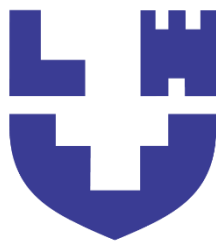


Міністерство освіти і науки України
Луцький національний технічний університет



ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ, ВИКОНАВЧІ ТА РЕГУЛЮЮЧІ МЕХАНІЗМИ БЕЗПЛОТНИХ АПАРАТІВ

Методичні вказівки до практичних занять
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
освітньої програми «Системи керування безпілотними апаратами»
галузі знань 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації
(G Інженерія, виробництво та будівництво)
спеціальності 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка
(G7 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка)
денної та заочної форм навчання

Луцьк 2026

УДК 62-503.5; 621.328

Т 38

Рекомендовано до видання вченою радою факультету КІТ ЛНТУ, протокол № __ від «__» _____ 2026 року
Голова вченої ради факультету КІТ _____ Інна КОНДІУС

Електронна копія друкованого видання передана для внесення в репозитарій ЛНТУ
Директор бібліотеки _____ Наталія ПОЛІЩУК

Розглянуто і схвалено на засіданні кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій ЛНТУ, протокол № _ від «__» _____ 2025 року.

Завідувач кафедри АКІТ _____	Олександр ПОВСТЯНОЙ, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій ЛНТУ
Укладач: _____	Павло ГУМЕНЮК, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій ЛНТУ
Рецензент: _____	Людмила САМЧУК, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри прикладної механіки та мехатроніки ЛНТУ
Відповідальний за випуск: _____	Олександр ПОВСТЯНОЙ, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій ЛНТУ

Технічні засоби, виконавчі та регулюючі механізми безпілотних апаратів: Методичні вказівки до практичних занять для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітньої програми «Системи керування безпілотними апаратами» галузі знань 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації (G Інженерія, виробництво та будівництво) спеціальності 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка (G7 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка) денної та заочної форм навчання / уклад. П. О. Гуменюк. Луцьк: ЛНТУ, 2026. 62 с.

Методичне видання складене відповідно до діючої програми курсу «Технічні засоби, виконавчі та регулюючі механізми безпілотних апаратів». Видання містить теоретичні відомості та методику виконання практичних завдань.

Призначене для здобувачів вищої освіти спеціальності «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» освітньої програми «Системи керування безпілотними апаратами»

Методичні вказівки укладено в результаті опрацювання опублікованих джерел [1-6].

ЗМІСТ

1. Практична робота № 1. Зображення умовних приладів і засобів автоматизації в схемах	4
2. Практична робота № 2. Засоби виміру температури	14
3. Практична робота № 3. Принципи вимірювання тиску, прилади для вимірювання тиску	29
4. Практична робота № 4. Датчики для контролю рівня речовин ...	37
5. Практична робота № 5. Вимірювання кількості і витрати речовини .	44
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	61

Практична робота № 1

ЗОБРАЖЕННЯ УМОВНИХ ПРИЛАДІВ І ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ В СХЕМАХ

Стандарт ДСТУ Б А.2.4-3:2009 Система проектної документації для будівництва. Правила виконання робочої документації автоматизації технологічних процесів

1 СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

1.1 Цей стандарт встановлює умовні зображення приладів, засобів автоматизації і ліній зв'язку, які застосовуються при виконанні схем автоматизації технологічних процесів.

2 НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ

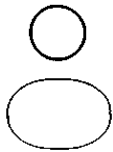
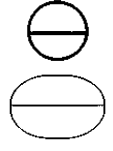

У цьому стандарті є посилання на такі нормативні документи:
 ДСТУ ISO 128-24:2005 Креслення технічні. Загальні засади оформлення.
 ДСТУ ISO 3098-0:2006 Документація технічна на вироби. Шрифти.
 ДСТУ Б А.2.4-21:2008. Силове електрообладнання. Робочі креслення

3 УМОВНІ ЗОБРАЖЕННЯ

3.1 Графічні зображення

3.1.1 Графічні зображення приладів, засобів автоматизації та ліній зв'язку повинні відповідати наведеним у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Графічні зображення приладів, засобів автоматизації та ліній зв'язку

Найменування	Зображення
1. Прилад, що встановлюється поза щитом (за місцем): а) основне зображення; б) зображення, що допускається	
2. Прилад, що встановлюється на щиті, пульті: а) основне зображення; б) зображення, що допускається	
3. Виконавчий механізм. Загальне зображення	

Продовження таблиці 1.1

<p>4. Виконавчий механізм, який при припиненні подачі енергії або керуючого сигналу:</p> <p>а) відкриває регулюючий орган;</p> <p>б) закриває регулюючий орган;</p> <p>в) залишає регулюючий орган у незмінному положенні</p>	
<p>5. Виконавчий механізм із додатковим ручним приводом</p> <p>Примітка. Зображення може застосовуватися з будь-яким із додаткових знаків, що характеризують положення регулюючого органу при припиненні подачі енергії або керуючого сигналу</p>	
<p>6. Лінія зв'язку. Загальне зображення</p>	
<p>7. Перетин ліній зв'язку без з'єднання між собою</p>	
<p>8. Перетин ліній зв'язку зі з'єднанням між собою</p>	

3.1.2 Відбірний пристрій всіх постійно підключених приладів зображають суцільною тонкою лінією, що з'єднує технологічний трубопровід або апарат з приладом (рисунок 1.1). За необхідності вказати конкретне місце розташування пристрою для відбору (всередині контуру технологічного апарата) його позначають колом діаметром 2,5 мм (рисунок 1.2).



Рисунок 1.1 – Відбірний пристрій

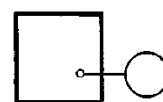


Рисунок 1.2 – Місце розташування пристрою

3.1.3 Допускається використовувати додаткові графічні зображення, не передбачені даним стандартом. Додаткові графічні зображення повинні бути розшифровані на схемі.

3.2 Літерні позначення

3.2.1 Основні літерні позначення вимірюваних величин і функціональних ознак приладів повинні відповідати наведеним у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Основні літерні позначення вимірюваних величин і функціональних ознак приладів

Позначення	Вимірювана величина		Функціональна ознака приладу		
	основне позначення вимірюваної величини	додаткове позначення, що уточнює вимірювану величину	відображення інформації	формування вихідного сигналу	додаткове значення
<i>A</i>	+	–	Сигналізація	–	–
<i>B</i>	+	–	–	–	–
<i>C</i>	+	–	–	Автоматичне регулювання, управління	–
<i>D</i>	Густина	Різниця, перепад	–	–	–
<i>E</i>	Електрична величина (п. 4.13)	–	+	–	–
<i>F</i>	Витрата	Співвідношення, частка, дріб	–	–	–
<i>G</i>	Розмір, положення, переміщення	–	+	–	–
<i>H</i>	Ручна дія	–	–	–	Верхня межа вимірюваної величини
/	+	–	Показання	–	–
<i>J</i>	+	Автоматичне перемикання, оббігання	–	–	–
<i>K</i>	Час, часова програма	–	–	+	–
<i>L</i>	Рівень	–	–	–	Нижня межа вимірюваної величини
<i>M</i>	Вологість	–	–	–	–
<i>N</i>	+	–	–	–	–
<i>O</i>	+	–	–	–	–
<i>P</i>	Тиск, вакуум	–	–	–	–
<i>Q</i>	Величина, що характеризує якість: склад, концентрація (п. 4.13)	Інтеграція, підсумовування за часом	–	+	–
<i>R</i>	Радіоактивність (п. 4.13)	–	Реєстрація	–	–

Продовження таблиці 1.2

<i>S</i>	Швидкість, частота	–	–	Включення, відключення, перемикання, блокування	–
<i>T</i>	Температура	–	–	+	–
<i>U</i>	Декілька різномірних вимірюваних величин	–	–	–	–
<i>V</i>	В'язкість	–	+	–	–
<i>W</i>	Маса	–	–	–	–
<i>X</i>	Нерекомендована резервна буква	–	–	–	–
<i>Y</i>	+	–	–	+	–
<i>Z</i>	+	–	–	+	–

Примітка. Літерні позначення, що мають позначку «+», є резервними, а позначку «–» – не використовуються.

3.2.2 Додаткові літерні позначення, які застосовуються для означення додаткових функціональних ознак приладів, перетворювачів сигналів і обчислювальних пристроїв, наведені в додатку А.

3.3 Розміри умовних зображень

3.3.1 Розміри умовних графічних зображень приладів і засобів автоматизації в схемах наведені в таблиці 1.3.

3.3.2 Умовні графічні зображення на схемах виконують суцільною товстою основною лінією, а горизонтальну розділову межу всередині графічного зображення і лінії зв'язку - суцільною тонкою лінією згідно з ГОСТ 2.303.

3.3.3 Шрифт літерних позначень приймають 2,5 мм згідно з ГОСТ 2.304.

Таблиця 1.3 – Розміри умовних графічних зображень приладів і засобів автоматизації

Найменування	Зображення
Прилад: а) основне зображення; б) зображення, що допускається;	
Виконавчий механізм	

4 ПРАВИЛА ПОБУДОВИ УМОВНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

4.1 Цей стандарт встановлює два методи побудови умовних зображень: а) спрощений; б) розгорнутий.

4.2 При спрощеному методі прилади і засоби автоматизації, що здійснюють складні функції, наприклад, контроль, регулювання, сигналізацію, і виконані у вигляді окремих блоків, відтворюють одним умовним зображенням. При цьому первинні вимірювальні перетворювачі і всю допоміжну апаратуру не зображають.

4.3 При розгорнутому методі побудови кожен прилад або блок, що входить в єдиний вимірювальний, регулюючий або керуючий комплект засобів автоматизації, вказують окремим умовним зображенням.

4.4 Умовні зображення приладів і засобів автоматизації, які застосовуються в схемах, включають графічні зображення, літерні і цифрові позначення.

У верхній частині графічного зображення наносять літерні позначення вимірюваної величини і функціональної ознаки приладу, що визначає його призначення.

У нижній частині графічного зображення наносять цифрове (позиційне) позначення приладу або комплекту засобів автоматизації.

4.5 Порядок розташування букв у літерному позначенні наступний:

- основне позначення вимірюваної величини;
- додаткове позначення вимірюваної величини (за необхідності);
- позначення функціональної ознаки приладу.

4.6 При побудові зображень комплектів засобів автоматизації перша літера в позначенні кожного приладу або пристрою (окрім пристроїв ручного управління), які входять у комплект, є найменуванням вимірюваної комплектом величини.

4.7 Літерні позначення пристроїв, виконаних у вигляді окремих блоків і призначених для ручних операцій, незалежно від того, до складу якого комплекту вони входять, повинні починатися з букви *H*.

4.8 Порядок розташування літерних позначень функціональних ознак приладу приймають із дотриманням послідовності позначень: */, R, C, S, A*.

4.9 При побудові літерних позначень вказують не всі функціональні ознаки приладу, а лише ті, які використовують у даній схемі.

4.10 Літеру *A* застосовують для позначення функції «сигналізація» незалежно від того, чи винесена сигнальна апаратура на який-небудь щит або для сигналізації використовуються лампи, вбудовані у сам прилад.

4.11 Літеру *S* застосовують для позначення контактної пристрою приладу, що використовується тільки для включення, відключення, перемикання, блокування.

При застосуванні контактної пристрою приладу для включення, відключення і одночасно для сигналізації в позначенні приладу використовують обидві літери: *S* і *A*.

4.12 Граничні значення вимірюваних величин, за якими здійснюється, наприклад, включення, відключення, блокування, сигналізація, допускається конкретизувати додаванням літер *H* і *L*. Ці літери наносять праворуч від графічного зображення.

4.13 За необхідності конкретизації вимірюваної величини праворуч від графічного зображення приладу допускається вказувати найменування або символ цієї величини.

4.14 Для позначення величин та функціональних ознак, не передбачених даним стандартом, допускається використовувати резервні літери. Застосування резервних літер повинне бути розшифроване на схемі.

4.15 Підведення ліній зв'язку до приладу зображають у будь-якій точці графічного зображення (зверху, знизу, збоку). За необхідності вказівки напрямку передачі сигналу на лініях зв'язку наносять стрілки.

4.16 Принцип побудови умовного зображення приладу наведено на рисунку 1.3.

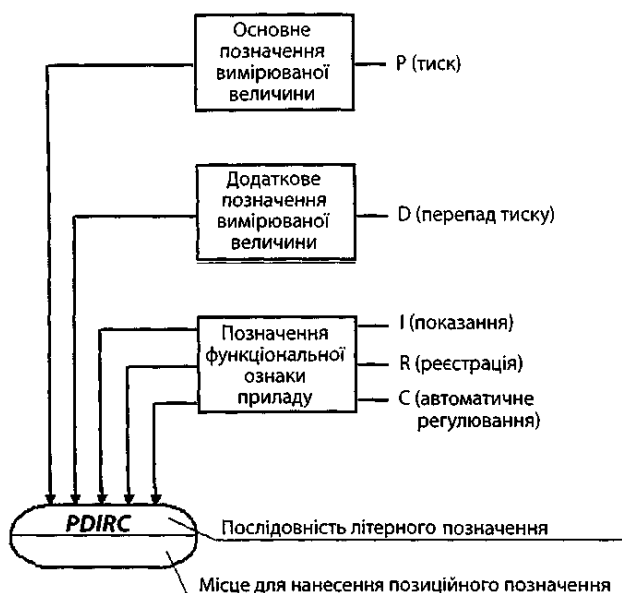


Рисунок 1.3 – Принцип побудови умовного зображення приладу

4.17 Приклади побудови умовних зображень приладів і засобів автоматизації наведені у додатку Б.

Додаток А (довідковий)

Додаткові літерні позначення, які застосовуються для вказівки додаткових функціональних ознак приладів, перетворювачів сигналів та обчислювальних пристроїв

Таблиця А.1 – Додаткові літерні позначення, що відображають функціональні ознаки приладів

Найменування	Позначення	Призначення
Чутливий елемент	E	Пристрої, що виконують первинне перетворення: перетворювачі термоелектричні, термоперетворювачі опору, датчики пірометрів, звужуючі пристрої витратомірів тощо
Дистанційна передача	T	Прилади безшкальні з дистанційною передачею сигналу: манометри, дифманометри, манометричні термометри
Станція управління	K	Прилади, що мають перемикач для вибору виду керування і пристрій для дистанційного керування
Перетворення, обчислювальні функції	Y	Для побудови позначень перетворювачів сигналів і обчислювальних пристроїв

Таблиця А.2 – Додаткові літерні позначення, які застосовуються для побудови перетворювачів сигналів, обчислювальних пристроїв

Найменування	Позначення
1 Вид енергії сигналу: електричний; пневматичний; гідравлічний	E P G
2 Види форм сигналу: аналоговий дискретний	A D
3 Операції, що виконуються обчислювальним пристроєм: підсумовування; множення сигналу на постійний коефіцієнт k ; множення двох і більше сигналів один на другий; ділення сигналів один на другий; зведення величини сигналу f до ступеня n ; обчислення кореня ступеня n з величини сигналу; логарифмування; диференціювання; інтегрування; зміна знака сигналу; обмеження верхнього значення сигналу; обмеження нижнього значення сигналу	Σ k x $:$ f^n $\sqrt[n]{}$ lg dx/dt \int $x(-1)$ max min

Продовження таблиці А.2

Зв'язок з обчислювальним комплексом: передача сигналу в автоматизовану систему управління технологічним процесом; виведення сигналу з автоматизованої системи управління технологічним процесом	B_i B_o
---	--------------------











3 Порядок побудови умовних зображень із застосуванням додаткових літер наступний:

- основне позначення вимірюваної величини;
- одна з додаткових букв: E , T , K або Y .






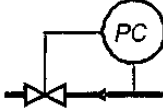
4 При побудові умовних позначень перетворювачів сигналів, обчислювальних пристроїв написи, що визначають вид перетворення або операції, які здійснюються обчислювальним пристроєм, наносять праворуч від графічного зображення приладу.

Додаток Б (довідковий)

Таблиця Б.1 – Приклади побудови умовних зображень приладів і засобів автоматизації

Ч.ч.	Зображення	Найменування
1		Первинний вимірювальний перетворювач (чутливий елемент) для вимірювання температури, встановлений за місцем. Наприклад, перетворювач термоелектричний (термопара), термоперетворювач опору, термобалон манометричного термометра, датчики пірометра тощо
2		Прилад для вимірювання і показу температури, встановлений за місцем. Наприклад, термометр рідинний, термометр манометричний тощо
3		Прилад для вимірювання і показу температури, встановлений на щиті. Наприклад, логометр, потенціометр, мілівольтметр тощо
4		Прилад для вимірювання температури безшкальний із дистанційною передачею показань, встановлений за місцем. Наприклад, термометр манометричний (або будь-який інший датчик температури), безшкальний із пневмо- або електропередачею
5		Прилад для вимірювання температури одноточковий, реєструючий, встановлений на щиті. Наприклад, логометр, потенціометр тощо
6		Прилад для вимірювання температури з автоматичним оббігаючим пристроєм, реєструючий, встановлений на щиті. Наприклад, багатоточковий самописний потенціометр, міст автоматичний тощо
7		Прилад для вимірювання температури реєструючий, регулюючий, встановлений на щиті. Наприклад, будь-який реєструючий регулятор температури
8		Регулятор температури безшкальний, встановлений за місцем. Наприклад, ділатометричний регулятор температури
9		Прилад для вимірювання температури безшкальний із контактним пристроєм, встановлений за місцем. Наприклад, реле температурне
10		Байпасна панель дистанційного керування, встановлена на щиті
11		Перемикач електричних ланцюгів вимірювання (керування), перемикач для газових (повітряних) ліній, встановлений на щиті
12		Прилад для вимірювання і показу тиску (розрідження), встановлений за місцем. Наприклад, будь-який показувальний манометр, дифманометр, тягомір, напоромір, вакуумметр тощо

Продовження таблиці Б.1

13		Прилад для вимірювання і показу перепаду тиску, встановлений за місцем. Наприклад, дифманометр показувальний
14		Прилад для вимірювання тиску (розрідження) безшкальний із дистанційною передачею показань, встановлений за місцем. Наприклад, манометр (дифманометр) безшкальний із пневмо- або електропередачею
15		Прилад для вимірювання тиску (розрідження) реєструючий, встановлений на щиті. Наприклад, будь-який вторинний прилад для реєстрації тиску
16		Прилад для вимірювання тиску з контактним пристроєм, встановлений за місцем. Наприклад, реле тиску
17		Прилад для вимірювання і показу тиску (розрідження) з контактним пристроєм, встановлений за місцем. Наприклад, манометр електроконтактний, вакуумметр тощо
18		Регулятор тиску, що працює без використання стороннього джерела енергії (регулятор тиску прямої дії) "поперед себе"

Практична робота № 2

ЗАСОБИ ВИМІРУ ТЕМПЕРАТУРИ

На сьогодні у різних галузях науки й у промисловості застосовуються десятки різних способів виміру температури. У таблиці 2.1 наведені найбільш розповсюджені у промисловості засоби виміру температури і зазначені межі застосування серійних засобів виміру. У дужках зазначені межі застосування засобів виміру для спеціальних цілей.

Таблиця 2.1 – Межі застосування промислових засобів виміру температури

Тип засобу виміру	Різновид засобу виміру	Межа тривалого застосування, °C	
		нижня	верхня
Термометри розширення	Рідинні скляні термометри	-200	600
	Манометричні термометри	-200 (-272)	1000
Термометри опору	Металічні (провідникові) термометри опору	-260	1100
	Напівпровідникові термометри опору	-272	600
Термоелектричні термометри	Термоелектричні термометри	-200 (-270)	2200 (2800)
Пірометри	Квазімонохроматичні пірометри	700	6000 (10000)
	Пірометри спектрального відношення	300	2800
	Пірометри повного випромінювання	-50	3500

Засіб вимірів температури, призначений для вироблення сигналу у формі, зручній для сприйняття спостерігачем, автоматичної обробки, передачі і використання в автоматичних системах управління, називається **термометром**.

Засіб виміру температури за тепловим електромагнітним випромінюванням називається **пірометром**. Пірометри застосовуються для безконтактного виміру температури.

Термометри розширення. Скляні рідинні термометри. Принцип дії скляних рідинних термометрів базується на розширенні термометричної рідини, вміщеної в термометр, залежно від температури. Скляні термометри за своєю конструкцією бувають кийові і з вкладеною шкалою. Скляний термометр із вкладеною шкалою складається зі скляного резервуара і припаяного до нього скляного капіляра (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Ртутний термометр

Уздовж капіляра розташована шкала, яка, як правило, наноситься на пластині молочного скла. Резервуар, капіляр і шкала містяться у скляній оболонці, що припаюється до резервуара. Київські скляні термометри виготовляються з товстостінних капілярів, до яких припаюється резервуар. Шкала термометра наноситься на зовнішній поверхні капіляра. Температура вимірюваного середовища, у яку поміщені резервуар і частина капіляра, визначається за зміною об'єму термометричної рідини, відлічуваною за положенням рівня рідини в капілярі, що відградується в градусах Цельсія. У зв'язку з тим, що одночасно з розширенням термометричної рідини відбувається також розширення резервуара і капіляра, фактично ми судимо про температуру не за зміною об'єму рідини, а за видимою зміною об'єму термометричної рідини у склі. Тому видиме розширення рідини трохи менше дійсного. У таблиці 2.2 наведені деякі термометричні рідини та їх характеристики.

Таблиця 2.2 – Термометричні рідини

Термометрична рідина	Середня температура, °С		Межі застосування, °С		Середній температурний коефіцієнт об'ємного розширення, $10^5, K^{-1}$	
	затвердіння	кипіння	нижня	верхня	дійсний	видимий
Ртуть	-38,9	356,6	-35	600	18	16
Толуол	-97,2	109,8	-90	200	109	107
Етиловий спирт	-114,5	78,0	-80	70	105	103
Керосин	-	До 325	-60	200	95	93
Петролейний ефір	-	До 70	-120	25	152	150
Пентан	-200	36	-200	20	92	90

Серед рідинних термометрів найбільшого поширення одержали ртутні скляні термометри. Хімічно чиста ртуть як термометрична речовина має ряд переваг: вона залишається рідиною в широкому інтервалі температур, не змочує скло, легко може бути отримана в чистому вигляді. Однак ртуть має

відносно малий температурний коефіцієнт об'ємного розширення, що вимагає виготовлення термометрів з тонкими капілярами. Нижня межа виміру ртутних термометрів $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ визначається температурою затвердіння ртуті. Верхня межа виміру $+600\text{ }^{\circ}\text{C}$ визначається характеристиками міцності скла. У зв'язку з тим, що температура кипіння ртуті за атмосферного тиску значно менше верхньої межі застосування ртутних термометрів, у термометрах, призначених для виміру високих температур, капіляр над ртуттю заповнюється інертним газом, наприклад, азотом. При цьому для виключення утворення пари ртуті в капілярі тиск газу повинен бути тим більше, чим вище верхня межа виміру. Для термометрів з верхньою межею виміру $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ тиск газу над ртуттю перевищує 3 МПа (30 кгс/см^2).

Скляні термометри з органічними термометричними рідинами застосовуються в інтервалі температур від -200 до $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Однак ці рідини змочують скло і тому вимагають застосування капілярів з відносно великим діаметром каналу.

До достоїнств скляних рідинних термометрів належать висока точність виміру, простота і дешевизна. Недоліками скляних термометрів є відносно погана видимість шкали, практична неможливість передачі показань на відстань і, отже, неможливість автоматичної реєстрації показань, а також неможливість ремонту термометрів.

Залежно від галузі застосування за методикою градування термометри поділяються на дві групи: термометри, які градуються при повному зануренні, і термометри, які градуються при неповному зануренні (як правило, за певної довжини занурення нижньої частини). Термометри першої групи застосовуються, як правило, у лабораторних умовах і дозволяють забезпечити більш високу точність. Глибина їх занурення повинна змінюватися за зміни температури. Термометри другої групи – технічні – застосовуються для виміру температур у промисловості; глибина їх занурення повинна бути постійною. У зв'язку з цим конструктивно технічні термометри виконані таким чином, що діаметр їх нижньої («хвостової») частини істотно менше діаметра їх верхньої частини, у якій розташована шкала. Ці термометри занурюються у вимірюване середовище на глибину нижньої частини. Розходження у градуванні і застосуванні скляних термометрів викликане тим, що при вимірі температури можуть мати місце систематичні похибки, характерні для даного засобу виміру. Однією з них є похибка за рахунок виступаючого стовпчика термометра. Якщо термометр градувався при повному його зануренні у вимірюване середовище до відлічуваної температурної оцінки, а на практиці він не був занурений до цієї оцінки і частина стовпчика термометричної речовини знаходилася поза вимірюваним

середовищем, виступала з неї, то може мати місце похибка за рахунок виступаючого стовпчика. Ця похибка існує, коли температура виступаючої частини стовпчика термометричної рідини і частини, зануреної у вимірюване середовище, була різною, а виходить, буде різним і розширення зануреної і виступаючої частин рідини.

Іншою похибкою, характерною для скляних термометрів розширення, є зсув нульової точки термометра. Цей зсув спостерігається після нагрівання термометра до температур, близьких до верхньої межі виміру. При наступному охолодженні термометра до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ скляний капіляр не відразу набуває тих же розмірів, що він мав до нагрівання. Тому ртуть, об'єм якої став дорівнювати початковому, буде розташована в капілярі, перетин якого ще не зменшився до початкового – трохи нижче оцінки $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Цей зсув нульової точки термометра може досягати в технічних термометрах зі шкалою $0\text{-}600\text{ }^{\circ}\text{C}$ значення $3\text{ }^{\circ}\text{C}$. У термометрів з меншою верхньою межею виміру цей зсув менший.

На даний час випускаються наступні різновиди скляних термометрів.

1. Технічні ртутні термометри із вкладеною шкалою прямі (рис. 2.2, а) і кутові випускаються 11 модифікацій зі шкалами від -90 до $+30$; від -60 до $+50$; від -30 до $+50$; від 0 до 100 ; від 0 до 160 ; від 0 до 200 ; від 0 до 300 ; від 0 до 350 ; від 0 до 450 ; від 0 до 500 і від 0 до $600\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- 2.



Рисунок 2.2 – Технічні скляні електроконтактні термометри:
а – прямий; б – кутовий

2. Лабораторні ртутні термометри кийові і з вкладеною шкалою призначені для виміру температур від -30 до $+600\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ці термометри занурюються у вимірюване середовище до відлічуваної температурної оцінки. Термометри підрозділяються на чотири групи. Термометри з ціною розподілу $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ мають діапазон виміру $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ (наприклад, $0\text{-}55\text{ }^{\circ}\text{C}$ чи $200\text{-}255\text{ }^{\circ}\text{C}$) з верхньою межею виміру не більше $305\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для великих діапазонів виміру $0\text{-}500\text{ }^{\circ}\text{C}$, $0\text{-}600\text{ }^{\circ}\text{C}$ ціна розподілу шкали $2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3. Рідинні (не ртутні) термометри випускаються кийові, із вкладеною шкалою і з зовнішньою шкальною пластиною на межі виміру від -200 до $+200$ °С з ціною розподілу від 0,2 до 5 °С.

4. Термометри ртутні підвищеної точності і зразкові випускаються з вузькими діапазонами виміру (від 4 до 50 °С) і з ціною розподілу від 0,01 до 0,1 °С.

5. Термометри ртутні електроконтактні випускаються для підтримки постійної температури або сигналізації заданої температури в інтервалі від -30 до $+300$ °С. Термометри випускаються з постійним робочим і з рухливим робочим контактами, які можуть бути встановлені на будь-якому значенні температури в межах шкали.

6. Спеціальні термометри; медичні (максимальні), метеорологічні (максимальні, мінімальні, психрометричні, ґрунтові та ін.) та іншого призначення.

Похибки технічних термометрів, що допускаються, не повинні перевищувати розподілу шкали.

Скляні термометри є одним з найточніших засобів виміру температури.

Манометричні термометри. Принцип дії манометричних термометрів базується на залежності зміни тиску термометричної речовини в герметично замкнутому об'ємі від температури. Термосистема манометричного термометра (рис. 2.3) складається з термобалона, капіляра і манометричної пружини, один кінець якої з'єднаний з капіляром, а другий, запаяний кінець пружини, з'єднаний зі стрілкою вимірювального приладу.



Рисунок 2.3 – Манометричний термометр

Манометричні термометри залежно від виду робочої (термометричної) речовини, яка заповнює термосистему, підрозділяються на газові, рідинні і конденсаційні. Манометричні термометри виготовляються для виміру температур від -200 до $+600$ °С, конкретні діапазони виміру визначаються заповнювачем термосистеми. Термометри зі спеціальним заповнювачем застосовуються для виміру температур від 100 до 1000 °С.

Термобалон термометра занурюється у вимірюване середовище, і робоча речовина, що знаходиться в термобалоні, приймає температуру вимірюваного середовища. При цьому в термосистемі встановлюється тиск, обумовлений температурою вимірюваного середовища. За підвищення температури тиск підвищується, за зменшення температури – знижується. Зміна тиску робочої речовини через гнучкий капіляр передається на вимірний прилад, що є частиною манометричного термометра. Вимірювальний прилад є пружинним манометром, розрахованим на ті діапазони виміру тиску, що мають місце в термосистемах манометричних термометрів.

Газові манометричні термометри призначені для виміру температури від -200 до $+600$ °С. Як робоча речовина в газових термометрах застосовується азот. Залежність тиску газу від температури за постійного об'єму описується лінійним рівнянням – формула (2.1):

$$p_t = p_0(1 + \beta t), \quad (2.1)$$

де p_t і p_0 – тиск газу за температур t і 0 °С,

β – температурний коефіцієнт розширення газу,

$t = 1/273$, чи $0,00366$ К⁻¹.

Рівняння шкали газового манометричного термометра буде також лінійним – формула (2.2):

$$p_k - p_n = p_n \frac{\beta(t_k - t_n)}{1 + \beta t_n}, \quad (2.2)$$

де p_n і p_k – тиск газу за температур, що відповідають початку t_n і кінцю t_k шкали термометра.

У зв'язку з тим, що за зміни температури за рахунок теплового розширення змінюється об'єм термобалона, а також змінюється з тиском внутрішній об'єм манометричної пружини, об'єм термосистеми не постійний. Тому реальне рівняння шкали трохи відрізняється від лінійного. Однак це відхилення незначне і можна вважати, що шкали газових манометричних термометрів є рівномірними. Діапазон зміни робочого тиску в термосистемі може бути збільшений шляхом збільшення початкового тиску азоту в термосистемі. Це дозволяє уніфікувати манометричні пружини, а також зменшує барометричну похибку манометричного термометра. Пружинні

манометри вимірюють надлишковий тиск, і тому зміна барометричного тиску може викликати зміну їх показань. Якщо вимірюваний тиск буде значним, то коливання барометричного тиску практично не будуть впливати на показання приладу.

Зміна температури навколишнього повітря буде впливати на розширення робочої речовини в капілярі і манометричній пружині, що буде викликати зміну тиску в термосистемі і відповідну зміну показань термометра. Для зменшення цього впливу прагнуть зменшити відношення внутрішнього об'єму пружини і капіляра до об'єму термобалона. Для цього збільшують довжину термобалона чи його діаметр. Довжина термобалона газового манометричного термометра не повинна перевищувати 400 мм, а діаметр термобалона обирається з ряду 5, 8, 10, 12, 16, 20, 25 і 30 мм (ГОСТ 8624-80). Довжина капіляра може складати від 0,6 до 60 м. Для зменшення температурної погрішності в деяких вимірювальних приладах усередині встановлюють термокомпенсатори. Спеціально виготовлені газові манометричні термометри можуть застосовуватися і для виміру температур більш низьких, чим 0 °С. Наприклад, водневий газовий термометр може застосовуватися до -250 °С, а гелієвий – до -267 °С.

Рідинні манометричні термометри призначені для виміру температури від -150 до +300 °С. Як робочу речовину, що заповнює термосистему, застосовують ртуть, пропиловий спирт, метаксилол та інші рідини. Робоча речовина рідинних манометричних термометрів практично нестислива. Тому зміна об'єму робочої рідини в термобалоні за зміни температури на величину, що відповідає діапазону виміру, викликає таке збільшення тиску в термосистемі, за якого манометрична пружина змінить свій внутрішній об'єм на величину зміни об'єму рідини. Тиск, за якого це буде мати місце, залежить від твердості пружини і для різних манометричних пружин може бути різним.

У рідинних манометричних термометрах похибка, викликана зміною барометричного тиску, як правило, відсутня, тому що тиск у системі значний. Похибка, викликана зміною температури навколишнього середовища, має місце й у рідинних манометричних термометрах. Для її зменшення застосовують ті ж способи, що й у газових манометричних термометрах: зменшують відносний об'єм рідини, що знаходиться за температури навколишнього середовища, зменшуючи внутрішній об'єм термокапіляра і пружини, чи усередину вимірювального приладу вбудовують спеціальні термокомпенсатори похибки.

У рідинних манометричних термометрах може мати місце гідростатична похибка, що виникає за різних рівнів розташування термобалона і вимірювального приладу. Для зниження можливих гідростатичних похибок

довжину капіляра зменшують до 10 м. Відстані, що допускаються, по висоті між термобалоном і вимірювальним приладом вказуються в інструкціях до приладів.

Конденсаційні манометричні термометри призначені для виміру температур від -50 до $+300$ °С. Термобалон термометра приблизно на $3/4$ заповнений низькокиплячою рідиною, а інша частина заповнена насиченою парою цієї рідини. Кількість рідини в термобалоні повинна бути такою, щоб за максимальної температури не вся рідина переходила в пару. Як робочу рідину застосовують фреон-22, пропилен, хлористий метил, ацетон і етилбензол. Капіляр і манометрична пружина заповнюються, як правило, іншою рідиною. Тиск у термосистемі конденсаційного манометричного термометра буде дорівнювати тиску насиченої пари робочої рідини, обумовленому у свою чергу температурою, за якої знаходиться робоча рідина, тобто температурою вимірюваного середовища з поміщенням у неї термобалоном. Ця залежність тиску насичення пари від температури має нелінійний вид, вона однозначна, коли вимірювана температура не перевищує критичну.

У зв'язку з тим, що тиск у термосистемі залежить тільки від вимірюваної температури, на показання термометра не буде впливати температура навколишнього середовища. Практично невелика похибка буде мати місце за рахунок механізму передачі усередині манометра, але сам принцип виміру забезпечує незалежність від температури навколишнього середовища. Гідростатична похибка викликається різницею висот розташування термобалона і вимірювального приладу, причому ця похибка буде залежати від показань приладу: на початку шкали вона буде більше, а наприкінці – менше. Довжина капіляра для зменшення цієї похибки не перевищує 25 м. Барометрична похибка у конденсаційних манометричних термометрів може мати місце на початковій ділянці шкали, коли тиск у термосистемі невеликий. В інших випадках вплив тиску буде нехтовно малим. Спеціально виготовлені конденсаційні манометричні термометри застосовуються для виміру наднизьких температур. Конденсаційні термометри, заповнені гелієм, використовуються для виміру температур від $0,8$ К.

Манометричні термометри відрізняються простотою пристрою, можливістю дистанційної передачі показань і автоматичного запису. Однією з важливих переваг є можливість їх використання в пожежо- і вибухонебезпечних приміщеннях. До недоліків відносяться труднощі ремонту при розгерметизації системи, обмежена відстань дистанційної передачі показань і в багатьох випадках великі розміри термобалона. Газові і рідинні

манометричні термометри мають клас точності 1; 1,5 і 2,5, конденсаційні – 1,5; 2,5 і 4.

Термоелектричні термометри. Застосування термоелектричних термометрів для виміру температури базується на залежності термоелектрорушійної сили термопари від температури. Термоелектрорушійна сила (термо-ЕРС) виникає в ланцюзі, складеному з двох різнорідних провідників за нерівності температур у місцях з'єднання цих провідників (рис. 2.4). Сучасна фізика пояснює термоелектричні явища в такий спосіб. З одного боку, унаслідок розходження рівнів Фермі в різних металах при їх зіткненні виникає контактна різниця потенціалів. З іншого боку, концентрація вільних електронів у металі залежить від температури. За наявності різниці температур у провіднику виникає дифузія електронів, що приводить до утворення електричного поля. Таким чином, термоелектрорушійна сила складається із суми стрибків потенціалу в контактах (спаях) термопари і суми змін потенціалу, викликаних дифузією електронів, і залежить від роду провідників та їх температури.

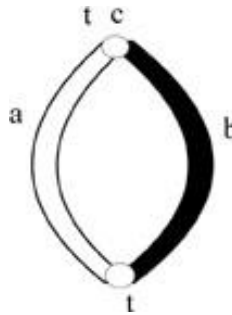


Рисунок 2.4 – Термоелектричний ланцюг

Якщо в ланцюзі (рис. 2.4) температури місць з'єднання провідників a і b будуть однакові й рівні t , то й різниці потенціалів будуть рівні за значенням, але мати різні знаки:

$$e_{ab}(t) = -e_{ba}(t),$$

а сумарна термо-ЕРС і струм у ланцюзі будуть дорівнювати нулю:

$$E_{ab}(t, t) = e_{ab}(t) - e_{ba}(t) = 0.$$

Якщо $t \neq t_0$, то сумарна термо-ЕРС не дорівнює нулю:

$$E_{ab}(t, t_0) = e_{ab}(t) - e_{ab}(t_0) \neq 0,$$

тому що різниці потенціалів для тих самих провідників за різних температур не рівні: $e_{ab}(t) \neq e_{ba}(t_0)$. Результуюча термо-ЕРС залежить для даних провідників a і b від температур t і t_0 . Щоб одержати однозначну залежність термо-ЕРС від вимірюваної температури t , необхідно іншу температуру t_0 підтримувати постійною.

Для виміру термо-ЕРС у ланцюг термоелектричного термометра включають вимірювальний прилад, причому його включення вводить у ланцюг принаймні ще один, третій провідник.

Для того щоб з'ясувати, як впливає включення в ланцюг термоелектричного термометра третього провідника, розглянемо ланцюг, складений із трьох різних провідників a , b , c (рис. 2.5,а). Термо-ЕРС такого ланцюга за рівності температур усіх місць з'єднання буде:

$$E_{abc}(t) = e_{ab}(t) + e_{bc}(t) + e_{ca}(t) = 0;$$

чи

$$e_{ab}(t) = -e_{bc}(t) - e_{ca}(t).$$

Розглянемо термоелектричний ланцюг із трьох провідників, коли температура місць приєднання третього провідника c не дорівнює вимірюваній температурі (рис. 2.5, б):

$$E_{abc}(t, t_0) = e_{ab}(t) + e_{bc}(t_0) + e_{ca}(t_0).$$

З цього випливає, що

$$e_{bc}(t_0) + e_{ca}(t_0) = -e_{ab}(t_0).$$

Тоді можна записати:

$$E(t, t_0) = e_{ab}(t) - e_{ab}(t_0),$$

тобто термо-ЕРС ланцюга, складеного з трьох різнорідних провідників, не відрізняється від термо-ЕРС ланцюга, складеного з двох провідників, якщо температури місць приєднання третього провідника рівні. З закономірностей включення третього провідника можна зробити наступні висновки: включення одного, двох чи декількох провідників у ланцюг термоелектричного термометра не викликає перекручування термо-ЕРС термометра, якщо місця приєднання кожного з цих провідників будуть мати однакову температуру; робочий кінець термоелектричного термометра можна виготовляти шляхом зварювання або пайки, якщо температура у всіх точках спаю буде однаковою.

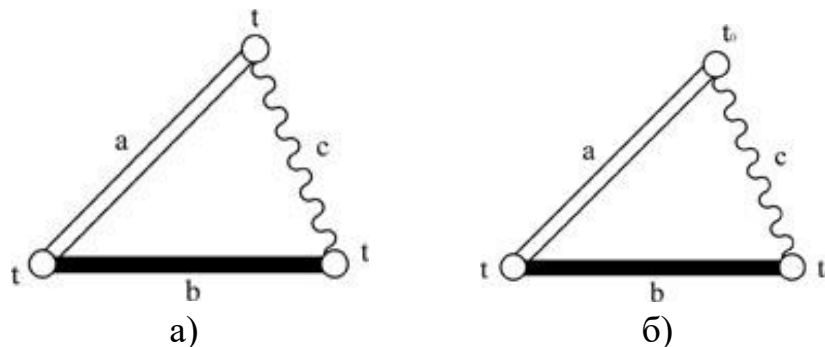


Рисунок 2.5 – Включення третього провідника в ланцюг термопари

На підставі особливостей включення третього провідника в ланцюг термоелектричного термометра можуть бути використані два варіанти

включення вимірювального приладу ВП у ланцюг термоелектричного термометра: у розрив електрода (рис. 2.5, а) і в розрив спаю (рис. 2.5, б).

У першому випадку вимірювана температура (температура робочого кінця) буде t , температура вільних кінців, підтримувана постійною, t_0 і температури місць приєднання третього провідника з вимірювальним приладом t_1' і t_1'' . Щоб не було перекручування термо-ЕРС, що розвивається, температури t_1' і t_1'' повинні бути рівні, $t_1' = t_1''$, а температура вільних кінців $t_0 = \text{const}$. В другому випадку третій провідник з вимірювальним приладом включається в розрив вільних кінців, тому місця приєднання третього провідника одночасно є вільними кінцями термоелектричного термометра (рис. 2.6). Ці температури повинні бути однакові як кінці третього провідника і постійні як вільні кінці. Якщо виконані ці умови, то включення вимірювального приладу не спотворює термо-ЕРС термометра.

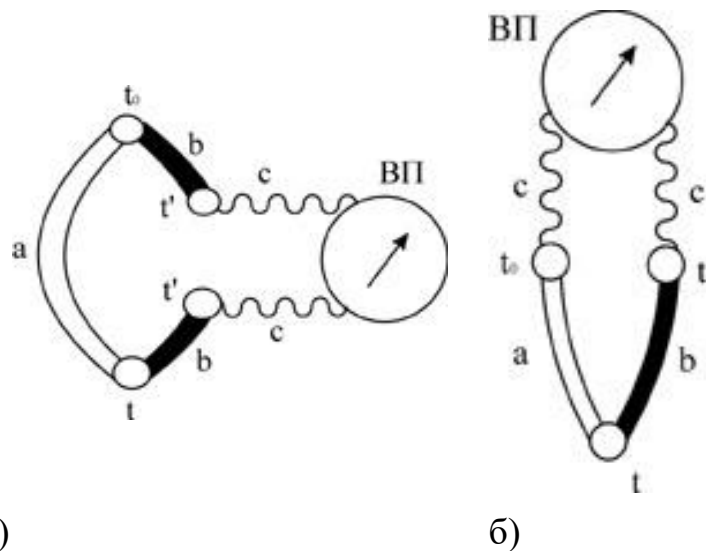


Рисунок 2.6 – Включення вимірювального приладу в ланцюг термоелектричного термометра

Для виміру температури термоелектричним термометром необхідно вимірити термо-ЕРС, що розвивається термометром, і температуру вільних кінців. Якщо температура вільних кінців термометра при вимірі температури дорівнює $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, то вимірювана температура визначається відразу з градуювальної характеристики (таблиць, графіків) (рис. 2.7), що встановлює залежність термо-ЕРС від температури робочого спаю.

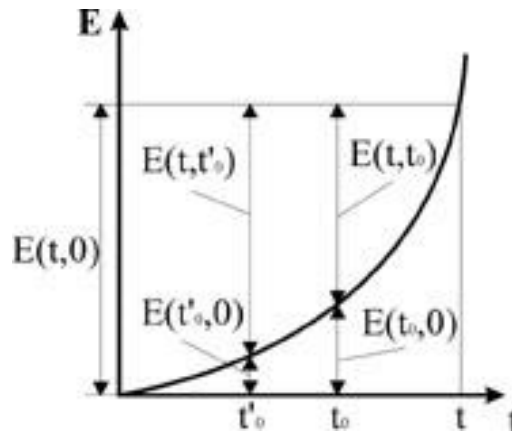


Рисунок 2.7 – Уведення виправлення на температуру вільних кінців термоелектричного термометра

Градуювальні характеристики термоелектричних термометрів визначені, як правило, за температури вільних кінців, рівній $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Якщо температура вільних кінців на практиці відрізняється від $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, але залишається постійною, то для визначення температури робочого кінця за градуювальною характеристикою необхідно знати не тільки термо-ЕРС, що розвивається термометром, а й температуру вільних кінців t_0 . Щоб увести виправлення на температуру вільних кінців t_0 , якщо $t_0 \neq 0$, необхідно до термо-ЕРС, що розвивається термоелектричним термометром $E(t, t_0)$, додати $E(t_0, 0)$, щоб одержати значення термо-ЕРС $E(t, 0)$:

$$E(t, t_0) + E(t_0, 0) = E(t, 0).$$

Таку термо-ЕРС $E(t, 0)$ розвиває термоелектричний термометр за температури робочого спаю t і температури вільних кінців $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, тобто за умов градуювання.

Якщо в процесі виміру температура вільних кінців прийме якийсь нове значення t_0 , то термо-ЕРС, що розвивається термометром, буде $E(t, t_0')$ (рис. 2.7) і величина виправлення на температуру вільних кінців буде $E(t_0', 0)$, а термо-ЕРС, що відповідає умовам градуювання:

$$E(t, t_0') + E(t_0', 0) = E(t, 0).$$

Значення виправлення на температуру вільних кінців термоелектричного термометра залежить від градуювальної характеристики термометра, обумовленої матеріалами провідників, з яких виготовлений термоелектричний термометр. Незалежно від способу введення виправлення (розрахункового чи автоматичного) методика введення виправлення залишається незмінною: визначається розрахунковим шляхом чи автоматично у схемі виходить значення $E(t_0, 0)$, яке потім сумується з термо-ЕРС термопари. Сумарна термо-ЕРС $E(t, 0)$ відповідає градуювальному значенню. Для рішення окремих задач вимірів температури застосовуються різні способи з'єднання

термоелектричних термометрів. Найбільш розповсюджені з них – термобатарея і диференціальна термопара. Для збільшення коефіцієнта перетворення термоелектричного термометра застосовують послідовне включення декількох термопар (термобатарею) (рис. 2.8).

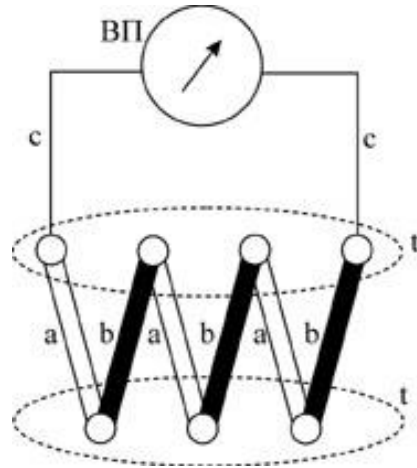


Рисунок 2.8 – Термобатарея

При цьому термо-ЕРС, що розвивається термопарами, сумується, тобто термо-ЕРС термобатареї, що складається з n термопар, у n раз більше термо-ЕРС окремої термопари. Таке включення застосовують для вимірів за малих різниць температур робочого t і вільного t_0 кінців. Однак, як правило, температури в різних точках розташування робочих і вільних кінців не зовсім однакові, внаслідок неоднорідності температурних полів. Тому термобатарея, збільшуючи термо-ЕРС термометра, дозволяє зменшити похибку виміру термо-ЕРС, але не підвищує істотно точності виміру температури.

У деяких випадках виникає необхідність виміру різниці температур у двох точках. Для цього розташовують робочий спай термопари в одній із точок, а вільні кінці – в іншій точці (рис. 2.9). У цьому випадку термо-ЕРС, що розвивається термометром, буде визначатися температурами робочого спаю t_1 і вільних кінців t_2 :

$$E(t_1, t_2) = e(t_1) - e(t_2).$$

Якщо в інтервалі температур $t_1 - t_2$ залежність термо-ЕРС від температури може бути апроксимована лінійною залежністю, то рівняння прийме вид:

$$E(t_1, t_2) = k (t_1 - t_2).$$

Така лінійна апроксимація звичайно справедлива для будь-якої термопари за різниці температур, що не перевищує 20-25 °С.

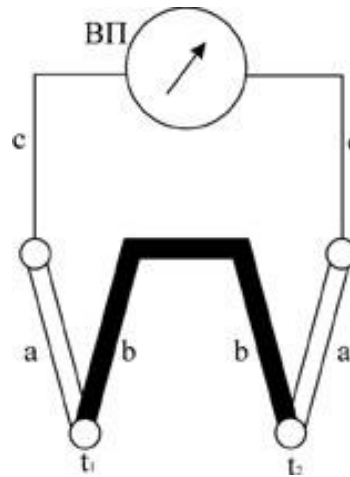


Рисунок. 2.9 – Диференціальний термоелектричний термометр

Будова термоелектричних термометрів і застосовувані матеріали. Два будь-яких різнорідних провідники можуть утворити термоелектричний термометр. Як же вибрати, які з провідників можуть бути використані для виготовлення термоелектричних термометрів і з яких провідників доцільніше виготовляти термоелектричні термометри? До матеріалів, використовуваних для виготовлення термоелектричних термометрів, пред'являється цілий ряд вимог: жаростійкість, жароміцність, хімічна стійкість, відтворюваність, стабільність, однозначність і лінійність градуовальної характеристики і ряд інших. Серед них є обов'язкові і бажані вимоги. До числа обов'язкових вимог належать стабільність градуовальної характеристики і (для стандартних термометрів) відтворюваність у необхідних кількостях матеріалів, що мають цілком певні термоелектричні властивості. Всі інші вимоги є бажаними. Наприклад, можуть бути дуже жароміцні матеріали, відтворені з однозначною і лінійною градуовальною характеристикою і високим коефіцієнтом перетворення. Але якщо градуовальна характеристика цих матеріалів нестабільна, то вимірювати таким термометром не можна. З іншого боку, матеріали, що мають низький коефіцієнт перетворення, нелінійну градуовальну характеристику, але стабільну характеристику, використовуються для термоелектричних термометрів.

Відповідно до стандартів будуть застосовуватися наступні стандартні термоелектричні термометри (таблиця 2.3).

Мідь-копелеві та мідь-міднонікелеві типу Т (близькі до мідь-константанових) термоелектричні термометри застосовуються головним чином для виміру низьких температур у промисловості і лабораторній практиці. Застосування цих термометрів для температур менше $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ускладнюється істотним зменшенням коефіцієнта перетворення зі

зменшенням температури. За температур понад 400 °С починається інтенсивне окислювання міді, що обмежує застосування термометрів цих типів.

Залізо-міднонікелеві, близькі до залізо-константових термоелектричних термометрів типу J, застосовуються в широкому діапазоні температур від –200 до +700 °С, а короткочасно – і до 900 °С. Вони мають досить великий коефіцієнт перетворення (близько 55 мкВ / °С). Верхня межа виміру обмежена окислюванням заліза та міднонікелевого сплаву.

Таблиця 2.3 – Стандартні термоелектричні термометри

Тип термопари термоелектричного термометра	Позначення	Робочий діапазон тривалого режиму роботи, °С	Максимальна температура короткочасного режиму роботи, °С
1	2	3	4
Мідь-копелева	–	–200 ÷ +100	–
Мідь-міднонікелева	T	–200 ÷ +400	–
Залізо-міднонікелева	J	–200 ÷ +700	900
Хромель-копелева	(ХК)	–50 ÷ +600	800
Нікельхром-міднонікелева	E	–100 ÷ +700	900
Нікельхром-нікельалюмінієва (хромель-алюмелева)	K (ХА)	–200 ÷ +1000	1300
Платинородій (10 %)-платинова	S (ПП)	0 ÷ +1300	1600
Платинородій (30 %)-платинородієва (6 %)	B(ПР)	300 ÷ 1600	1800
Вольфрамрений (5 %)-вольфрам-ренієва (20 %)	(ВР)	0 ÷ 2200	2500

Практична робота № 3

ПРИНЦИПИ ВИМІРЮВАННЯ ТИСКУ, ПРИЛАДИ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ТИСКУ

Тиском називають фізичну величину, яка дорівнює відношенню модуля сили F , що діє перпендикулярно поверхні, до площі S цієї поверхні (формула (3.1)):

$$p = \frac{F}{S} \quad (3.1)$$

де F сила, що діє перпендикулярно поверхні,
 S площі цієї поверхні.

За одиницю виміру тиску в SI прийнятий тиск, що створює сила 1 Н на перпендикулярну до неї поверхню площею 1 м². Ця одиниця називається Паскалем.

$$1 \text{ Па} = 1 \text{ Н м}^{-2}$$

Найменування одиниці тиску дано на честь французького вченого Блеза Паскаля, який жив в середині 17 сторіччя.

Широко застосовуються кратні одиниці кПа, МПа. Допускається використання таких одиниць, як кілограм-сила на квадратний сантиметр (кгс·см⁻²), кілограм-сила на квадратний метр (кгс·м⁻²) і 1 Бар. Співвідношення між системними одиницями і несистемними таке:

$$1 \text{ Па} = 10^{-5} \text{ Бар} = 1,0197 \cdot 10^{-5} \text{ кгс} \cdot \text{см}^{-2} = 0,10197, \\ \text{кгс} \cdot \text{м}^{-2} = 7,5006 \cdot 10^{-3} \text{ мм.рт.ст.}$$

На практиці застосовуються позасистемні одиниці тиску:

- фізична нормальна атмосфера,
- міліметр ртутного стовпа:

$$1 \text{ атм} = 760 \text{ мм рт. ст.} = 101325 \text{ Па} = 10 \text{ м в.ст.}$$

Атмосферним називається найбільший тиск, обумовлений вагою усього стовпа повітря від поверхні Землі до межі атмосфери. На рівні моря атмосферний тиск дорівнює 101325 Па. Зі збільшенням висоти над рівнем моря атмосферний тиск зменшується.

Вимір тиску необхідний для управління технологічними процесами і забезпечення пожежо- та вибухобезпеки виробництва, наприклад, для контролю тиску вогнегасних речовини в установках пожежогасіння, для сигналізації про спрацьовування установки й успішного випуску вогнегасної

речовини і навіть у теплових пожежних сповіщувачах. Крім того, цей параметр використовується при непрямих вимірах інших технологічних параметрів: рівня, витрати, температури, щільності.

При вимірах розрізняють *абсолютний, надлишковий і вакууметричний* тиск. При цьому за нуль (початок відліку) приймають атмосферний тиск. Сума атмосферного і надлишкового тисків являє собою **абсолютний тиск**, тобто:

$$P_{абс} = P_{атм} + P_{надл.}$$

Якщо абсолютний тиск менше атмосферного, то їхня різниця називається розрідженням або вакуумом:

$$P_{вак} = P_{атм} - P_{абс.}$$

Засоби виміру, призначені для виміру тиску і розрідження, називаються **манометрами**. Залежно від виду і величини тиску, що вимірюється, прилади для виміру тиску умовно поділяють на:

- вакуумметри- для виміру глибокого розрідження;
- напоромери- для виміру надлишкового тиску до 0,04 МПа;
- тягоміри – для виміру розрідження до 0,04 МПа;
- тягонапороміри – для виміру надлишкового тиску до 0,02 МПа і розрідження до 0,02 МПа;
- диференціальні манометри (дифманометри)- для виміру різниці (перепаду) тисків.

Принцип дії вимірювальних приладів базується на спроможності речовини (твердої, рідкої, газоподібної) опиратися прикладеному силовому впливу. Залежно від принципу, використовуваного для перетворення силового впливу на чутливий елемент на показання або пропорційні зміни іншої фізичної величини, прилади виміру тиску розділяються на: рідинні; деформаційні; вантажопоршневі; електричні; іонізаційні; теплові.

Рідинні манометри. У основу роботи приладів покладений принцип сполучених посудин, у яких рівні робочої рідини збігаються за рівності тисків над ними, а за нерівності займають таке положення, коли надлишковий тиск в одній з посудин врівноважується гідростатичним тиском надлишкового стовпа рідини в іншому.

Існують такі види РМ: двотрубні, однотрубні, мікроманометри. Розглянемо роботу двотрубного манометра (рис. 3.1).

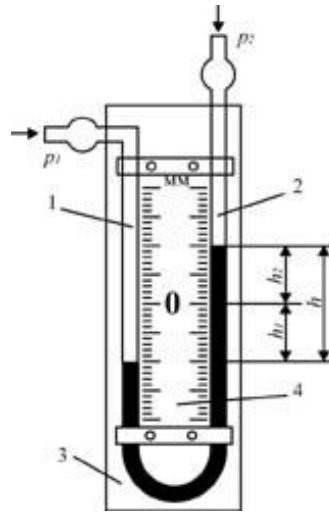


Рисунок 3. 1– Схема двотрубного РМ

Дві вертикальні сполучені скляні трубки 1, 2 закріплені на основі 3, до якої прикріплена шкальна пластинка 4. Трубки заповнюються робочою рідиною до нульової позначки. У трубку 1 подається тиск, що вимірюється, трубка 2 сполучається з атмосферою – формула (3.2):

$$p_1 - p_2 = \rho \cdot g \cdot h, \quad (3.2)$$

де ρ – щільність робочої рідини $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$;

g – місцеве прискорення вільного падіння $\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$.

Як робоча рідина використовуються вода, ртуть, спирт, трансформаторне мастило. Таким чином, чутливим елементом є робоча рідина, вхідним сигналом – тиск або різниця тисків, вихідним – різниця рівнів робочої рідини.

Манометри з водяним заповненням використовують для виміру тисків у діапазоні до 10 кПа, ртутні до 0,1 МПа.

Однотрубні (чашкові) манометри використовують для підвищення точності відліку різниці висот рівнів. У них одна трубка замінена широкою судиною, у яку подається більший з тисків, що вимірюються (рис. 3.2).

За умови, що площа поперечного перетину вимірювальної трубки f менше площі поперечного перетину широкої судини F більш ніж у 400 разів, то зміною рівня в широкій судині нехтують і для виміру тиску використовують показання рівня у вимірювальній трубці h_2 .

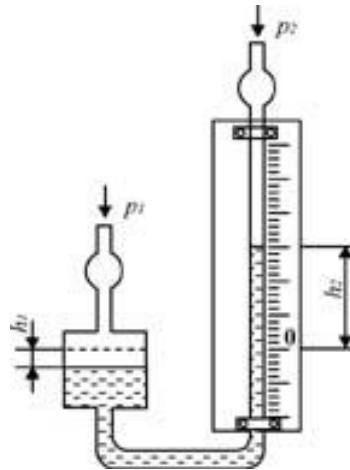


Рисунок 3. 2 – Однотрубний рідинний манометр

Для підвищення точності вимірів зміна рівня h_1 враховується і шкала градується в одиницях тиску відповідно до рівняння (3.3):

$$p_1 - p_2 = \rho \cdot g \cdot (h_1 + h_2) = \rho \cdot g \cdot h_2 \left(1 + \frac{f}{F} \right). \quad (3.3)$$

Вимір одного стовпа рідини призводить до зниження похибок зчитування, що з урахуванням похибки градування шкали не перевищує ± 1 мм, при ціні ділення 1 мм.

Мінімальний діапазон виміру однотрубних манометрів із водняним заповненням складає 1,6 кПа. Конструктивне виконання РМ залежить від статичного тиску, на який вони розраховані.

Мікроманометри використовуються для виміру тиску або різниці тисків до 3 кПа. Вони є різновидом однотрубних манометрів і споряджені спеціальними пристосуваннями для зменшення ціни ділення шкали, або для підвищення точності зчитування висоти рівня за рахунок використання оптичних та інших пристроїв (рис. 3.3).

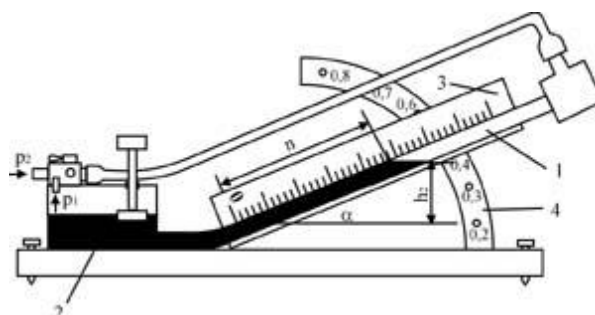


Рисунок 3. 3 – Схема мікроманометра ММН

РМ використовуються в лабораторній практиці та при проведенні промислових випробувань. Перевагами цих приладів є простота і надійність за високої точності вимірів.

Деформаційні манометри. Принцип роботи деформаційних приладів ґрунтується на залежності деформації чутливого елемента від тиску, що вимірюється. Деформація або сила пропорційна тиску, що вимірюється, перетворюється на показання або відповідні зміни вихідного сигналу. Більшість деформаційних манометрів і диференціальних манометрів містять пружні чутливі елементи, які здійснюють перетворення тиску на пропорційне переміщення робочої точки.

Найбільшого поширення одержали пружні чутливі елементи, такі як трубчасті пружини (рис. 3.4).

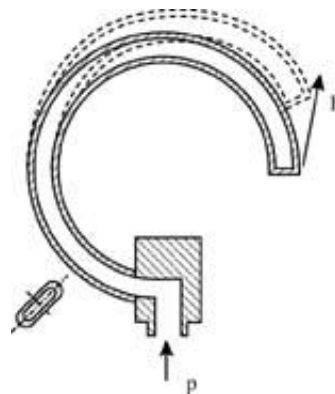


Рисунок 3. 4 – Пружний чутливий елемент – трубчаста пружина

Статичній (пружній) характеристиці чутливого елемента, що зв'язує переміщення робочої точки з тиском, властива наявність початкової зони пропорційних переміщень робочої точки, у якій мають місце пружні деформації, і нелінійної ділянки, у якій виникають пластичні деформації. Недосконалість пружних властивостей матеріалів чутливих елементів обумовлює наявність гістерезису статичної характеристики і пружна післядія. Останнє виявляється в запізнюванні переміщення робочої точки стосовно прикладеного тиску і повільному поверненні її в початкове положення після зняття тиску.

Форма і крутизна статичної характеристики залежать від конструкції чутливого елемента, матеріалу, температури. Робочий діапазон обирається в області пружних деформацій із забезпеченням запасу на випадок перевантаження чутливого елемента тиском. Пружні властивості чутливих елементів характеризуються коефіцієнтом жорсткості по силі – формула (3.4):

$$k_F = \frac{F}{h} = \frac{p \cdot S}{h}, \quad (3.4)$$

де F – сила, що діє на пружний чутливий елемент (перестановочне зусилля),
 S – ефективна площа елемента,
 h – переміщення робочої точки.

Порожністі одновиткові трубчасті пружини (рис. 3.4) мають еліптичний або плоскоовальний перетин. Один кінець пружини, у який надходить тиск, що вимірюється, закріплений нерухомо у тримачі, другий (закритий) може переміщатися. Під дією різниці внутрішнього тиску, що вимірюється, і зовнішнього атмосферного трубчаста пружина деформується: мала вісь перетину трубки збільшується, велика зменшується, при цьому пружина розкручується і її вільний кінець здійснює переміщення в 1-3 мм. Для тисків до 5 МПа трубчасті пружини виготовляють із латуні, бронзи, а для більш високих тисків – з легованих сталей і сплавів нікелю.

Трубчато-пружинні манометри. Схема трубчато-пружинного манометра, що показує, подана на рисунку 3.5.



Рисунок 3.5 – Трубчато-пружинний манометр

Одновиткова трубчаста пружина 1 з одного кінця приварена до тримача 2, прикріпленого до корпусу манометра. Нижня частина тримача закінчується шестигранною головкою і штуцером, за допомогою якого до манометра приєднується трубка, що підводить тиск. Вільний кінець пружини припаяно до пробки 3, що шарнірно з'єднується з повідком 4. При переміщенні вільного кінця пружини поводок повертає зубцюватий сектор 5 відносно осі О, викликаючи поворот шестерні (трибки) 6 і розташованої на одній осі з нею стрілки, що показує 7. Пружина, не показана на рисунку, забезпечує підгортання зубців трибки до зубців сектора, усуваючи люфт. Статична характеристика манометра може підбудовуватися шляхом зміни точки

закріплення повідця 4 у прорізі сектора 5. На рис. 3.5 показане радіальне розміщення штуцера; випускаються також манометри з осьовим розміщенням штуцера.

Трубчато-пружинні манометри, що показують, випускаються з верхньою межею виміру від 0,1 МПа (1 кгс/см²) до 103 МПа (104 кгс/см²) відповідно до стандартного ряду. Пружинні вакуумметри мають діапазон виміру 0,1-0 МПа, а мановакуумметри за нижньої межі виміру 0,1 МПа мають верхню межу виміру за надлишкового тиску від 0,1 до 2,4 МПа. Зразкові пружинні манометри, що показують, мають клас точності 0,15; 0,25 і 0,4; робочі манометри – 1,5; 2,5; 4, робочі манометри підвищеної точності – 0,6 і 1.

Промисловістю випускаються механічні манометри, що показують і самописні з одновитковою (типу МТ) і багатовитковою (типу МТМ) трубчастою пружиною. Принципова схема останнього приведена на рисунку 3.6.

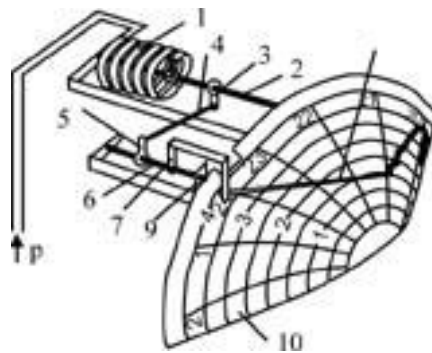


Рисунок 3.6 – Самописний манометр типу МТС

Під дією тиску, що вимірюється, вільний правий кінець трубчастої багатовиткової пружини 1 переміщується, викликаючи поворот осі 2 і розташованого на ній важеля 3. Останній сполучений із тягою 4, що за допомогою важеля 5 повертає вісь у, на якій насаджений П-подібний важіль 7, що закінчується ручкою 8. У приладах, що показують, на вісь 6 насаджений важіль 9, тягою сполучений із сектором, що переміщають трибку стрілки показчика. Дискова діаграма 10 здійснює один оборот за 12 або 24 годин, її обертання здійснюється електричним двигуном або годинним механізмом. Клас точності манометрів, що показують, та самописних – 1; 1,5, вони відносяться до числа великогабаритних приладів, розміри яких визначаються діаметром дискової діаграми.

Манометри, що показують та самописні можуть містити додаткові пристрої, що здійснюють замикання електричного ланцюга за певного значення тиску, що вимірюється, перетворення переміщення кінця трубчастої пружини в пропорційний електричний або пневматичний сигнал.

Для сигналізації граничних відхилень тиску в ланцюгах захисту і позиційного регулювання широко застосовуються електроконтактні манометри. Схема манометра типу ЕКМ подана на рис. 3.5. У манометр додатково введемо дві стрілки 2, 3, до яких пружними струмопідводами притиснуті електричні контакти 4. Стрілки 2, 3 за допомогою торцевого ключа і повідця 5 устанавлюються проти значень тиску, що сигналізується. Стрілка 1, що показує, також оснащена електричним контактом 6. Якщо тиск знаходиться в межах робочого діапазону, то електричні ланцюги сигналізації розімкнуті. При досягненні стрілкою, що показує, будь-якого з контактів замикається електричний ланцюг, викликаючи спрацьовування сигналізації. Електричні контакти залишаються замкнутими при знаходженні стрілки, що показує, за межами робочого діапазону тиску, оскільки стрілки 2, 3 обмежують зсув контактів у середину робочого діапазону, а поза ним контакти захоплюються стрілкою, що показує 1. Клас манометрів і вакуумметрів 1,5; межі виміру відповідають стандартному ряду.

На рис. 3.6 подана схем трубчато-пружинного манометра МЕД із диференційно-трансформаторним перетворювачем 1, що має на виході сигнал перемінного струму частотою 50 Гц.

Випускаються модифікації манометрів МЕД із відліковим пристроєм, клас точності обох модифікацій 1, верхні межі виміру – від 0,1 до 160 МПа за стандартним рядом. На даний час на базі манометрів МЕД розпочато випуск манометрів МП, що мають на виході уніфікований сигнал у вигляді зміни струму. Для його одержання в прилад уведений підсилювач, що перетворює зміни взаємної індуктивності в пропорційний сигнал зміни струму. Гранична приведена похибка не перевищує 1 %.

У перетворювачах тиску, що мають на виході уніфікований сигнал зміни струму і пневматичний сигнал, часто використовується принцип статичного зрівноваження.

Схема трубчастого пружинного манометра з компенсацією магнітних потоків типу МПЕ подана на рис. 3.7. Вільний кінець манометричної пружини 1 пов'язаний із постійним магнітом 2, що переміщається між двома магнітопровідниками 3. У результаті взаємодії поля постійного магніту 2 із полями, утворюваними обмотками порушення і зворотного зв'язку, на вході підсилювача виникає небаланс вимірювального моста, що перетворюється у вихідний уніфікований сигнал.

Практична робота № 4

ДАТЧИКИ ДЛЯ КОНТРОЛЮ РІВНЯ РЕЧОВИН

Вимірювання рівня рідини відіграє важливу роль при автоматизації технологічних процесів у багатьох галузях промисловості. Ці виміри особливо важливі в таких випадках, коли підтримання деякого заданого рівня рідин, пов'язано з умовами безпечної роботи обладнання. На сьогодні існує велике число методів виміру рівня рідин. Вимір рівня відбувається як у відкритих ринках, так і в ємностях, що знаходяться під тиском.

Технічні засоби, які призначені для виміру рівня рідини, називають **рівнемірами**.

За принципом дії рівнеміри підрозділяються на гідростатичні, поплавкові, ємнісні, радіоізотопні й інші, що одержали незначне поширення.

Одним із найбільш поширених методів є вимір гідростатичного тиску стовпа рідини манометричними або пневмометричними пристроями. У цих методах, як правило, головною є похибка за рахунок зміни щільності рідини, що вимірюється, від температур. Для виключення або зменшення цієї похибки створюються складні вимірювальні системи, що одночасно вимірюють гідростатичний тиск рідини та її щільність і коригуючі потім показання рівнеміра відповідно до щільності. Природно, це ускладнення вимірювальної системи зменшує її надійність.

Всі системи виміру рівня рідин гідростатичним методом потребують ретельного аналізу вимірювальної системи, сполучних ліній, їхнього температурного режиму, особливостей роботи вимірювальних перетворювачів. Наприклад, для однієї й тієї ж системи виміру рівня в барабані котла застосування мембранних дифманометрів замість поплавкових істотно зменшує можливі похибки виміру рівня.

Рівнеміри, які застосовуються для виміру рівня рідини з метою підтримки його постійним у певних межах, komponують пристроєм для сигналізації граничних відхилень рівня від заданого значення.

Для виміру рівня рідини застосовують **поплавкові, буйкові, гідростатичні, ультразвукові й акустичні прилади**, для виміру рівня рідини і твердих сипучих матеріалів – **ємнісні і радіоізотопні**.

Крім того, знаючи площу будь-якої ємності, за величиною рівня можна визначити кількість речовини в ній. Часто за умовами технологічного процесу немає необхідності у вимірі рівня по усій висоті апарату. У таких випадках застосовують узкомежні, але більш точні рівнеміри. Особливу групу складають рівнеміри, які використовуються тільки для сигналізації граничних значень рівня.

Як рівнеміри використовують серійні дифманометри – поплавкові, мембранні і сильфонні. У ряді технологічних процесів можливе використання пневмометричних рівнемірів, у яких гідростатичний тиск стовпа рідини врівноважується тиском повітря (інертного газу). Як вимірювальний перетворювач, як правило, використовуються дифманометри, а при зміні у відкритих ринках можуть бути використані напорометри і манометри.

Рівнеміри з візуальним відліком. Найпростішими приладами для виміру тиску є рівнеміри з візуальним відліком. Такі рівнеміри базуються на візуальному вимірі висоти рівня рідини. За невисоких тисків середовища висота рівня вимірюється у скляній трубці (вказівному склі), яка сполучається з рідинним і газовим просторами контрольованого резервуара (рис. 4.1). За підвищених тисків застосовуються плоскі скла, на поверхні яких із боку рідини нанесені вертикальні грановані канавки. З умов міцності не рекомендується застосовувати вказівні скла довжиною більше 0,5 м, тому при великому діапазоні зміни рівня встановлюється декілька скелець у шаховому порядку таким чином, щоб їхні діапазони виміру перетиналися.

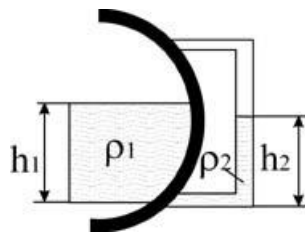


Рисунок 4.1 – Схема рівнеміра з візуальним відліком

Основним джерелом додаткової похибки таких рівнемірів є різниця щільностей рідини в контрольованому резервуарі та у склі, що викликається розходженням температур (особливо якщо рідина в резервуарі знаходиться за високої температури, а вказівне скло знаходиться на значному віддаленні). Розходження щільностей призводить до розходження рівнів у резервуарі і вказівному склі (рівень у склі іноді називають «ваговим» рівнем).

Похибка може досягати істотних значень, тому з метою її зменшення необхідна або теплова ізоляція рівнеміра, або продування його рідиною з резервуара перед відліком.

Поплавкові рівнеміри. У поплавкових рівнемірах є плаваючий на поверхні рідини поплавець, у результаті чого рівень, який вимірюється, перетворюється на переміщення поплавця. У таких приладах використовується легкий поплавець, виготовлений із корозійностійкого матеріалу.

Поплавкові рівнеміри є одними з найбільш простих і надійних. Проте вони практично не можуть застосовуватися за високих тисків. Вони дозволяють контролювати рівень рідин у широкому діапазоні від 50 до 2000 мм. До таких сигналізаторів граничних значень контрольованих рівнів відносяться поплавкові прилади типів РРС (реле рівня сильфонне), СУ (сигналізатор рівня), ДРР (дистанційне реле рівня).

На рисунку 4.2 показано загальний вид приладу ДРУ-1. Поплавець 3 (порожниста металева куля), сполучений початком 2 із мікрорелем 1, знаходиться в контрольованій рідині. При досягненні максимального рівня на кулю 3 діє гранична уштовхуюча сила, що змушує шток 2 підніматися і переключати мікрореле, який сигналізує про аварійний рівень.

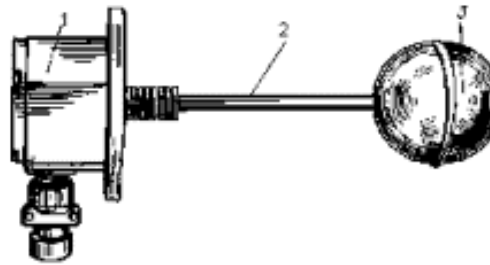


Рисунок 4.2 – Датчик-реле рівня типу ДРУ-1: 1 – корпус датчика з мікрорелем; 2 – шток; 3 – поплавець

Індикуючий пристрій сполучено з поплавцем тросом або за допомогою важелів. Поплавковими рівнемірами можна вимірювати рівень рідини у відкритих ємностях.

Основними несправностями у таких приладах є порушення герметичності кулі, корозія контактів перемикача внаслідок підвищеної вологості контрольованого середовища.

За необхідності поверхня кулі в місцях ушкодження підлягає паянню. Мікроперемикач залежно від ступеня корозії підлягає ремонту або заміні на новий тип МП.

Буйкові рівнеміри. У буйкових рівнемірах (рис. 4.3) застосовується нерухомий занурений у рідину буй 3. Принцип дії буйкових рівнемірів базується на тому, що на занурений буй діє з боку рідини виштовхуюча сила F . За законом Архімеда ця сила дорівнює вазі рідини, витиснутої буйком. Але, як очевидно з рисунка 4.3, кількість витиснутої рідини залежить від глибини занурення буя, тобто від рівня в ємності H . Таким чином, у буйкових рівнемірах рівень H , який вимірюється, перетворюється на пропорційну йому виштовхуючу силу. Тому залежність виштовхуючої сили від рівня, який вимірюється, лінійна.

У буйкових рівнемірах УБ-П і УБ-Є буй передає зусилля на важіль 1 проміжного перетворювача 2. Вихідний сигнал першого рівнеміра – уніфікований пневматичний, іншого – уніфікований електричний сигнал (постійний струм).

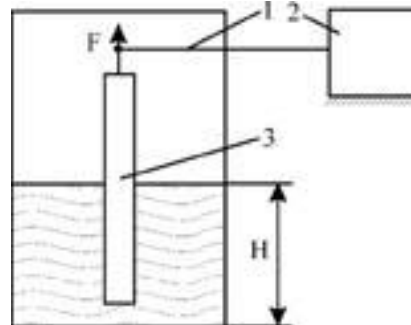


Рисунок 4.3 – Буйковий рівнемір: 1 – важіль; 2 – проміжний перетворювач сили в уніфікований сигнал; 3 – буй

Принцип дії буйкових рівнемірів дозволяє в широких межах змінювати їх діапазон виміру. Це досягається як заміною бую, так і зміною передатного підіймаючого механізму проміжного перетворювача. Рівнеміри УБ можуть вимірювати рівень у межах від 0-40 мм до 0-16 м.

Застосування буйкових, а так само і поплавкових рівнемірів ускладнено в агресивних рідинах і середовищах з осадами, що випадають. Для дистанційного виміру рівня рідини застосовуються буйкові рівнеміри з уніфікованим електричним або пневматичним сигналом типів УБ-Є й УБ-П. Вимірювальні схеми рівнемірів побудовані за принципом компенсації зусиль.

Прилад УБ-П має пневматичний вихідний сигнал, що дозволяє підключати до нього манометричний реєструючий прилад (для відліку показань рівня).

Самостійно як вимірювач рівня рівнемір УБ-П не застосовується, а використовується як датчик. На рисунку 4.4 наведено принцип дії даного рівнеміра.

Буй 10, занурений у рідину, через систему важелів урівноважений у визначеному положенні протидіючим вантажем P_1 . При зміні рівня рідини змінюється сила, яка виштовхує поплавець. Внаслідок цього порушується рівновага вимірювальної системи «вантаж – противага» і на чутливому елементі зміна рівня перетворюється в пропорційне зусилля, що врівноважується зусиллям сильфона зворотного зв'язку 8. Цей тиск і є пневматичним вихідним сигналом рівнеміра, що змінюється в межах 0,02-0,1 МПа.

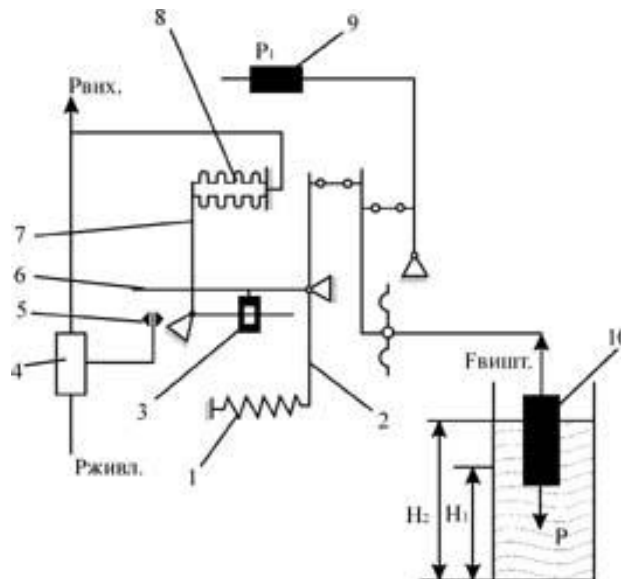


Рисунок 4.4 – Схема роботи рівнеміра УБ-П:

1 – пружина коректора; 2 – Т-подібний важіль; 3 – рухлива опора;
4 – пневмореле; 5 – сопло; 6 – заслінка; 7 – Г-подібний важіль; 8 – сильфон
зворотного зв'язку; 9 – вантаж-противага; 10 – датчик-буй

Гідростатичні рівнеміри. Гідростатичний метод виміру рівня базується на тому, що в рідині існує гідростатичний тиск, пропорційний глибині, тобто відстані від поверхні рідини. Тому для виміру рівня гідростатичним методом можуть бути використані прилади для виміру тиску або перепаду тисків. Як такі прилади звичайно застосовують дифманометри.

При вмиканні дифманометра 1 за схемою, показаною на рисунку 4.5, а, перепад тисків на ньому буде дорівнювати гідростатичному тиску рідини, що пропорційно рівню H , який вимірюється.

Якщо рідина в ємності знаходиться під надлишковим тиском, то дифманометр 1 включають за схемою, приведеною на рисунку 4.5, б, причому його плюсову камеру з'єднують із простором над рідиною через порівнювальну посудину 2. Цю посудину заповнюють рідиною, стовп якої створює постійний гідростатичний тиск у плюсовій камері дифманометра.

Оскільки вимірюється перепад тисків, рівний різниці гідростатичних тисків рідини в камерах дифманометра, вимірюваний рівень буде пропорційний різниці між рівнем у розділювальній судині H_{\max} і рівнем, який вимірюється H . Оскільки рівень у розділювальній судині постійний і відомий, то його завжди можна врахувати в показаннях приладу.

При вимірі рівня агресивних рідин дифманометр захищається розділювальними посудинами або мембранними роздільниками, що дозволяє заповнити його камери і трубки неагресивною рідиною.

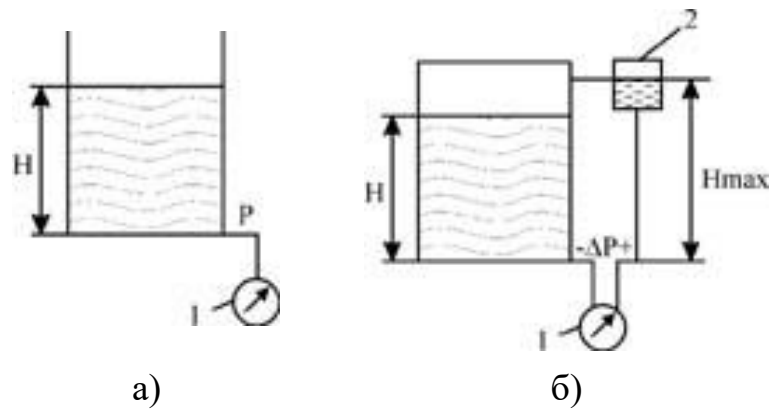


Рисунок 4.5 – Вимір рівня дифманометрами:

а – у відкритій ємності; б – у ємності під тиском; 1 – дифманометр;
2 – зрівняльна судина

При вимірі рівня суспензій і шламів осадки можуть забивати імпульсні трубки дифманометрів, їх безупинно продувають стиснутим повітрям. Імпульсні трубки увесь час заповнені повітрям для продукції. За невеликої витрати повітря його тиск у мінусовій камері стає рівним тиску над рідиною в ємності, а в плюсовій – тиску в рідині. Тому перепад тисків у дифманометрі буде дорівнювати гідростатичному тиску рідини і, отже, буде пропорційний рівню, що вимірюється.

Ємнісні рівнеміри. Ємнісні рівнеміри використовують для виміру рівня зміни ємності вимірювального перетворювача, викликаного зміною рівня рідини. Рівнеміри такого типу можуть застосовуватися для виміру як неелектропровідних, так і електропровідних рідин. Вони придатні для виміру рівня в широкому діапазоні тисків і температур агресивних і неагресивних середовищ. Їх показання залежать від діелектричної проникності середовища, яка може змінюватися з температурою. Застосування компенсаційних ємностей дозволяє істотно зменшити цей вплив, але не виключає його цілком. Електронна схема ємнісних рівнемірів достатньо складна, що обмежує їх широке поширення.

Найпростіший первинний перетворювач ємнісного приладу являє собою електрод 1 (металевий стрижень або провід), розташований у вертикальній металевій трубці 2 (рис. 4.6, а). Стрижень разом із трубою утворюють конденсатор. Ємність такого конденсатора залежить від рівня рідини, тому що при його зміні від нуля до максимуму діелектрична проникність буде змінюватися від діелектричної проникності повітря до діелектричної проникності рідини.

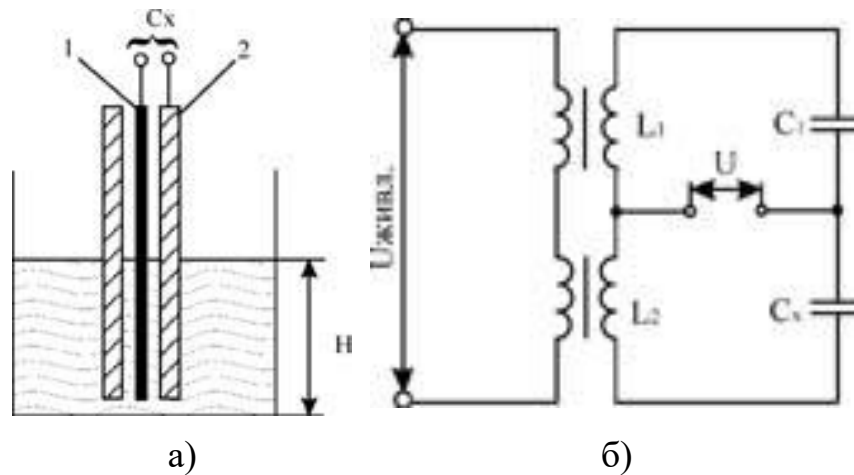


Рисунок 4.6 – Ємнісний рівнемір: а – будова датчика; б – електрична схема рівнеміра

Електрична схема ємнісного рівнеміра приведена на рисунку 4.6, б. Вимір електричної ємності первинного перетворювача C_x виконується незрівноваженим мостом перемінного струму, плечами якого є індуктивності L_1 і L_2 і ємність первинного перетворювача C_x . При зміні рівня змінюється ємність C_x , що призводить до зміни вихідної напруги моста V .

Ємнісні рівнеміри можуть вимірювати рівень не тільки рідин, але і твердих сипучих матеріалів: цементу, вапна і т.п.

Для підвищення чутливості ємнісних сигналізаторів рівня електроди встановлюють у горизонтальному положенні. У цьому випадку похибка виміру не перевищує 3 мм.

Радіоізотопні рівнеміри. Такі рівнеміри застосовують для виміру рівня рідин і сипучих матеріалів у закритих ємностях. Їх дія базується на поглинанні γ -променів при проходженні через прошарок речовини.

Радіоізотопні рівнеміри встановлюються поза апаратом або установкою. Вони не мають безпосереднього контакту з середовищем, параметри якого вимірюються, і це є їх принциповою перевагою в порівнянні з іншими методами.

У радіоізотопному рівнемірі джерело 2 і приймач 10 випромінювання підвішені на сталевих стрічках 3, на яких вони можуть переміщатися у трубах 11 по усій висоті бака 1. Стрічки намотані на барабан 5, що приводиться у рух реверсивним електродвигуном 7.

Практична робота № 5

ВИМІРЮВАННЯ КІЛЬКОСТІ І ВИТРАТИ РЕЧОВИНИ

Одиниці і методи вимірювання витрати і кількості речовини

Необхідність підвищення якості продукції, що випускається, і ефективності автоматизованих систем керування технологічними процесами надає питанням точного вимірювання кількості і витрати різних речовин винятково важливе значення. До засобів, що вимірюють кількість і витрату речовин пред'являються високі вимоги по точності.

Різноманіття вимірювальних середовищ, що характеризуються різними фізико-хімічними властивостями, а також різні вимоги, пропоновані промисловістю до метрологічних характеристик і надійності вимірників витрати, привели до створення засобів вимірювання витрати, заснованих на різних принципах і методах вимірювання.

Витрата речовини - це кількість речовини, що проходить в одиницю часу по трубопроводу, каналу і т.п. Кількість і витрата речовини виражають в об'ємних або масових одиницях вимірювання. Об'ємними одиницями кількості звичайно служать літр (л) і кубічний метр (m^3), а масовими – кілограм (кг) і тонна (т). Об'ємна кількість газу іноді для порівняння представляють наведеним до нормального стану – абсолютному тиску 101325 Па, температурі 20 °С і відносній вологості 60 %.

Найпоширенішими одиницями об'ємної витрати є л/год, m^3/c і $m^3/год$, а масового – кг/с, кг/год и т/год.

Прилади, що вимірюють витрату, називаються витратомірами. Залежно від роду вимірювальної речовини вони діляться на витратоміри води, пари, газу та ін. Витратоміри бувають показуючими і самописними. Часто вони забезпечуються вбудованим рахунковим механізмом (інтегратором).

До приладів, що вимірюють кількість, відносяться лічильники і ваги. За їхньою допомогою визначається кількість речовини, яка пройшла по тракту за відомий проміжок часу, для чого відраховують показання приладу на початку і кінці періоду вимірювання і обчислюється різниця цих показань.

Для визначення витрати і кількості рідини, газу, пари і сипучих тіл найчастіше застосовуються наступні основні методи вимірювання: змінного перепаду тиску, швидкісний, об'ємний і ваговий. В окремих випадках використовуються і інші методи вимірювання.

Метод змінного перепаду тиску, що має велике практичне значення, базується на зміні статичного тиску середовища, що проходить через штучно звужений перетин трубопроводу.

Швидкісний метод – на визначенні середньої швидкості руху потоку.

Об'ємний і ваговий методи – на визначенні об'єму і маси речовини.

Перевагами перших двох методів вимірювання є порівняльна простота і компактність вимірювальних приладів, а останніх двох - більше висока точність вимірювання.

Відповідно до застосовуваних методів вимірювання витрати і кількості речовини вимірювальні прилади розділяються в основному на наступні групи:

КОНТАКТНІ

Статичні.

1. Змінного перепаду тиску:

- діафрагми;
- сопла;
- сопла Вентурі;
- труби Вентурі.

2. Трубки Піто.

3. Щиткові.

4. Вихрові.

Динамічні.

1. Об'ємної дії:

- кулачкові (шестеренні);
- ротаційні;
- поршневі;
- мембранні.

2. Швидкісні:

- турбінні;
- крильчасті.

3. Ротаметри

4. Вібраційні.

БЕЗКОНТАКТНІ

Швидкісні.

1. Теплові.

2. Індукційні.

3. З мітками.

4. Ультразвукові:

- часоімпульсні;
- частотноімпульсні;
- доплеровські;
- фазові.

Витратоміри зі звужуючим пристроєм

Принцип дії витратомірів із звужуючим пристроєм заснований на зміні потенційної енергії вимірювальної речовини при протіканні через штучно звужений перетин трубопроводу. Широке використання цього принципу пов'язане з рядом властивих йому переваг. До їхнього числа відносяться: простота і надійність, відсутність частин, що рухаються, легкість серійного виготовлення засобів вимірювання практично на будь-які тиски і температури вимірювального середовища, низька вартість, можливість вимірювання практично будь-яких витрат і, що особливо істотно, можливість одержання градірованої характеристики витратомірів розрахунковим шляхом, тобто без використання дорогих метрологічних установок.

Витратомір складається із звужуючого пристрою, змонтованого в трубопроводі для створення місцевого стиску потоку (первинний перетворювач), диференціального манометра, призначеного для вимірювання різниці статичних тисків середовища, що протікає, до і після звужуючого пристрою (вторинний прилад), і сполучних ліній (двох трубок), що зв'язують між собою обидва прилади.

Звужуючий пристрій звичайно має круглий отвір, розташований концентрично щодо стінок труби, діаметр якого менше внутрішнього діаметра трубопроводу.

Диференціальний манометр (дифманометр-витратомір) виконується таким, що показує або самописним, і додатково може мати вбудований інтегратор. Шкала промислового дифманометра-витратоміра градирується в об'ємних або масових одиницях витрати.

Витратомір із звужуючим пристроєм, що має електричну дистанційну передачу показань містить, як правило, безшкальний у комплекті з показуючим або самописним вторинним приладом.

Витратоміри із звужуючим пристроєм придатні для вимірювання речовини, що протікає по трубопроводу, за умови заповнення нею усього поперечного перерізу труби і встановленого в ній звужуючого пристрою.

При проходженні потоку через звужуючий пристрій відбувається зміна потенційної енергії речовини, частина якого внаслідок місцевого стиснення потоку і відповідного збільшення швидкості потоку перетворюється в кінетичну енергію. Зміна потенційної енергії приводить до появи різниці статичних тисків (перепаду тиску), що визначається за допомогою дифманометра.

На рисунку 5.1 показана схема встановлення в трубопроводі найбільш простого звужуючого пристрою (діафрагми) у вигляді тонкого диска із круглим отвором посередині і зображення характеру потоку. Там же даний розподіл статичного тиску P по довжині потоку. Стиснення потоку починається перед діафрагмою і завдяки дії сил інерції досягає найбільшої величини на деякій відстані за нею, після чого потік знову розширюється до повного перетину трубопроводу. Перед діафрагмою і за нею в кутах утворюються зони з вихровим рухом, причому зона вихрів після діафрагми більше значна, чим до неї. Тиск потоку біля стінки трубопроводу (суцільна лінія) трохи зростає за рахунок підпору перед діафрагмою і знижується до мінімуму за діафрагмою в точці найбільшого звуження потоку, де перетин потоку менше, ніж отвір діафрагми. Далі в міру розширення потоку тиск біля стінки знову підвищується, але не досягає колишнього значення на величину P_{II} через наявність безповоротних втрат на завихрення, удар і тертя. Зміна

тиску потоку по осі трубопроводу практично збігається зі зміною тиску біля його стінки, за винятком ділянки перед діафрагмою і безпосередньо в ній, де тиск потоку по осі труби знижується (пунктирна лінія). При протіканні вимірювального потоку через отвір звужуючого пристрою збільшується швидкість потоку в порівнянні з його швидкістю до звуження. Завдяки цьому тиск потоку на виході із звужуючого пристрою зменшується і на звужуючому пристрої створюється перепад тиску, вимірювальний дифманометром, який залежить від швидкості у звуженні або від витрати потоку.

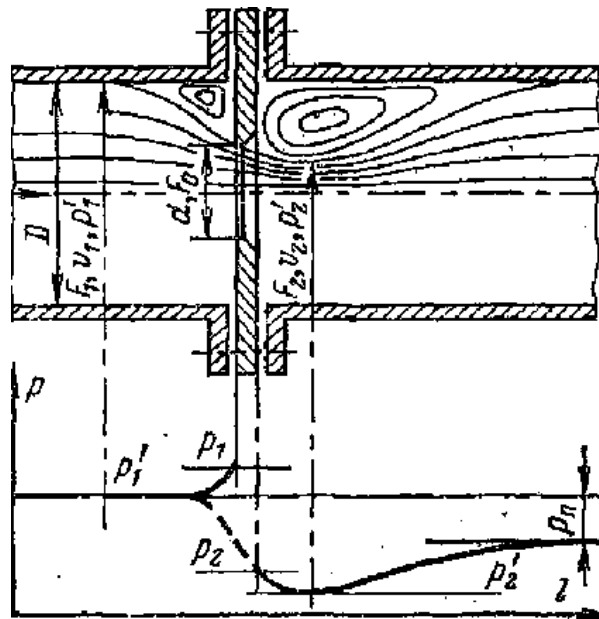


Рисунок 5.1 – Характер потоку при встановленні звужуючого пристрою

Якщо через звужуючий пристрій протікає стисливе середовище (газ або пара), то внаслідок зниження тиску збільшується її об'єм. Це приводить до того, що швидкість потоку зростає і стає більше швидкості нестисливого середовища. У результаті на звужуючому пристрої збільшується перепад тиску.

Звужуючі пристрої. Для вимірювання витрати середовища одержали поширення три види нормалізованих звужуючих пристроїв: витратомірна діафрагма (рис.5.2, а), витратомірне сопло (рис.5.2, б) і сопло Вентурі (рис.5.2, в) і труби Вентурі (рис.5.2, г), які мають посередині круглий отвір. Дослідним шляхом для цих звужуючих пристроїв знайдені точні значення коефіцієнта витрати α , що дозволяє застосовувати їх без попередньої градуировки. На рис.5.2 показані місця відбору тисків P_1 і P_2 від звужуючих пристроїв до дифманометра. Характерною рисою звужуючих пристроїв (рис.5.2, б, в, г) є менша, ніж для діафрагми, безповоротна втрата тиску.

Втрата тиску при використанні діафрагми або сопла практично та сама. У соплах Вентурі втрата тиску значно менше, що фізично пояснюється наявністю дифузора на виході, завдяки якому йде відновлення потенційної енергії.

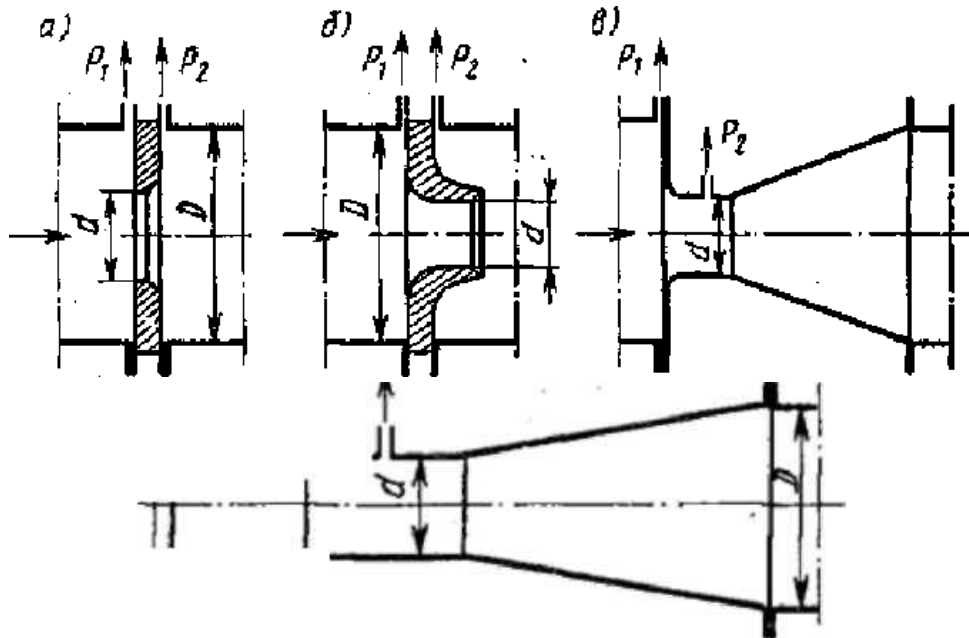


Рисунок 5.2 – Схеми стандартних звужуючих пристроїв

За способом відбору тиску до дифманометра витратомірні діафрагми і сопла діляться на камерні і безкамерні (із точковим відбором). Більше удосконаленими з них є камерні пристрої. У камерній діафрагмі тиски до дифманометра передаються за допомогою двох кільцевих зрівняльних камер, розташованих у її корпусі перед і за диском з отвором, з'єднаних з порожниною трубопроводу двома кільцевими щілинами або групою рівномірно розташованих по окружності радіальних отворів (не менш чотирьох з кожної сторони диска). Кільцева камера перед диском називається плюсовою, а за ним - мінусовою. Наявність у діафрагмі кільцевих камер дозволяє усереднити тиск по окружності трубопроводу, що забезпечує більше точний вимір перепаду тиску.

Відбір перепаду тиску в безкамерній діафрагмі виконується за допомогою двох окремих отворів у її корпусі або у фланцях трубопроводу перед і за диском. У цьому випадку вимірювальний перепад тиску є менш точним, чим при кільцевих камерах.

Точність вимірювання витрати за допомогою діафрагм залежить від ступеня гостроти входної крайки отвору, що впливає на значення коефіцієнта витрати a . Для виготовлення проточної частини діафрагм і сопел застосовуються матеріали стійкі проти корозії і ерозії, тобто нержавіюча сталь,

а в деяких випадках – латунь або бронза. У якості звужуючого пристрою найчастіше застосовується діафрагма. Сопло вибирається у випадках, коли необхідно зменшити вплив корозії і ерозії звужуючого пристрою на результати вимірювання

Діафрагми і сопла більше вивчені і тому дають більше високу точність вимірювання, чим сопла Вентурі. Основна похибка діафрагм і сопел становить $\pm 0,6-2,5$ %. Великий вплив на точність вимірювання роблять умови монтажу звужуючих пристроїв у трубопроводах. При неправильній установці похибка вимірювання значно зростає.

До і після звужуючого пристрою необхідно мати прямі заспокійливі ділянки трубопроводу постійного діаметра, тому що різні місцеві опори (коліна, вентилі, засувки і т.п.) приводять до перекручування профілю швидкостей по перетині потоку і, отже, впливають на коефіцієнт витрати a . Рекомендується зазначену арматуру по можливості розташовувати за звужуючим пристроєм.

Установка дифманометрів. Дифманометри призначені для визначення перепаду тиску між двома точками вимірювання в рідкому, газовому або паровому середовищі. Особливо велике застосування вони одержали для вимірювання перепаду тиску у витратомірах із звужуючим пристроєм. Основна похибка двохтрубних дифманометрів ± 2 мм висоти стовпа рідини, що врівноважує.

Промислові дифманометри-витратоміри, які застосовуються в теплоенергетиці, звичайно є деформаційними приладами, що працюють у комплекті із звужуючим пристроєм при вимірюваннях витрати рідини, газу і пари. Механічні дифманометри-витратоміри можуть застосовуватися в тих випадках, коли відстань між звужуючим пристроєм і приладом не перевищує 50 м. При більше значних відстанях використовуються електричні дифманометри-витратоміри. Механічні і електричні дифманометри і працюючі з ними в комплекті вторинні прилади встановлюються в місцях, не підданих вібрації і трясці, а також дії високої або низької температури і вологості навколишнього повітря. Вплив температури не повинний викликати в електричних дифманометрах надмірного нагрівання обмоток. Щоб уникнути запізнювання показань довжина сполучних ліній звичайно не перевищує 50 м, а внутрішній діаметр їх становить не менш 6 мм. Для вільного видалення зі сполучних трубок води (газові лінії) або повітря (водяні лінії) вони прокладаються вертикально або з ухилом не менш 0,1 у бік продувних вентилів, газозбірників або відстійних посудин.

Утворення в сполучних лініях повітряних пробок при вимірюванні витрати рідини або пари – при вимірюванні витрати газу (повітря) веде до

перекручування результатів вимірювання. Рекомендується періодично продувати сполучні лінії.

Дифманометр може бути встановлений вище або нижче звужуючого пристрою.

При вимірюванні витрати рідини бажана установка його нижче звужуючого пристрою для того, щоб уникнути проникнення із трубопроводу повітря в сполучні лінії. Якщо ж дифманометр розташовується вище звужуючого пристрою, то у верхніх точках ліній встановлюються газозбірники із продувними вентилями.

При вимірюванні витрати газу (повітря) дифманометр доцільно встановлювати вище звужуючого пристрою. У випадку зворотного розташування в нижніх точках сполучних ліній містяться відстійні посудини для води, що утворюється при конденсації пари.

При вимірюванні витрати пари більш бажаною є установка дифманометра нижче звужуючого пристрою. У протилежному випадку у верхніх точках ліній обов'язкове приєднання газозбірників. В обох випадках необхідно забезпечити сталість і однаковість рівнів конденсату в сполучних трубках для того, щоб тиски стовпів води на дифманометр взаємно врівноважувалися і не відбивалися на його показаннях.

Швидкісні витратоміри і лічильники

Швидкісний метод визначення витрати і кількості рідини і газу покладений в основу ряду витратомірів і лічильників, що мають досить простий пристрій і значний діапазон показань.

По виконанню і призначенню швидкісні витратоміри і лічильники розділяються на швидкісні витратоміри і лічильники рідини, напірні трубки і анемометри.

Швидкісні лічильники рідини найчастіше застосовуються для вимірювання кількості води і тому називаються лічильниками води. Чутливим елементом їх є лопасна вертушка, що приводиться в обертання потоком рідини. Вісь вертушки за допомогою передавального механізму (редуктора), що зменшує частоту обертання, зв'язана з рахунковим пристроєм приладу.

Частота обертання вертушки пропорційна витраті рідини, завдяки чому будова приладу значно спрощується. Однак при дуже малих витратах спостерігається відхилення від цієї залежності внаслідок перетоку рідини через зазори між вертушкою і корпусом приладу і тертя механізму в опорах.

Характерною величиною швидкісних лічильників рідини (як і інших лічильників) є так званий поріг початку показань, що виражає найменшу витрату речовини, нижче якого лічильник перестає давати безперервні показання.

Швидкісні лічильники виготовляються для вимірювання кількості холодної (до температури 30 °С) і гарячої (до 90 °С) води при робочому тиску до 1 МПа. Вертушка їх виконується із пластмаси або металу.

Істотним недоліком швидкісних лічильників є залежність показань від в'язкості вимірювальної рідини.

За формою вертушки швидкісні лічильники розділяються на крильчасті і турбінні. Вертушка перших має прямі лопаті, спрямовані радіально до її осі, а других – вигнуті по гвинтовій лінії. Вісь вертушки в крильчастих лічильниках розташована перпендикулярно напрямку потоку, а в турбінних - паралельно йому.

Крильчасті лічильники призначені для установки в горизонтальних трубопроводах і застосовуються при вимірюванні малих витрат води (до 10 м³/год). Турбінні лічильники можуть встановлюватися в будь-якій положенні і служать для вимірювання більших витрат води (до 150 м³/год).

На рисунку 5.3 наведена схема крильчастого лічильника води. У корпусі 1 із приєднувальними штуцерами виконані два тангенціально спрямованих канали для входу і виходу води, що надходить на крильчатку 2. У верхній частині корпусу розташований стрілочко-роликівий рахунковий показчик 3, відділений від крильчатки і редуктора 4 перегородкою із сальником 5 вихідної осі.

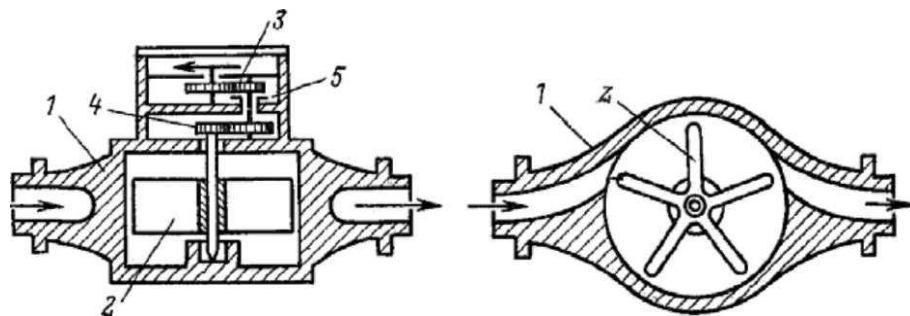


Рисунок 5.3 – Схема крильчастого лічильника води

Крильчасті лічильники мають рахунковий пристрій із ціною розподілу стрілочного показчика 0,001 і роликівого 0,1 м. Кінцевий показ рахункового пристрою 1-10 м води. Лічильники встановлюються в трубопроводі відповідно до нанесеного на корпусі стрілки, що вказує напрямок потоку рідини.

Об'ємні лічильники витрати

Принцип дії об'ємних лічильників заснований на відмірюванні певного об'єму речовини, який проходить через прилад і підсумовування результатів цього вимірювання. До числа таких пристроїв відносяться: мірні баки, об'ємні лічильники. Мірний бак є найбільш простим і точним вимірювальним

пристроєм, застосовуваним для визначення кількості рідини при перевірці витратомірів і лічильників, а також при випробуваннях відповідних установок.

Схема мірних баків показана на рисунку 5.4. Пристрій складається зі спарених мірних баків 1 і 2 прямокутного, постійного по висоті перетину (іноді застосовуються два окремих циліндричних або прямокутних баки) і збірного бака 3. У середині мірних баків розташовані заспокоювачі 4 і 5 у вигляді патрубків з більшим числом отворів у стінках. Обидва мірних бака постачені вказівними скляними трубками 6 і 7, поруч із якими встановлені циферблати 8 і 9 з міліметровими шкалами. Вимірювана рідина, що надходить по трубопроводу 10, направляється по черзі в кожний з мірних баків за допомогою перекидного пристрою 11. Для зливу рідини з мірних баків у збірний служать зливальні патрубки із запірними клапанами 12 і 13. Кожний мірний бак попередньо градується, тобто визначається залежність між висотою рівня рідини у вказівному склі і внутрішньому об'ємі бака.

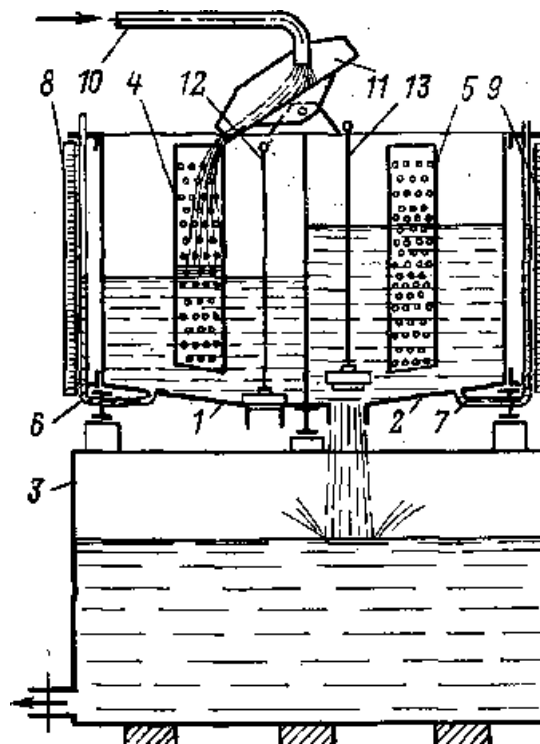


Рисунок 5.4 – Мірний бак

Об'ємні лічильники мають мірні камери зі стінками, що переміщуються, і які витісняють вимірювальний об'єм рідини, звільняючи камеру для наступної порції. До об'ємних лічильників зазначеного типу відносяться: однопоршневі, багатопоршневі, кільцеві, з овальними шестірнями, ротаційні, сухі газові, мокрі газові і дискові. Лічильники з овальними шестірнями застосовуються для вимірювання кількості рідини в широкому діапазоні в'язкості (до $300 \cdot 10^{-6}$ м²/с). Дія їх (рис.5.5) заснована на відмірюванні

(вितисненні) певних обсягів рідини, які утворюються між стінками вимірювальної камери 1 і овальними шестірнями 2 і 3, при обертанні останніх під впливом різниці тисків вимірювальної рідини до і після лічильника.

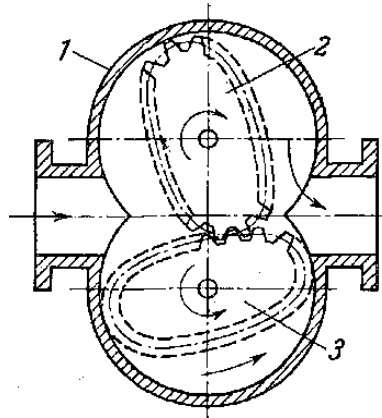


Рисунок 5.5 – Схема лічильника рідини з овальними шестірнями

Овальні шестірні, що перебувають між собою в безперервному зачепленні, при обертанні обкатують одне одну. Залежно від положення шестірень кожна з них по черзі є ведучою і веденою. Розмір зазорів між шестірнями і стінками вимірювальної камери не перевищує 0,04-0,06 мм, внаслідок чого похибка вимірювання через перетікання через них рідини невелика. Кількість рідини, що пройшла через лічильник, розраховується по числу обертів однієї з його шестірень, зв'язаної з рахунковим стрілочко-роликівим покажчиком. У підсумку за один оберт через лічильник проходить об'єм рідини, рівний чотирьом об'ємам мірних камер, які перекачують рідину. Вісь однієї із шестірень обертає рахунковий механізм, розташований поза корпусом приладу. Лічильники рідини з овальними шестірнями призначені для установки в горизонтальних трубопроводах, причому осі обертання шестірень розташовуються горизонтально, а круговий циферблат – вертикально нульовою оцінкою шкали вгорі (на рисунку 5.5 не показаний).

Випускаються лічильники рідини з овальними шестірнями різних типів, призначених для вимірювання кількості рідкого палива (бензину, керосину, дизельного палива і ін.). У цих лічильниках зв'язок між овальною шестірнею і рахунковим покажчиком здійснюється за допомогою осі, що виходить із вимірювальної камери через сальник, або за допомогою магнітної муфти.

Межі зміни в'язкості вимірювального середовища 0,7-10 – 60-10 м /с. Гідравлічний опір лічильників при найбільшій витраті 0,05 МПа. Клас точності приладів 0,5. Перевірка лічильників рідини з овальними шестірнями проводиться за допомогою мірних баків на спеціальних дослідних установках.

Ротаційні лічильники газу в основному застосовуються для вимірювання кількості горючих газів, принцип дії яких той же, що і лічильників рідини з овальними шестірнями.

Витратоміри обтікання (ротаметри)

Витратоміри обтікання відносяться до великої групи витратомірів, називаних також витратомірами постійного перепаду тиску або ротаметрами. У цих витратомірах обтічне тіло (поплавець, поршень, поворотний клапан, пластинка, кулька і ін.) сприймає з боку потоку, що набігає, силовий вплив, який при зростанні витрати збільшується і переміщає обтічне тіло, у результаті чого сила, яка переміщає, зменшується і знову врівноважується протидіючою силою. Протидіючою силою служить вага обтічного тіла при русі потоку вертикально знизу нагору або сила протидіючої пружини у випадку довільного напрямку потоку. Вихідним сигналом розглянутих перетворювачів витрати служить переміщення обтічного тіла. На рисунку 5.6 наведені принципові схеми перетворювальних елементів витратомірів обтікання, що отримали найбільше розповсюдження.

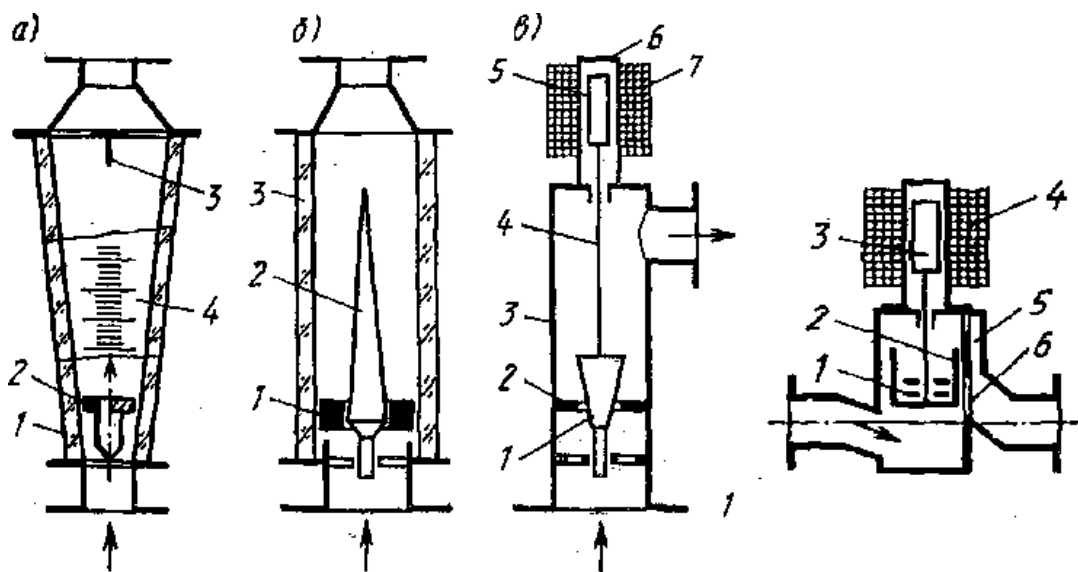


Рисунок 5.7 – Конструктивні схеми ротаметрів

У відповідності зі схемою в конічній трубці 1 розміщений поплавець 2, при підйомі якого нагору під дією потоку збільшується площа прохідного кільця між поплавцем і стінкою конічної трубки, що приводить до зменшення сили, створюваної потоком, яка діє на поплавець. Речовина, протікаючи через прорізи, надає поплавцю обертання, і він центрується в середині потоку. При рівновазі сил, які діють на поплавець, він установлюється на висоті, що відповідає вимірюваному значенню витрати. Аналогічно збільшується кільцевий перетин між конічним клапаном 2 і циліндричним сідлом 1 (рис.5.6,

б). У схемі рисунку 5.6, в при підйомі поршня 1 збільшується площа вихідного бічного отвору 3 у стінці циліндра 2.

Витратоміри обтікання, які застосовуються для вимірювання витрати рідин і газів, мають кілька різновидів. Найпоширеніші з них наведені на рисунку 5.7.

У ротаметрах зі скляною конічною трубкою 1 (рис.5.7, а), призначених для вимірювання газів або прозорих рідин, шкала 4 нанесена безпосередньо на зовнішній поверхні скла. Показчиком служить верхня горизонтальна площина обертового поплавця 2. На нижньому патрубку є сідло, на яке опускається поплавець при нульовій витраті речовини. На верхньому патрубку є обмежник ходу поплавця 3.

Для вимірювання витратинепрозорих рідин (рис.5.7, б) застосовують циліндричну скляну трубку 3 і циліндричний поплавець 1 з отвором посередині, через який проходить нерухомий стрижень 2 конічного перетину.

При переміщенні уздовж трубки 1 поплавець одночасно обертається, а кільцевий змінний отвір для потоку створюється між поплавцем і стрижнем 2. Ротаметри зі скляними трубками виготовляють на максимальний тиск 0,6 МПа.

Для вимірювання витрати газів і рідин на технологічних потоках застосовуються ротаметри, постачені передавальними перетворювальними елементами з електричним (рис.5.7, в) або пневматичним вихідним сигналом.

Ротаметр, показаний на рисунку 5.7, в, складається з металевого корпусу 3, усередині якого при зміні витрати переміщається обтічне тіло – клапан 1 конічного профілю. Між робочою поверхнею клапана 1 і кільцевою діафрагмою 2 створюється змінний прохідний отвір. Із клапаном 1 за допомогою штока 4 зв'язаний сердечник 5 диференційно-трансформаторного перетворювального елемента 7, катушка якого намотана на трубку 6 з немагнітної сталі. Клас точності цих ротаметрів у комплекті із вторинним приладом – 2,5.

У поршневому витратомірі постійного перепаду тиску (рис.5.7, в) маса поршня 2 з вантажами 1 і штока із сердечником 3 урівноважується перепадом тиску до і після вихідного прямокутного отвору 6 у бічній стінці циліндра. Передавальний перетворювач тут виконаний у вигляді сердечника 3 з м'якої сталі, що переміщається усередині немагнітної трубки, на якій установлена індукційна катушка 4. Чим більше витрата речовини, тим вище піднімається поршень і відкривається прохідний перетин у бічній стінці. Тиск за отвором 6 через канал 5 передається у верхню частину поршня. Таким чином, перепад тиску на отворі і на поршні той самий. Цей перепад створює підйомну силу поршня, що врівноважується вагою рухливої системи. Змінюючи вагу

рухливої системи за допомогою змінних вантажів 1, змінюють межу вимірювання витратоміра.

Електромагнітні (індукційні) витратоміри

Розглянуті вище методи вимірювання витрати і кількості речовини характеризуються тим, що чутливий елемент приладу перебуває безпосередньо у вимірювальному середовищі, тобто піддається механічному і хімічному її впливу і спричиняє втрату тиску потоку. Безперервна дія вимірювального середовища на чутливий елемент робить із часом негативний вплив на точність, надійність і термін служби приладу.

Для вимірювання витрати хімічно агресивних (кислоти, луги), абразивних (пульпи) і інших рідин, які пошкоджують матеріал дотичних з ними частин витратоміра, описані вище методи і прилади взагалі непридатні.

Існує ряд приладів для вимірювання витрати рідини, чутливий елемент яких не має безпосереднього з нею контакту, що дозволяє застосовувати їх при агресивних середовищах. До числа таких приладів відносяться електромагнітні (індукційні) витратоміри.

Електромагнітні витратоміри застосовуються для вимірювання витрати електропровідних рідин. Застосовуються для вимірювання в трубопроводах об'ємної витрати водопровідної води, різних розчинів (солей, кислот), пульп, розплавлених металів і інших електропровідних рідин, електрична провідність яких повинна бути не менше електропровідності водопровідної води.

Таким чином, електромагнітний витратомір являє собою невеликий гідродинамічний генератор змінного струму, що виробляє е.р.с., пропорційну середньої швидкості потоку, а отже, і витраті рідини.

Вимір витрати рідини електромагнітним методом здійснюється при використанні як постійного магніту, так і магніту зі змінним магнітним полем. Зазначені способи створення магнітного поля мають свої позитивні і негативні сторони.

Схема електромагнітного витратоміра з постійним магнітним полем зображена на рисунку 5.8, а. Корпус 1 – це відрізок труби, виконаний з немагнітного матеріалу і покритий зсередини електричною ізоляцією (гумою, емаллю, фторопластом і ін.), розташований між полюсами магніту 2. Магнітні силові лінії спрямовані перпендикулярно вектору швидкості руху рідини. Через стінку труби ізольовано від неї введені електроди 3, які перебувають у контакті з рідиною. Вся інформація надходить у вимірювальний пристрій 4.

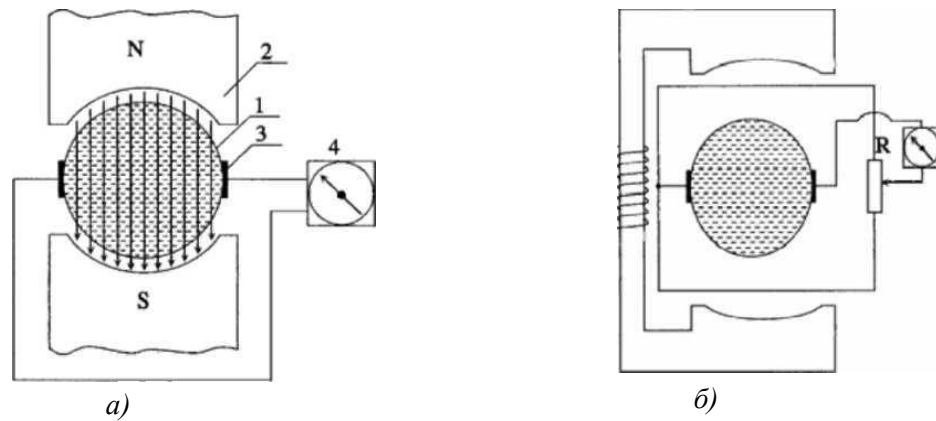


Рисунок 5.8 – Схема електромагнітного витратоміра а) – з постійним магнітним полем; б) – зі змінним магнітним полем

Перевагою електромагнітних витратомірів з постійним магнітним полем є те, що значно зменшується проблема, пов'язана з перешкодами від зовнішніх змінних електромагнітних полів, особливо при застосуванні в промислових умовах, де працюють електромотори, магнітні крани, трансформатори і інше електротехнічне устаткування. До числа переваг таких витратомірів варто віднести відсутність необхідності в джерелі живлення чутливих елементів, тобто самих електродів, розташованих на трубопроводі, що забезпечує безпеку його роботи і ряд інших факторів.

Основним недоліком магнітних витратомірів з постійним магнітним полем є поляризація електродів, тобто виникнення у позитивного електрода негативних іонів, а у негативного електрода позитивних іонів. Тому електромагнітні витратоміри з постійним магнітним полем не застосовуються для рідин з іонною провідністю (кислоти, солі, водянні розчини різних речовин і ін.). Такі витратоміри набули застосування для вимірювання витрати рідких середовищ із електронною провідністю, до яких відносяться розплавлені рідкі метали (натрій, ртуть, залізовуглецеві розплави і ін.) і у яких відсутнє явище поляризації. Можливе застосування таких витратомірів – атомні реактори з розплавленим металевим теплоносієм, плавильні і ливарні агрегати на металургійних заводах і ін.

Для вимірювання витрати середовищ із іонною провідністю застосовуються витратоміри зі змінним магнітним полем, створеним електромагнітом. При досить високій частоті електромагнітного поля поляризація електродів практично відсутня.

Електромагнітні витратоміри різних модифікацій мають вбудований у вимірювальний блок мікропроцесорний пристрій, що обробляє інформацію від датчика витрати, встановленого на трубопроводі, реєструє значення

Показання частотного витратоміра не залежить від швидкості проходження ультразвуку в середовищі, що є важливою перевагою такого методу вимірювання витрати рідких і газоподібних середовищ.

В інших типах витратомірів ультразвукова хвиля направляється перпендикулярно осі труби і по величині відхилення ультразвукової хвилі від перпендикуляра визначається витрата або середня швидкість потоку. У міру збільшення середньої швидкості потоку V напрямок ультразвукового сигналу зі швидкістю з усе більше відхиляється по напрямку швидкості потоку.

У фазових ультразвукових витратомірах використовується ефект Доплера, тобто вимірюється різниця фаз ультразвукових коливань, які розповсюджуються по потоку і проти нього. Недоліком таких витратомірів також є залежність показань від зміни швидкості ультразвуку в середовищі.

Розроблені різні модифікації ультразвукових час-імпульсних і доплеровських (фазових) витратомірів, які застосовуються в нафтовій, металургійній, хімічній і інших областях промисловості для вимірювання витрати мазуту, нафти, нафтопродуктів і інших рідин, у тому числі середовищ, забруднених твердими і газоподібними включеннями. Перевагою таких витратомірів є широкий діапазон вимірювальних витрат від 0,45 до 110000 м³/год для трубопроводів діаметром від 40 до 1800 мм із похибкою вимірювання не більше 2 %.

Сучасні ультразвукові витратоміри комплектуються вбудованими мікропроцесорами, які забезпечують обробку інформації, що надходить від датчиків, вимірювання і індикація витрати середовища (за годину, добу, місяць), виготовлення уніфікованого струмового сигналу при використанні системи автоматичного регулювання, введення необхідних коригувальних і керуючих команд і ін.

На практиці одержали розповсюдження і переносні ультразвукові витратоміри, які мають такі ж метрологічні характеристики, як і стаціонарні. У комплект приладу входить безпосередньо витратомір, портативна ЕОМ, багатофункціональний блок живлення з вбудованим акумулятором, монтажні пристрої для швидкого і правильного розташування датчиків на поверхні трубопроводу. Такі прилади використовуються для оперативного контролю витрати обраного типу середовища на різних ділянках трубопроводів, які мають різний діаметр і товщину стінки.

Ультразвукові витратоміри є найбільш перспективними приладами для вимірювання витрати різних рідких і газоподібних середовищ. Найбільшу точність вимірювання показують одноканальні ультразвукові витратоміри з врізаними датчиками, похибка яких не перевищує 0,3 %.

Силові витратоміри

Ці витратоміри засновані на залежності від масової витрати ефекту силового впливу, який надає потоку прискорення того або іншого роду. Таке прискорення виникає в процесі надання потоку якого-небудь руху (наприклад, закручування).

Додаткове прискорення пропорційно масовій витраті. Тому силові витратоміри вимірюють масову витрату, що є їхньою істотною перевагою. Крім того, завдяки малій залежності від профілю швидкостей, у них немає жорстких вимог до прямої ділянки труби перед перетворювачем витрати.

Силові витратоміри знаходять застосування для вимірювання витрати як однофазних, так і двофазних середовищ, сипучих речовин і пульпових матеріалів (наприклад, шламу).

У всіх останніх випадках знайшли застосування тільки кориолісові силові витратоміри. Турбосилові витратоміри, досить зручні для вимірювання, витрати однофазних середовищ, не придатні для двофазних, тому що при закручуванні потоку відбувається сепарація фаз під впливом відцентрової сили. Це порушує рівномірний розподіл фаз по перетину і змінює величину вимірювального моменту. У кориолісових витратомірів вимірювальна речовина рухається перпендикулярно, а не паралельно осі обертання потоку.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Базові

1. Технічні засоби автоматизації: навч.-метод. посібник / А. К. Бабіченко та ін.; за ред. А. К. Бабіченка. Харків: НТУ «ХП», 2024. 183 с.
2. Технічні засоби автоматизації. Конспект лекцій: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за спец. 174 втоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка / уклад.: О. М. Безвесільна, Т. О. Толочко. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. 367 с.
3. Технічні засоби автоматизації. Практикум: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за спец. 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка / уклад.: О. М. Безвесільна, Т. О. Толочко. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. 217 с.
4. Конспект лекцій з дисципліни «Технічні засоби автоматизації» для студентів усіх форм навчання спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, освітньо-професійні програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», «Системна інженерія». Частина 1 / упоряд. Іванов Л.С. Харків: ХНУРЕ, 2023. 88 с.
5. Воробйова О.М., Альошина Л.О. Технічні засоби автоматизації: методичні рекомендації для самостійної роботи здобувачів вищої освіти. Одеса: ДУІТЗ, 2024. 27 с.
6. Технічні засоби автоматизації: навчально-методичні настанови до практичних занять / упоряд. А. А. Бурчак , М. В. Михайловський, М. В. Рибальченко, О. Ю. Потап. Дніпро: Укр. держ. ун-т науки і технологій, 2025. 25 с.

Інформаційні ресурси

1. ДСТУ Б А.2.4-3:2009 Система проектної документації для будівництва. Правила виконання робочої документації автоматизації технологічних процесів. [Чинний від 2010-01-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2009.
2. ДСТУ 2709-94. Державна система забезпечення єдності вимірювань. Автоматизовані системи керування технологічними процесами. Метрологічне забезпечення. Основні положення. [Чинний від 1995-07-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 1994.

Публікації за освітньою компонентою

1. Kuzmych O., Cherniashchuk N., Lishchyna N., Lishchyna V., Mekush O., Gumenyuk P. Mobile Robot Motion Stability and Optimal Chassi Construction. Publisher: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Digital Library 2021, ACIT'2021, 2021, pp. 141-146.

2. Grigorieva N., Shabaykovich V., Gumeniuk L., Humeniuk P. Modeling of the matrix base of design of innovative equipment for obtaining renewable energy from CO₂. *Modern engineering and innovative technologies*. Issue №16 Part 1, 2021. С. 68-76.
3. Крисанов А. О., Гуменюк П. О. Моделювання дискретних виробничих процесів з використанням Simpy. *Перспективні технології та прилади. Збірник статей*. Луцьк: ЛНТУ, 2023. Випуск 22. С. 68–73.
4. Gumeniuk L., Fedik L., Didukh V., Humeniuk P. Analysis and study of rolling parameters of coils on an inclined plane. *Informatyka, Automatyka, Pomiaru w Gospodarce i Ochronie Srodowiska*. Vol. 14, No 3. 2024. С.101-104.
5. Сауляк М. М., Гуменюк П. О. Автоматизована система керування технологічним процесом виготовлення вапна. *Актуальні проблеми автоматизації та управління: матеріали XII міжнародної науково-практичної інтернет-конференції молодих учених та студентів*. Випуск № 12. Луцьк: ЛНТУ, 2024. С. 69-72.
6. Gumeniuk L., Markina L., Satsyk V., Humeniuk P., Lashch A. Application of multi-agent programming for modeling the viscosity state of mash in alcohol production. *Informatyka, Automatyka, Pomiaru w Gospodarce i Ochronie Srodowiska*. Vol. 15, No 1. 2025. С.27-32.
7. Дерлюк С. О., Гуменюк П. О., Гуменюк Л. О. Оцінка можливості виникнення кавітації в насосах. *Технологічні комплекси*. Луцьк: ЛНТУ, 2025. Том 17. № 2. С, 18-23.

Технічні засоби, виконавчі та регулюючі механізми безпілотних апаратів: Методичні вказівки до практичних занять для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітньої програми «Системи керування безпілотними апаратами» галузі знань 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації (G Інженерія, виробництво та будівництво) спеціальності 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка (G7 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка) денної та заочної форм навчання / уклад. П. О. Гуменюк. Луцьк: ЛНТУ, 2026. 62 с.

Комп'ютерний набір

П.О. Гуменюк

Редактор

П.О. Гуменюк

Підп. до друку «__» 2026 р. Папір офс.
Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 3,7. Обл.-вид. арк. 1.
Тираж 30 прим.

Відділ іміджу та промоції
Луцького національного технічного університету
43018 м. Луцьк, вул. Львівська, 75
Друк – ВІП ЛНТУ

