виміру, тому що повний і статичний тиск змінюються однаково.

При вимірі витрати (швидкості) нормалізованими напірними трубками виникає похибка, обумовлена неточністю виготовлення самої трубки.

Напірні трубки для виміру витрати різних середовищ одержали поширення в промисловості, особливо в тих випадках, коли інші методи неефективні. Так, наприклад, у теплоенергетиці на котлах великої потужності для виміру витрати середовища в екранних трубах при проведенні теплогідравлічних іспитів одержала поширення напірна трубка конструкції ВТІ (*рисунок 3.7*). Трубка має два скошених отвори, один з яких сприймає повний тиск P_p , інший - статичний $P_{ст}$. Такі трубки зручні для виміру витрати середовища в трубах поверхонь нагрівання котлів (діаметр труб складає 20 - 30 мм), завдяки простоті конструкції і малому гідравлічному опору.

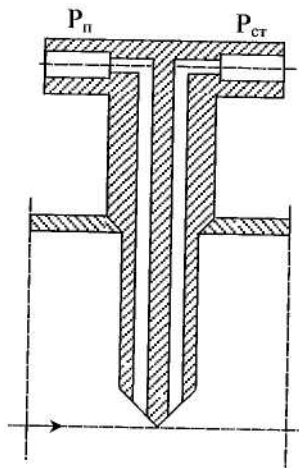


Рисунок 3.7 – Напірна трубка для виміру витрати в трубах малого діаметра

Контрольні питання до теми 3.2

3.2.1 Вимір витрати рідини і газів напірними трубками.

3.2.2 Які конструктивні варіанти напірних трубок ви знаєте? Наведіть їх характеристики.

Розділ 4

ВИМІРЮВАННЯ РІВНІВ РІДИНИ ТА СИПУЧИХ МАТЕРІАЛІВ

Тема 4.1 Вимірювання рівня рідини

При проведенні багатьох технологічних процесів використовуються ємності, заповнені рідким середовищем: баки-сепаратори на парових котлах, водяні акумулятори, ємності з рідким паливом, ємності з хімічними реактивами й ін. Таким чином, прилади - рівнеміри в залежності від призначення можуть виконувати різні функції: використання в системах автоматики для стабілізації значення рівня рідкого середовища в заданих межах, вимір за рівнем кількості рідини в резервуарі, сигналізація граничних відхилень рівня від заданого значення.

На практиці при виборі того чи іншого методу визначення рівня необхідно враховувати різні умови виміру: агресивність рідкого середовища, різні фізичні і хімічні параметри рідини (температура, тиск, в'язкість, густина, електропровідність і інші параметри), відкриті чи закриті резервуари, вимоги точності виміру й інші. У зв'язку з цим застосовуються наступні методи виміру рівня рідких середовищ у резервуарах:

- ❖ візуальні;
- ❖ гідростатичні;
- ❖ буйові, поплавкові;
- ❖ ємнісні;

- ❖ індуктивні;
- ❖ радіоізотопні;
- ❖ радіохвильові;
- ❖ акустичні;
- ❖ термокондуктометричні.

4.1.1 Візуальні рівнеміри

У візуальних рівнемірах використовується принцип сполучених посудин. Скляна трубка з нанесеними розподілами одним кінцем з'єднується з рідиною, а іншим - з газовим середовищем резервуара, у якому вимірюється рівень рідкого середовища візуальним способом (*рисунок 4.1*).

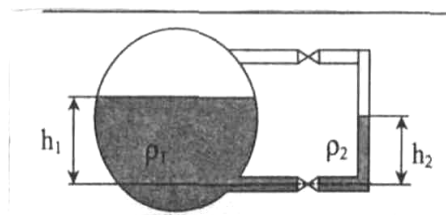


Рисунок 4.1 – Схема візуального рівнеміра

Похибка виміру в таких рівнемірах може виникати через різницю густини рідини в резервуарі й у вказівній скляній трубці. Розходження густини може бути обумовлене різними температурами рідин у резервуарі і трубці. Абсолютна погрішність виміру рівня може бути обчислена по формулі:

$$\Delta h = h_1 - h_2. \quad (4.1)$$

Використовуючи формулу гідростатичного тиску для сполучених посудин, можна записати:

$$\rho_1 \cdot g \cdot h_1 = \rho_2 \cdot g \cdot h_2 \text{ чи } \rho_1 \cdot h_1 = \rho_2 \cdot h_2. \quad (4.2)$$

Звідси погрішність виміру визначиться:

$$\Delta h = h_1 \cdot \left[1 - \frac{\rho_1}{\rho_2} \right]. \quad (4.3)$$

Дійсне значення рівня рідини в резервуарі можна визначити наступним чином:

$$h_1 = h_2 \cdot \frac{\rho_2}{\rho_1}. \quad (4.4)$$

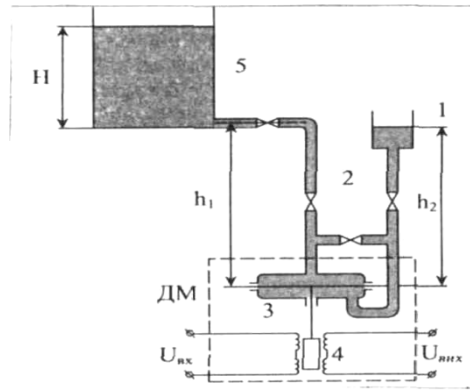
Як видно з рівняння (4.3) і (4.4), погрішність виміру Δh і дійсне значення h_1 можна визначити при відомих температурах рідини в резервуарі t_1 і в скляній трубці t_2 , по яких знаходяться густини ρ_1 і ρ_2 по довідковим даним. З метою зменшення погрішності звичайно виконується або теплова ізоляція рівнеміра, або продувка його рідиною з резервуара перед відліком.

4.1.2 Гідростатичні рівнеміри

У гідростатичних рівнемірах вимір рівня рідкого середовища проводиться по величині гідростатичного тиску, створюваного стовпом рідини H , що знаходиться в об'єкті виміру (відкритому і закритому резервуарі, барабані котла, акумуляторах тепла, конденсаторах турбіни й ін.), тобто:

$$P = \rho \cdot g \cdot h. \quad (4.5)$$

Найчастіше для виміру тиску P стовпа рідини застосовуються дифманометри з електричним вихідним сигналом. Схема підключення дифманометра до відкритого резервуара, що знаходиться під атмосферним тиском, показана на *рисунку 4.2*.



1 – зрівняльна судина; 2 – імпульсні трубки;
3 – пружинний елемент дифманометра;
4 – електричний перетворювач;
5 – резервуар; ДМ – дифманометр

**Рисунок 4.2 – Схема
гідростатичного рівнеміра**

Чуттєвим елементом у гідростатичному рівнемірі є пружини дифманометра з плоскою мембраною 3. Манометр зв'язаний з резервуаром 5 і зрівняльною судиною 1 двома імпульсними трубками 2, заповненими водою (чи іншою рідиною). Стовп рідини h_2 у зрівняльній лінії підтримується постійним. Дифманометр вимірює різницю тисків, що діють на його чуттєвий елемент у лівій і правій імпульсних трубках, тобто:

$$\Delta P = P_1 - P_2 = (H + h_1) \cdot \rho_1 \cdot g - h_2 \cdot \rho_2 \cdot g. \quad (4.6)$$

Якщо густини ρ_1 і ρ_2 рідини в обох імпульсних трубках однакові і якщо $h_1 = h_2$, то:

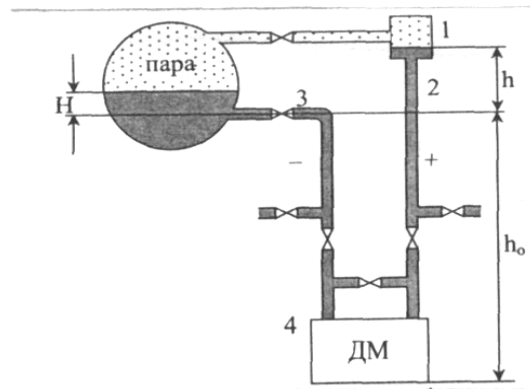
$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot H.$$

З формули (4.6) видно, що показання рівнеміра будуть змінюватися при зміні густини рідини, що знаходиться в резервуарі й в імпульсних трубках. Для виключення цієї погрішності імпульсні трубки прокладаються близько друг від друга.

Коливання рівня рідини в резервуарі H змінює тиск ΔP на плоску мембрану дифманометра, від прогину якої переміщається сердечник диференційно-трансформаторного перетворювача.

Гідростатичні рівнеміри одержали найбільш широке поширення для виміру рівня води в барабанах парових котлів. Робота такого барабана відрізняється такими особливостями: високим тиском і температурою води і пари, інтенсивним виділенням пари з води, значною зміною густини води і пари при коливаннях тиску і температури під час несталих режимів і в процесі пуску котла.

Найпростішою схемою виміру рівня води (рідини) у барабані котла (у резервуарі під тиском) є схема з використанням однокамерної зрівняльної судини (рисунк 4.3).



1 – зрівняльна судина; 2 – права імпульсна трубка; 3 – ліва імпульсна трубка; 4 – дифманометр (ДМ)

Рисунок 4.3 – Схема рівнеміра з однокамерною зрівняльною судиною

Зрівняльна судина 1 приєднується до парового простору барабана, а імпульсна трубка 3 підключається безпосередньо до водяного простору барабана.

Перепад тиску ΔP , вимірюваний дифманометром 4, визначається різницею тисків, створюваних у лівій (мінусової) імпульсній трубці P_1 і правій (плюсової) зрівняльної лінії P_2 , що відповідно дорівнюють:

$$P_1 = (h - H) \cdot \rho_{\text{п}} \cdot g + H \cdot \rho_{\text{р}} \cdot g + h_0 \cdot \rho_1 \cdot g - \text{тиск у лівій трубці};$$

$$P_2 = (h + h_0) \cdot \rho_2 \cdot g - \text{тиск у правій трубці};$$

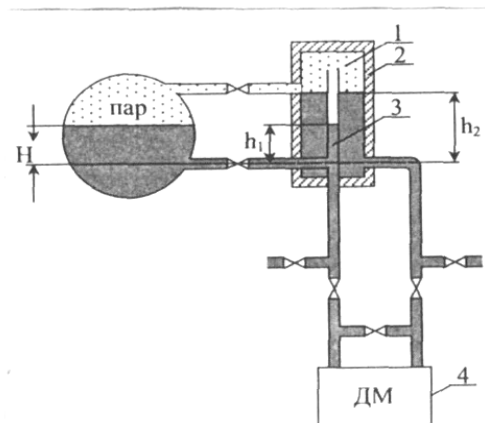
де $\rho_{\text{п}}$ - густина пари;

$\rho_{\text{р}}$ - густина води в барабані;

ρ_1 - густина води в лівій трубці;

ρ_2 - густина води в правій трубці.

На практиці для визначення дійсного значення рівня води в барабані котельної установки застосовують розрахункові таблиці чи графіки, по яких вводиться виправлення в показання дифманометра на температуру і тиск пароводяного середовища в барабані, а також на температур навколишнього середовища. Рівнеміри з однокамерними зрівняльними судинами застосовуються на котлах з номінальним тиском пари до 4,5 МПа. При великих тисках використовуються рівнеміри з двокамерною зрівняльною судиною. У цих рівнемірах для зменшення впливу температур навколишнього середовища і води в барабані на показання дифманометра використовується двокамерна зрівняльна судина (*рисунок 4.4*).



1 – зрівняльна судина; 2 – теплова ізоляція; 3 – внутрішня трубка; 4 – дифманометр (ДМ)

Рисунок 4.4 – Схема рівнеміра з двокамерною зрівняльною судиною

Зовнішня поверхня зрівняльної судини 1 покрита тепловою ізоляцією 2 для того, щоб густина води в ньому і у внутрішній трубці 3, з'єднаною з водяним простором барабана, дорівнювала густині води в барабані. Така конструкція рівнеміра дозволяє мати однакові рівні води в барабані H і у внутрішній трубці h_1

, тобто $H = h_1$.

Для такої схеми рівняння для перепаду тиску ΔP , що діє на дифманометр 4, має вигляд:

$$\Delta P = h_2 \cdot \rho_v \cdot g - [h_1 \cdot \rho_v \cdot g + (h_2 - h_1) \cdot \rho_{\pi} \cdot g] = (h_2 - h_1) \cdot (\rho_v - \rho_{\pi}), \quad (4.7)$$

де ρ_v , ρ_{π} - густина води і пари в барабані.

Як видно з приведенного рівняння (4.7), навіть при використанні двокамерної зрівняльної судини показання рівнеміра залежать від різниці густин води і пари $\rho_v - \rho_{\pi}$, що може мінятися при зміні режиму роботи агрегату.

4.1.3 Поплавкові і буйкові рівнеміри

У поплавкових рівнемірах вимір рівня виконується по положенню поплавця, що переміщається вертикально разом з рівнем рідини.

Найбільше поширенні одержали рівнеміри з механічним зв'язком поплавця з вимірювальним пристроєм. Про рівень у цьому випадку судять про положення прикріпленого до противаги покажчика, з'єднаного з поплавцем за допомогою троса, перекинутого через блок (*рисунок 4.5*).

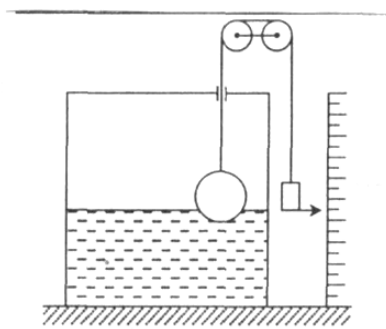


Рисунок 4.5 – Схема поплавкового рівнеміра

Для дистанційного виміру рівня рідини можна застосовувати котушку індуктивності, усередині якої переміщається сердечник, прикріплений до троса. Вихідним сигналом є індуктивність котушки, сердечник якої через трос зв'язаний

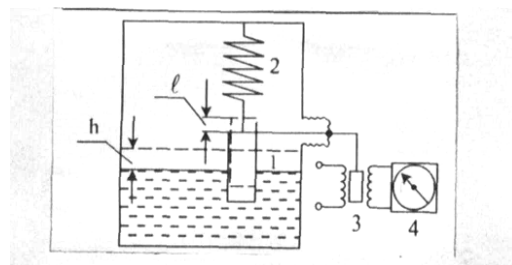
з положенням поплавця, тобто зі значенням рівня.

Точність виміру рівня залежить в основному від сталості густини рідкого середовища, що знаходиться в резервуарі. При коливаннях величини густини (наприклад, через зміну температури, складу й інших характеристик середовища) змінюється величина заглибленої частини поплавця. Зменшення погрішності через коливання густини рідини може бути досягнуто або збільшенням діаметра поплавця, або зменшенням ваги поплавця.

Поплавкові рівнеміри мають визначені переваги: простота конструкції, великий діапазон виміру (до 12 м), досить висока точність (погрішність не більше 2 %), можливість виміру рівня агресивних і в'язких середовищ, широкий температурний діапазон виміру (при невеликих коливаннях конкретної температури). **Недоліками цього способу виміру рівня є** наявність поплавця в резервуарі і труднощі виміру рівня в резервуарах під тиском.

Для виміру рівня рідких середовищ у резервуарах, що знаходяться під надлишковим чи вакууметричним тиском, знаходять широке застосування буйкові рівнеміри з дистанційною передачею даних на щит контролю і регулювання технологічним процесом.

Як чуттєвий елемент у таких рівнемірах використовується масивне тіло (наприклад, циліндр) - буй 1, підвішений вертикально у середині судини і частково занурене в рідке середовище (*рисунок 4.6*).



1 — буй; 2 — пружина;
3 — індукційний перетворювач;
4 — вимірювальний прилад

Рисунок 4.6 – Схема буйкового рівнеміра

Буй закріплений на пружинній підвісці, що діє на буй з визначеним зусиллям. При збільшенні рівня рідини на величину h від нульового положення відразу ж виникає сила, що виштовхує, що піднімає буй на величину l , яка буде менше h , тому що густина буя більше густини рідини. При підйомі буя відбудеться стиск пружини на величину l і вся система прийде в новий стан рівноваги.

Буйкові рівнеміри дозволяють вимірювати рівень в резервуарах з температурою рідини до 400°C , що знаходиться під тиском до 10 МПа. Рівнеміри, що випускаються, які мають клас точності 1 і 1,5, виготовляються з різними розмірами буя, що дозволяють вимірювати рівень у широких межах від 0-0,04 до 0-16 м.

Контрольні питання до теми 4.1

4.1.1 Які існують методи виміру рівня рідких середовищ?

4.1.2 Поясніть принцип дії візуальних рівнемірів.

4.1.3 Поясніть принцип дії гідростатичних рівнемірів.

4.1.4 За допомогою якого рівнеміра відбувається вимір рівня води в барабані котла? Приведіть його характеристику.

4.1.5 На чому заснований принцип дії поплавкових та буйкових рівнемірів?

Тема 4.2 Акустичні рівнеміри

В акустичних рівнемірах використовуються ультразвукові коливання, що поширюються в газовому чи рідкому середовищі, і в залежності від способу використання цих коливань вони поділяються на **локаційні, поглинання і резонансні**.

У локаційних рівнемірах використовується ефект відбиття ультразвукових коливань від границі розподілу рідина-газ. Положення рівня

визначається за часом проходження ультразвукових коливань від джерела до приймача після відображення їх від поверхні розподілу.

У рівнемірах поглинання положення рівня визначається по ослабленню інтенсивності ультразвуку при проходженні через шар рідини чи газу.

У резонансних рівнемірах вимір рівня проводиться за допомогою виміру частоти власних коливань стовпа газу над поверхнею рідини, що залежить від рівня рідини.

Найбільше поширення одержали локаційні рівнеміри. У цих приладах ультразвук пропускають або зверху, через газове середовище (такі рівнеміри називають акустичним), або знизу, через шар рідини (такі рівнеміри називають ультразвуковими). **Перевагою акустичних рівнемірів є те**, що на показаннях цих приладів не позначається зміна фізичних і хімічних властивостей рідини. Однак, зміна температури і тиску газового середовища впливає на точність виміру рівня, **що є недоліком акустичних рівнемірів**. Тому такі рівнеміри використовуються для рідин, що мають температур не більше 80°C і тиск не більше 4 МПа.

Спрощена схема акустичного рівнеміра представлена на **рисунку 4.7**, у якому джерелом (Д) і одночасно приймачем (П) відбитих ультразвукових коливань є п'єзоелемент.

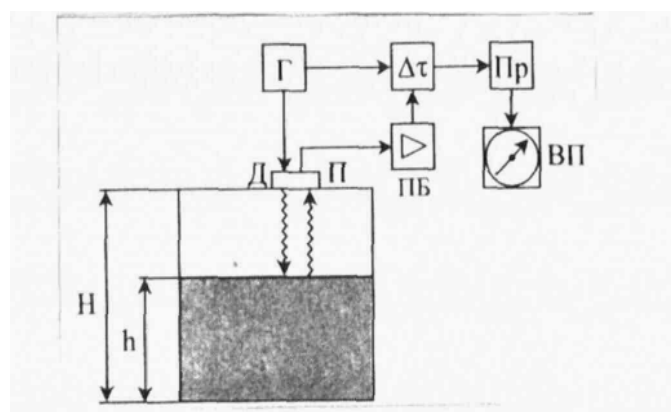


Рисунок 4.7 – Схема акустичного рівнеміра

Генератор (Г) високочастотних електричних імпульсів збуджує в п'єзоелементі ультразвукові коливання, що відбиваються від поверхні води і

повертаються назад на п'єзоелемент. Одночасно генератор включає схему виміру часу ($\Delta \tau$), на який надходить посилений блоком (ПБ) сигнал від п'єзоелементу, утворений повернутою ультразвуковою хвилею.

Для зменшення впливу зміни температури газового середовища, що знаходиться над рідиною, мається блок температурної компенсації, що включає в себе термометр опору, розташований біля п'єзоелемента. Використовувані на практиці акустичні рівнеміри мають клас точності 2,5.

Контрольні питання до теми 4.2

4.2.1 На чому заснований принцип дії акустичних рівнемірів?

4.2.2 Приведіть переваги і недоліки акустичних рівнемірів.

Тема 4.3 Вимірювання рівня сипучих матеріалів

Вимір рівня сипучих тіл у бункерах й інших пристроях значно відрізняється від виміру рівня рідин, тому що характер розташування матеріалів в об'єкті не дозволяє казати про його рівень як про горизонтальну поверхню. Велике розмаїття матеріалів, рівень яких необхідно вимірювати в енергетиці й промисловості, вимагає застосування різних методів і конструкцій рівнемірів.

На ТЕС рівнеміри необхідні для виміру рівня кускового (сирого) вугілля й вугільного пилу в бункерах. У промисловості рівнеміри застосовують для виміру рівня шихти, вугілля, різних порошкоподібних матеріалів.

Бункера для кускового й пилоподібного палива на ТЕС у більшості випадків мають форму усіченої піраміди зі спрямованою вниз вершиною. Вони виконуються з армованого бетону або сталі. При висоті бункера 8-10 м шар палива в ньому піддається досить великому горизонтальному стиску, що викликає помітне погіршення його сипучих властивостей. У зв'язку із цим у бункері будь-якої ємності в зоні максимальних тисків можлива поява зависань. Через

можливість цього явища на внутрішній поверхні бункера не повинне бути ніяких виступів, які можуть спотворювати характер руху палива. Для усунення зависання палива в бункері застосовують різні обрушаючі пристрої.

Для автоматизації завантаження бункерів або інших об'єктів необхідно як мінімум забезпечити за допомогою сигналізуючих рівнемірів автоматичний контроль наявності матеріалу в двох перетинах по висоті в нижній частині кожного бункера - для одержання сигналу на включення завантажувальних пристроїв й у верхній частині - для одержання сигналу на відключення завантажувальних пристроїв.

Технічні засоби, призначені для виміру й сигналізації рівня сипучих тіл, підрозділяють на електромеханічні, електронні, пневматичні, радіоактивні й вагарні.

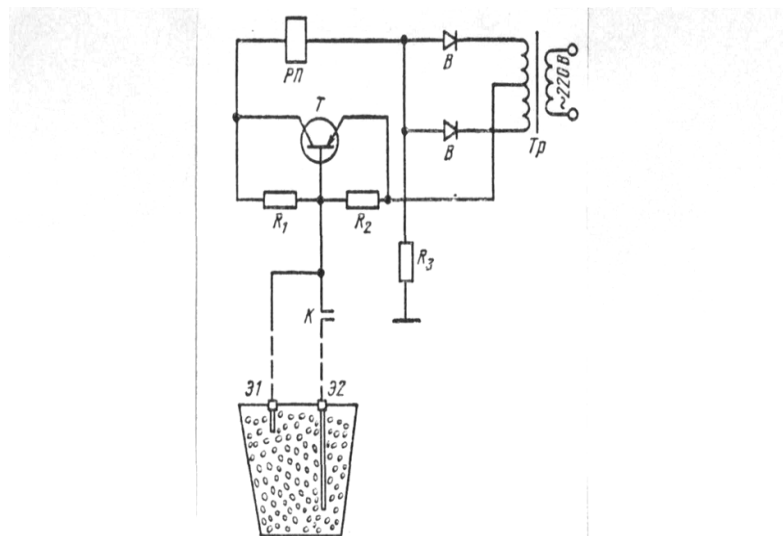
4.3.1 Сигналізатори рівня сипучих матеріалів

У хімічній промисловості знаходять застосування сигналізатори рівня із чутливими перетворювальними елементами, що сприймають тиск сипучих тіл, рівень яких контролюється. До цієї групи електромеханічних пристроїв відносяться сигналізатори рівня *мембранні й маятникові*. У харчовій промисловості застосовуються мембранні сигналізатори рівня.

Досвід експлуатації на ТЕС мембранних сигналізаторів рівня вугільного пилу в бункерах показав, що вони не забезпечують надійний контроль рівня внаслідок утворення на стінках шарів пилу. По цій же причині не можна рекомендувати для контролю рівня вугільного пилу сигналізатори маятникового типу. На *рисунку 4.8* наведена принципова схема електронного сигналізатора рівня вугілля в бункерах.

Резистори R_1 й R_2 утворюють дільник напруги, що подає на базу тріода постійний потенціал, для стабілізації в часі нульового струму колектора. Резистор R_3 установлюється при малому перехідному опорі палива для обмеження керуючого струму бази.

При завантаженні бункера паливом до верхнього рівня електрод $E1$ замикається через шар палива на «землю», тріод відмикається й через обмотку реле РП потече струм. Реле спрацює й включає сигнал про заповнення бункера вугіллям до верхнього рівня. Одночасно при цьому реле замикає контакт K у ланцюга електрода $E2$ нижні рівні. При зниженні рівня палива нижче кінця електрода $E2$ реле відключається й подає сигнал про спорожнювання бункера.



T - тріод напівпровідниковий; $РП$ - обмотка електромагнітного реле, включена в ланцюг колектора; B - випрямляч, що підживлює схему постійною напругою 24 В; $E1, E2$ - електроди відповідно верхнього й нижнього рівня; K - контакти реле $РП$.

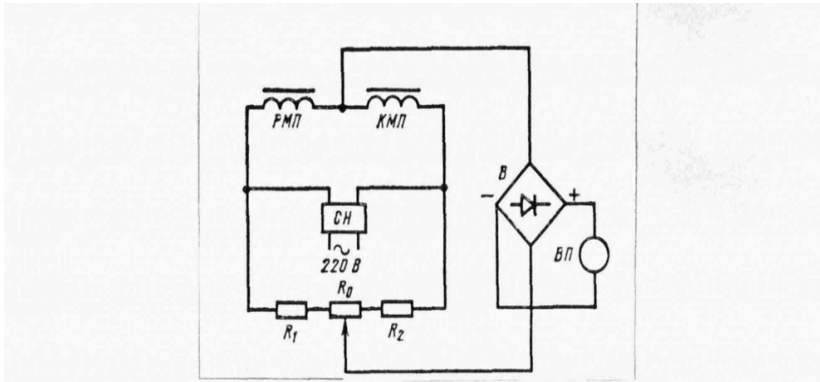
Рисунок 4.8 - Схема сигналізатора рівня вугільного пилу в бункері

4.3.2 Прилади для виміру рівня сипучих тіл

Для безперервного дистанційного виміру рівня сипучих тіл застосовують рівнеміри, які постачаються з вторинними приладами.

У вагових рівнемірах застосовують і більш сучасні магнітопружні перетворювачі, які забезпечують більш високу точність виміру. Для перетворення сили ваги бункера з його матеріалом, що заповнює, в електричний сигнал магнітопружні перетворювачі встановлюються під опорами його. Дія цих

перетворювачів заснована на зміні магнітної проникності сталевієї пластини перетворювача при пружній механічній деформації. Принципова електрична схема вагового рівнеміра для виміру маси матеріалу в бункері з використанням магнітопружних перетворювачів наведена на **рисунку 4.9**.



R_1 й R_2 – постійні резистори плечей моста; РМП – робочий магнітопружний перетворювач; КМП – компенсаційний магнітопружний перетворювач; R_0 – резистор для установки показника вторинного приладу на початкову оцінку; В – випрямляч; ВП – вторинний прилад; СН – стабілізатор напруги

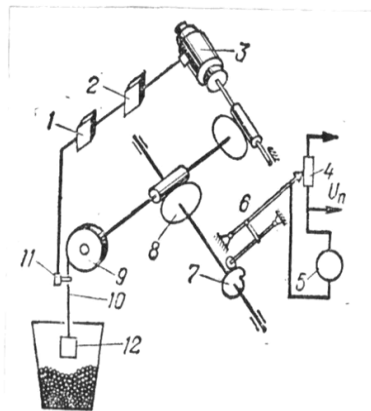
Рисунок 4.9 - Принципова схема вагового рівнеміра з магнітопружними перетворювачами

Внаслідок відсутності необхідних технічних засобів на ряді ТЕС для виміру рівня вугільного пилу в бункерах використовують несерійні електромеханічні рівнеміри. Незважаючи на недоліки цих рівнемірів при подальшому їхньому вдосконаленні й промислового виготовленні вони можуть повністю забезпечити вимір рівня пилу в бункерах на ТЕС й автоматизацію їхнього завантаження.

Як приклад розглянемо один з варіантів електромеханічного рівнеміра, який використовується на ТЕС. Кінематична схема цього рівнеміра наведена на **рисунку 4.10**.

При включенні рівнеміра в роботу електронне реле за допомогою магнітного пускача замикає ланцюг живлення електродвигуна. Вал електродвигуна, кінематично зв'язаний зі шківом, обертає його в напрямку, при якому вантаж опускається.

Як тільки вантаж прийде в зіткнення з вугільним пилом, в електронному реле відбувається перемикання ланцюгів, керуючих магнітним пускачем. Внаслідок цього електронне реле розриває ланцюг живлення першої обмотки магнітного пускача, а отже, і ланцюг живлення електродвигуна. Потім електронне реле замикає ланцюг живлення другої обмотки магнітного пускача, що включає в роботу електродвигун.



1 - електронне реле; 2 - магнітний пускач; 3 - електродвигун колонки дистанційного керування (КДУ-1); 4 - реостатний перетворювач; 5 - вторинний прилад; 6 - важільний механізм; 7 - кулачок; 8 - черв'ячна пара; 9 - шків з ізоляційного матеріалу, закріплений на осі редуктора КДУ замість штурвала для ручного керування; 10 - трос, який намотано на шків, на вільному кінці якого підвішений металевий вантаж; 11 - ковзний контакт; 12 - вантаж

Рисунок 4.10 - Кінематична схема електро механічного рівнеміра

Вал електродвигуна пускає в хід шків, що, обертаючись у зворотному напрямку, піднімає вантаж. Опускання й підйом вантажу здійснюється через кожні 6 хв. Таким чином, цей рівнемір є періодично діючим з певним інтервалом часу.

Контрольні питання до теми 4.3

4.3.1 Як відбувається вимірювання рівня сипучих тіл?

4.3.2 Опишіть принцип дії схеми сигналізатора рівня вугільного пилу в бункері.

ПЕРЕЛІК ОСНОВНОЇ ТА ДОДАТКОВОЇ ЛІТЕРАТУРИ

ОСНОВНА

1. Преображенский П.П. Теплотехнические измерения и приборы — М.: Энергия, 1978. — 703с.
2. Кузнецов Н.Д., Чистяков Н.С. Сборник задач и вопросов по теплотехническим измерениям и приборам. — М. Энергоатомиздат. 1985 — 328с.
3. Иванов Г.М., Кузнецов Н.Д., Чистяков В.С. Теплотехнические измерения и приборы. — М. Энергоатомиздат. 1984 — 332с.
4. основополагающие стандарты в области метрологии. — М.: Изд-во стандартов, 1986.— 312с.
5. Туяхов А.І. Практична метрологія і виміри. Навчальний посібник – Севастополь: «Вебер», 2003. – 288 с.
6. Метрологія та вимірювальна техніка /Поліщук Є.С., Дорожовець М.М., Яцук В.О. та ін.: Підручник – Львів: Бескид Біт, 2003. – 544 с.
7. Сергеев А.Г., Латышев М.В., Терегеря В.В. Метрология, стандартизация, спецификация. Учебное пособие. – М.: Логос, 2003. – 536 с.

ДОДАТКОВА

1. Справочная книга по теплотехнике и теплоэнергетике. Том 2 Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент. Справочник под общ. Редакцией В.А. Григорьева и В.М. Зорина. — М. Энергоиздат. 1989. — 512с.
2. Измерения в промышленности. Справ. Изд. В 3-х книгах. Книга 1. Теоретические основы. Пер. с нем. Под ред. Профоса П. — 2-е изд. Перераб. и дополн. — М. Металлургия, 1990. — 492с.

Конспект лекцій з дисципліни «Теплотехнічні вимірювання та прилади» для студентів за напрямом 6.050601 – Теплоенергетика заочної форми навчання

Укладач: кандидат технічних наук, доцент **Глушенко Олена Леонідівна**

Підписано до друку _____ 2012р. Формат 60*84 1/16
Обсяг _____ д.а. Тираж _____ екз. Замовлення № _____
Безкоштовно. Ротапринт ДДТУ.
51918, м. Дніпродзержинськ,
вул. Дніпробудівська, 2