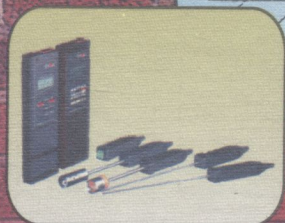
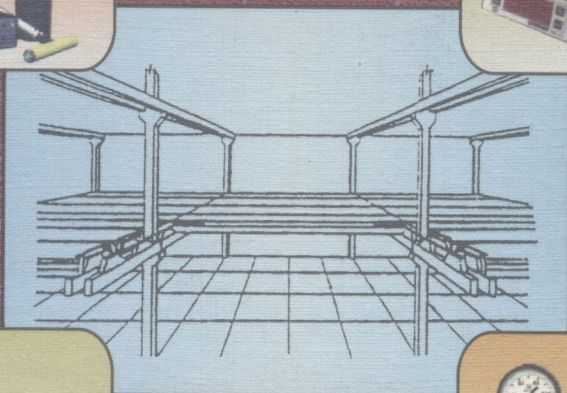
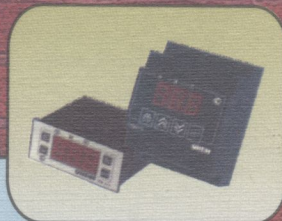


621.317(075)  
44 33

М. Р. Щеглюк, Я. П. Юсик



# ВИМІРЮВАННЯ І КОНТРОЛЬ У БУДІВНИЦТВІ ТА ВИРОБНИЦТВІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ І КОНСТРУКЦІЙ



621.317(075)

Щ33

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ “ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”

М.Р. Щеглюк, Я.П. Юсик

**ВИМІРЮВАННЯ І КОНТРОЛЬ  
У БУДІВНИЦТВІ ТА ВИРОБНИЦТВІ  
БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ  
І КОНСТРУКЦІЙ**

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України  
як навчальний посібник  
для студентів вищих навчальних закладів*

Львів  
Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”  
2006

БКБ –[38+38.3+38.5]: 32.965

Щ 33

УДК 624/628:681.3

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України  
як навчальний посібник для студентів  
вищих навчальних закладів  
(лист № 14/18.2-633 від 25.03.2005 р.)*

**Рецензенти:**

**Дудюк Д.Л.**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизації виробничих процесів, електротехніки і теплотехніки Українського державного лісотехнічного університету;

**Чеховський С.А.**, кандидат технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційно-виміральної техніки Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу

**Щеглюк М.Р., Юсик Я.П.**

Щ 33

Вимірювання і контроль у будівництві та виробництві будівельних матеріалів і конструкцій: Навч. посібник. – Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2006. – 492 с.

ISBN 966-553-538-2

У навчальному посібнику викладено основи вимірювання і контролю електричних і неелектричних величин багатьох параметрів технологічних процесів, які використовують у будівництві та виробництві будівельних матеріалів і конструкцій. Описано конструкції та принцип роботи найрозповсюдженіших первинних перетворювачів, вимірвальних приладів і пристроїв та систем.

Велику увагу приділено особливостям фізичних явищ, що супроводжують різноманітні технологічні процеси та їхнє застосування у вимірюваннях. Наведено короткі технічні характеристики вимірвальних перетворювачів, вторинних приладів та вимірвальних пристроїв.

Навчальний посібник призначено для студентів будівельних спеціальностей ВНЗ, що вивчають автоматизацію технологічних процесів у будівництві та виробництві будівельних виробів і конструкцій. Він також буде корисний студентам суміжних спеціальностей.

БКБ –[38+38.3+38.5]: 32.965

КНИГОСХОВИЩЕ

© Щеглюк М.Р., Юсик Я.П., 2006

© Національний університет

“Львівська політехніка”, 2006

ISBN 966-553-538-2

**НТБ ВНТУ  
м.Вінниця**

## ЗМІСТ

Передмова.....	9
Вступ.....	12
<b>РОЗДІЛ 1. ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЇ ТА ВИМІРЮВАНЬ.....</b>	<b>19</b>
1.1. Роль вимірювань в управлінні технологічними процесами.....	19
1.2. Одиниці та системи фізичних величин.....	23
1.3. Коротка класифікація вимірювань.....	24
1.4. Засоби вимірювань.....	28
1.5. Похибки вимірювання та вимірювальних пристроїв.....	34
1.6. Автоматизація вимірювань.....	41
1.7. Первинні перетворювачі.....	45
1.7.1. Перетворювачі для вимірювання лінійних і кутових переміщень.....	47
1.7.1.1. Потенціометричні (реостатні) перетворювачі.....	47
1.7.1.2. Тензоперетворювачі.....	49
1.7.1.3. Індуктивні перетворювачі.....	51
1.7.1.4. Диференційно-трансформаторні перетворювачі.....	53
1.7.1.5. Ємнісні (конденсаторні) перетворювачі.....	55
1.7.2. Первинні перетворювачі для вимірювання температури.....	56
1.7.2.1. Термоперетворювачі опору.....	56



1.7.2.2. Термістори.....	58
1.7.2.3. Термоелектричні перетворювачі (термопари).....	59
1.7.3. Первинні перетворювачі для вимірювання швидкості.....	62
1.7.3.1. Індукційні перетворювачі.....	62
1.7.3.2. Тахогенератори постійного струму.....	63
1.7.3.3. Тахогенератори змінного струму...	64
1.7.4. Інші типи первинних перетворювачів широкого призначення.....	66
1.7.4.1. Перетворювачі тиску.....	66
1.7.4.2. П'єзоелектричні перетворювачі.....	67
1.7.4.3. Радіаційні перетворювачі.....	69
1.7.4.4. Фотоелектричні перетворювачі.....	70
1.7.4.5. Магнітопружні перетворювачі.....	71
1.8. Вимірювальні прилади.....	72
1.8.1. Вимірювальні прилади, побудовані на основі мостових схем.....	72
1.8.2. Прилади з диференційною вимірювальною схемою.....	77
1.8.3. Потенціометри.....	80
1.8.4. Прилади слідкуючого зрівноваження.....	83
1.9. Вимірювальні підсилювачі.....	85
1.10. Уніфікуючі (нормуючі) вимірювальні перетворювачі.....	89
1.11. Класифікація систем автоматичного контролю...	93
1.12. Державна система приладів і засобів автоматизації.....	95
1.13. Сучасні засоби вимірювання та контролю.....	103
РОЗДІЛ 2. ВИМІРЮВАННЯ І КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРИ..	114
2.1. Класифікація приладів для вимірювання і контролю температури.....	114
2.2. Вимірювання температури термометрами розширення.....	116

2.3. Вимірювання температури манометричними термометрами.....	122
2.4. Вимірювання температури за допомогою термоелектричних перетворювачів.....	126
2.5. Вимірювання температури термоперетворювачами опору.....	143
2.6. Використання приладів з уніфікованими сигналами для вимірювання температури.....	155
2.7. Вимірювання температури пірометрами випромінювання.....	165
2.8. Вимірювання і контроль температури арматури під час її електротермічного напруження.....	171
<b>РОЗДІЛ 3. ВИМІРЮВАННЯ І КОНТРОЛЬ ТИСКУ.....</b>	<b>180</b>
3.1. Класифікація методів та приладів для вимірювання тиску.....	180
3.2. Рідинні манометри.....	182
3.3. Деформаційні прилади для вимірювання тиску.....	185
3.4. Електричні манометри.....	206
3.5. Вимірювання різниці тисків.....	208
<b>РОЗДІЛ 4. ВИМІРЮВАННЯ РІВНЯ.....</b>	<b>212</b>
4.1. Класифікація методів і приладів для вимірювання рівня.....	212
4.2. Вимірювання рівнів рідин.....	213
4.2.1. Візуальні рівнеміри.....	213
4.2.2. Поплавкові рівнеміри.....	214
4.2.3. Гідростатичні рівнеміри.....	221
4.2.3.1. Мембранні рівнеміри.....	221
4.2.3.2. Дифманометричні рівнеміри.....	221
4.2.3.3. П'єзометричні рівнеміри.....	223
4.2.4. Електричні рівнеміри.....	224
4.2.4.1. Ємнісні рівнеміри.....	225
4.2.4.2. Електроконтактні рівнеміри.....	229
4.2.5. Ультразвукові рівнеміри.....	230
4.2.6. Світлові рівнеміри.....	333

4.2.7. Радіоізотопні рівнеміри.....	234
4.3. Вимірювання рівнів сипких матеріалів.....	235
4.3.1. Лотові рівнеміри.....	236
4.3.2. Вагові рівнеміри.....	237
4.3.3. Електроконтактні та електромеханічні рівнеміри.....	238
4.4. Автоматизація вимірювання рівня цементу в силосних складах.....	243
<b>РОЗДІЛ 5. ВИМІРЮВАННЯ КІЛЬКОСТІ ТА ВИТРАТИ РЕЧОВИН.....</b>	<b>246</b>
5.1. Класифікація методів і приладів для вимірювання витрати.....	246
5.2. Вимірювання кількості рідин і газів.....	249
5.3. Вимірювання витрати методом змінного перепаду тиску.....	255
5.4. Витратоміри постійного перепаду тиску.....	263
5.5. Електромагнітні витратоміри.....	265
5.6. Ультразвукові витратоміри.....	272
5.7. Вимірювання витрати сипких матеріалів.....	274
5.7.1. Об'ємні дозатори циклічної дії.....	276
5.7.2. Автоматичні вагові дозатори циклічної дії.....	278
5.7.3. Автоматичні вагові дозатори неперервної дії.....	289
5.7.4. Об'ємні дозатори неперервної дії.....	296
5.8. Облік кількості сипких матеріалів.....	297
<b>РОЗДІЛ 6. ВИМІРЮВАННЯ І КОНТРОЛЬ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ І СКЛАДУ РЕЧОВИН.....</b>	<b>301</b>
6.1. Класифікація методів і приладів для вимірювання і контролю складу речовин...	301
6.2. Вимірювання густини.....	302
6.3. Вимірювання в'язкості рідин.....	306
6.4. Вимірювання концентрації розчинів.....	314
6.5. Вимірювання складу газових сумішей.....	322
<b>РОЗДІЛ 7. ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ.....</b>	<b>329</b>
7.1. Загальні визначення та класифікація методів...	329

7.2. Кондуктометричний метод вимірювання вологості.....	332
7.3. Дієлькометричний (конденсаторний) метод вимірювання вологості.....	334
7.4. Нейтронний метод вимірювання вологості.....	335
7.5. Надвисокочастотний метод вимірювання вологості.....	339
7.6. Ваговий метод вимірювання вологості.....	343
7.7. Вимірювання вологості газів.....	344
<b>РОЗДІЛ 8. ВИМІРЮВАННЯ МІЦНОСТІ ТА КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ БЕТОНУ.....</b>	<b>353</b>
8.1. Загальні дані та характеристика методів.....	353
8.2. Акустичні методи вимірювання міцності та якості бетону і залізобетону.....	354
8.3. Радіаційні методи контролю якості бетону і залізобетону.....	364
8.4. Магнітометричні методи контролю залізобетонних конструкцій.....	369
8.5. Контроль якості ущільнення бетонної суміші..	373
<b>РОЗДІЛ 9. КОНТРОЛЬ І ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ АРМАТУРИ.....</b>	<b>379</b>
9.1. Загальні визначення та класифікація методів...	379
9.2. Вимірювання величини попереднього напруження в арматурі.....	381
9.2.1. Вимірювання напруження динамометруванням кінцевого зусилля..	381
9.2.2. Вимірювання напруження в арматурі за її видовженням.....	384
9.2.3. Вимірювання напруження за величиною зусилля, прикладеного до арматури.....	385
9.2.4. Вимірювання напруження за величиною прогину ділянки арматури.....	386
9.2.5. Вимірювання напруження в арматурі за допомогою частотомірів.....	393

9.2.6. Магнітометричні методи вимірювання напруження в арматурі.....	395
9.3. Контроль якості зварних стиків арматури.....	398
РОЗДІЛ 10. АВТОМАТИЗАЦІЯ ОБЛІКУ РОБОТИ БУДІВЕЛЬНИХ МАШИН.....	406
10.1. Класифікація приладів для обліку роботи будівельних машин.....	406
10.2. Автоматизація обліку роботи автосамоскидів.....	407
10.3. Прилади для обліку роботи землерийних і землерийно-транспортних машин.....	410
10.4. Автоматизація обліку роботи кранів.....	416
РОЗДІЛ 11. ВИМІРЮВАННЯ І КОНТРОЛЬ ОКРЕМИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ.....	421
11.1. Вимірювання напружень (деформацій) у будівельних конструкціях.....	421
11.2. Вимірювання і контроль зусиль.....	428
11.3. Автоматизація контролю і захисту роботи вантажопідіймальних механізмів.....	435
11.4. Вимірювання і контроль параметрів транспортних засобів.....	439
11.5. Вимірювання і контроль механічних коливань і вібрацій.....	451
РОЗДІЛ 12. ЗАСТОСУВАННЯ мікроЕОМ І МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ ТЕХНІКИ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ І КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ.....	457
12. 1. Загальні положення та класифікація систем..	457
12.2. Вимірювальні комутатори.....	463
12.3. Скануючі ВІС.....	466
12.4. Багатоточкові ВІС.....	469
12.5. Мультипліковані ВІС.....	471
12.6. ВІС паралельної дії.....	474
12.7. Стандартні цифрові інтерфейси.....	476
12.8. Сучасні ВІС деяких фірм розвинутих країн.....	481
Література.....	488



## ПЕРЕДМОВА

У сучасних умовах засобами автоматизації оснащують не тільки машини і механізми та різноманітне технологічне обладнання, але й пристрої обліку та контролю роботи, планування і керування, проектування та багато інших складових виробничого процесу. Впровадження автоматизації у будівництво та виробництво будівельних матеріалів і конструкцій викликане не тільки потребою підвищення продуктивності та ефективності будівельного виробництва, а й вимогами покращання якості виконання будівельних робіт та продукції заводів будівельної індустрії. Важливу роль у цьому процесі має вимірювальна інформація, яка містить кількісну і якісну оцінки стану технологічних процесів, характеристик виробів, стану докільля тощо. Цю інформацію одержують за допомогою різноманітних перетворювачів і приладів. Результати будь-яких вимірювань спотворюються різноманітними похибками, характер і рівні яких залежать не тільки від індивідуальних особливостей використовуваної апаратури, але й від режиму вимірюваних процесів та зовнішніх збурень, що діють на об'єкт і елементи вимірювання та вимірювальні пристрої.

Багато сучасних складних технологічних процесів не можуть функціонувати без наявності відповідних вимірювальних систем. Часто великі обсяги інформації вимагають негайної її систематизації та аналізу для прийняття відповідних рішень. Тому в таких системах широко використовують мікроЕОМ.

Навчальний посібник написано для студентів будівельних спеціальностей і спеціальностей виробництва будівельних матеріалів та конструкцій, що вивчають курси автоматизації, вимірювання і

контролю технологічних процесів відповідних виробництв. У посібнику наведено конструкції та принципи роботи основних первинних перетворювачів, вимірювальних схем та приладів, вимірювальних підсилювачів і уніфікуючих перетворювачів, а також прилади та пристрої, які застосовують для вимірювання і контролю різноманітних параметрів технологічних процесів у будівництві та виробництві будівельних матеріалів і конструкцій. Наведено конструктивні схеми та пояснюються принципи роботи пристроїв для вимірювання температури, тиску, рівня вологості та інших фізико-хімічних параметрів, що характеризують деякі технологічні процеси, конструкції та матеріали, які застосовують у будівництві. Описано суто специфічні методи та пристрої для вимірювання і контролю деяких технологічних параметрів, які застосовують тільки у будівництві. Крім того, наведено методи і описано пристрої для вимірювання і контролю параметрів бетону, залізобетону, арматури, якості виконаних будівельно-монтажних робіт тощо.

Перехід на тривірневу систему підготовки спеціалістів істотно змінив навчальні плани та програми. Значно розширено курси "Автоматизації", про що сказано вище. Це вимагає написання нових підручників та навчальних посібників, а також нових підходів у висвітленні матеріалу в них. Єдиної програми курсів не існує, ВНЗ надано право складати їх самостійно, тому для багатьох споріднених спеціальностей у багатьох ВНЗ вони дещо відрізняються. Посібник написано згідно з програмами, складеними у Національному університеті "Львівська політехніка", якими передбачено вивчення вказаної дисципліни на базовому (бакалаврському) та інженерному рівнях. На всіх рівнях передбачено лекції, лабораторні і практичні заняття, виконання розрахунково-графічних та курсових робіт, тому посібник насичено довідковим матеріалом, що значно полегшить роботу студентів.

Технічна література та підручники із автоматизації будівництва українською мовою майже не видавались. Недостатньо ще термінологічних і технічних словників, тому посібник актуальний і має практичну цінність. Він також буде корисний для інженерно-технічних працівників будівельних спеціальностей та студентів

суміжних спеціальностей, що вивчають дисципліну “Автоматика та автоматизація технологічних процесів і виробництв” тощо.

Крім того, починаючи з 1993 р., в Україні почали розробляти і вводити Державні стандарти у багатьох галузях науки і техніки. Вимоги стандартів стали чинні для використання у роботі підприємств, установ, організацій, що діють на території України, технічних комітетів зі стандартизації, науково-технічних та інженерних товариств, міністерств і відомств. Для тих галузей народного господарства, де такі стандарти ще не розроблено, чинними є ГОСТи і СНіПи.

У 1994 р. Державний стандарт України увів стандарт ДСТУ 2681-94 “Метрологія. Терміни та визначення”. Цей стандарт установив нові терміни та визначення багатьох понять у галузі метрології та метрологічного забезпечення.

Терміни, регламентовані в цьому стандарті, обов’язкові для використання в усіх видах нормативної документації, у довідковій, науково-технічній та навчально-методичній літературі, що належать до метрології та метрологічного забезпечення, а також для робіт зі стандартизації або під час використання результатів цих робіт, враховуючи програмні засоби для комп’ютерних систем.

Тепер для кожного поняття встановлено один стандартизований термін, але допускають, як виняток, відповідні синоніми. У навчальному посібнику усі необхідні терміни із розділу метрології та метрологічного забезпечення вимірювань зведено до чинного ДСТУ. На жаль, через брак навчальної та навчально-методичної літератури, цього не завжди дотримуються у навчальному процесі, тому посібник буде корисний, оскільки сприятиме ліквідації цього недоліку.

## ВСТУП

Серед напрямів науково-технічного прогресу, що визначають перспективи довготривалого розвитку економіки України, вирізняється розвиток прогресивних малоопераційних технологій, а також технологій, які максимально знижують витрати сировини, палива, енергоресурсів, матеріалів і забезпечують охорону довкілля. Це повною мірою стосується також будівництва та виробництва будівельних матеріалів і конструкцій. Для досягнення значних результатів виробництво повинно опиратися на пріоритети, основні з яких: нові сучасні технології; механізація виробництва; автоматизація і роботизація технологічних процесів; застосування ЕОМ та мікропроцесорної техніки.

Для сучасного будівельного виробництва, яке повинно бути оснащено прогресивною технікою, необхідна комплексна механізація, тобто комплексне використання машин і механізмів на усіх етапах будівництва, а функція робітника – допомагати в керуванні цими машинами. Комплексна механізація значно підвищує продуктивність праці порівняно з частковою механізацією, а також забезпечує краще використання технологічного обладнання, машин і механізмів та меншу вартість виконання робіт.

Важливим є впровадження у будівництво автоматизації, де на сьогодні ще існують значні обсяги ручної праці. Необхідність автоматизації технологічних процесів будівельного виробництва зумовлена не тільки потребою підвищення продуктивності та ефективності будівництва, а й вимогами покращання якості виконання будівельних робіт. У сучасних умовах неможливо підвищити ці показники без автоматизації машин, механізмів та різноманітного

технологічного обладнання, без оснащення засобами автоматизації процесів обліку та контролю роботи, планування, керування і проектування та багатьох інших складових виробничого процесу.

Характерною особливістю автоматизації виробництва є те, що на певному етапі переоснащування настає період, коли автоматизація дає можливість застосовувати принципово нову технологію.

Сучасний етап автоматизації опирається на революцію в електронно-обчислювальній техніці, електронізацію народного господарства. На сьогодні новий, якісніший розвиток автоматика одержала в Україні і за кордоном у зв'язку із швидким упровадженням мікропроцесорної техніки. Хоч це і вимагає матеріальних витрат і часу, але швидко окупиться інтенсифікацією виробництва, підвищенням якості та гнучкості технології.

Зараз у розвинутих країнах інтенсивно ведуться роботи для повного усунення ручної праці, впровадження засобів механізації та дистанційного керування будівельними машинами і технологічними механізмами. Вирішення питань комплексної механізації і автоматизації традиційними засобами не завжди дає бажаний результат. Перспективним напрямком вирішення цих завдань є впровадження засобів робототехніки. Впровадження роботів і маніпуляторів уможливорює вдосконалення будівельних технологій, але це вимагає проведення великого комплексу науково-дослідних робіт і дослідно-конструкторських розробок. Крім того, роботизація будівельних операцій пов'язана з великими капітальними затратами і вирішенням складних питань експлуатації та технічного обслуговування, а швидка окупність можлива тільки за комплексного вирішення всіх питань і широкомасштабного впровадження.

Вища форма автоматизації сьогодні реалізується за допомогою гнучких виробничих систем, що створюють реальні передумови для переходу до повністю роботизованих технологій, для істотного підвищення ефективності сучасного виробництва. Гнучкі виробничі системи швидко переналагоджують на випуск нових виробів. Структурно вони мають ієрархічну тривірневу систему, де на першому рівні здійснюють автоматизацію найпростіших технологічних операцій з використанням роботів і маніпуляторів. На



другому рівні здійснюють організаційно-технологічне керування з координацією окремих модулів цілої системи. На третьому рівні здійснюють оперативно-виробниче керування, що реалізується функціями тижневого і змінно-добового планування, обліку і контролю.

Розробка і широке впровадження гнучких автоматизованих систем є важливою науково-технічною проблемою, вирішення якої має велике народногосподарське значення для прискорення науково-технічного прогресу, технічного переозброєння і реконструкції виробництва.

Основними завданнями автоматизації технологічних процесів у будівельній індустрії є найоптимальніше завантаження будівельних машин, механізмів і обладнання, підвищення їхньої продуктивності, зменшення трудозатрат, забезпечення безпечних умов праці, повноцінніше і ефективніше використання матеріалів, покращання їхньої якості та якості будівельно-монтажних робіт і, як результат, ефективніше використання капіталовкладень.

Повнішу автоматизацію виробничих процесів у будівництві визначають його індустріалізацією, одним із найважливіших аспектів якої є перенесення найтрудомісткіших процесів на комплексно-механізовані і автоматизовані технологічні лінії підприємств будівельної індустрії. Виробництво уніфікованих збірних деталей і конструкцій високої заводської готовності, своєю чергою, визначає можливість автоматизації виробничих процесів на всіх етапах будівельного конвеєра: *виготовлення деталей і конструкцій – транспортування – монтаж.*

Упровадження автоматизації і роботизації у будівництво характеризується величезними потоками інформації, яка циркулює у всій цій індустрії. Важливу роль серед різних видів інформації має вимірювальна інформація, яка містить кількісну оцінку стану технологічного процесу, характеристик виробів, стану довкілля тощо. Результати вимірювань спотворюються різноманітними похибками, характер і рівні яких залежать не тільки від індивідуальних особливостей використовуваної апаратури, але і від режимів вимірювальних процесів, взаємодії різноманітного технологічного обладнання, зовнішніх збурень, що діють на об'єкт і елементи

вимірювання. Особливо це стосується умов будівництва, де усі ці прояви виражені особливо чітко.

Одержання і обробка великої кількості інформації неможлива без сучасних ЕОМ та інших засобів електронно-обчислювальної техніки. Вони дають змогу здійснювати обробку необхідної інформації, різноманітні технологічні розрахунки, негайну систематизацію і аналіз для прийняття відповідних рішень. ЕОМ є потужним інструментом, який багатократно підсилює можливості людини в складному процесі автоматизованого керування. Такі системи широко впроваджують в сучасні виробництва.

Заводи будівельної індустрії, бетонні, будівельних матеріалів і навіть окремі установки оснащено великою кількістю приладів для вимірювання і контролю різноманітних параметрів технологічних процесів. Насиченість їх такими засобами безперервно зростає, оскільки автоматизація є однією із головних ланок у технологічних процесах. Причому ці засоби стають щоразу складнішими, вдосконаленішими, побудовані на сучасних засобах мікропроцесорної техніки, мають великі терміни служби, простіші в обслуговуванні та мають малі похибки.

На рис. 1В показано технологічну схему автоматизованої бетонозмішувальної установки СКБ-145 продуктивністю 30 м<sup>3</sup>/год. Такі установки монтують у місцях забудови або на потужних будовах (тунелі, греблі, аеродроми) для виробництва товарного бетону.

Як бачимо з наведеної схеми, всі процеси приготування товарного бетону на установці – автоматизовані. До її складу входить пульт керування, на який виведено усі пости керування та пристрої вимірювання, і контроль параметрів технологічного процесу. Установку оснащено тензометричними дозаторами цементу ДТЦ-500, заповнювачів – ДТИ-2500, води – ДТЖ-200 і хімічних – додатків ДТЖ-100. На центральний пульт управління дистанційно передають покази маси дозованих компонентів. На ньому оператор може змінювати дози, коригувати склад бетонної суміші, змінювати рецепти, користуючись даними вимірювальних приладів, та здійснювати контроль і вимірювання інших параметрів технологічного процесу. Схемою установки передбачено вимірювання і

регулювання рівня цементу в силосних складах та контроль рівнів заповнювачів у нагромаджувальних бункерах. За допомогою вологоміра ВПС-205М контролюють температуру і вологість піску. Вимірюють і регулюють також температуру води у теплообміннику.

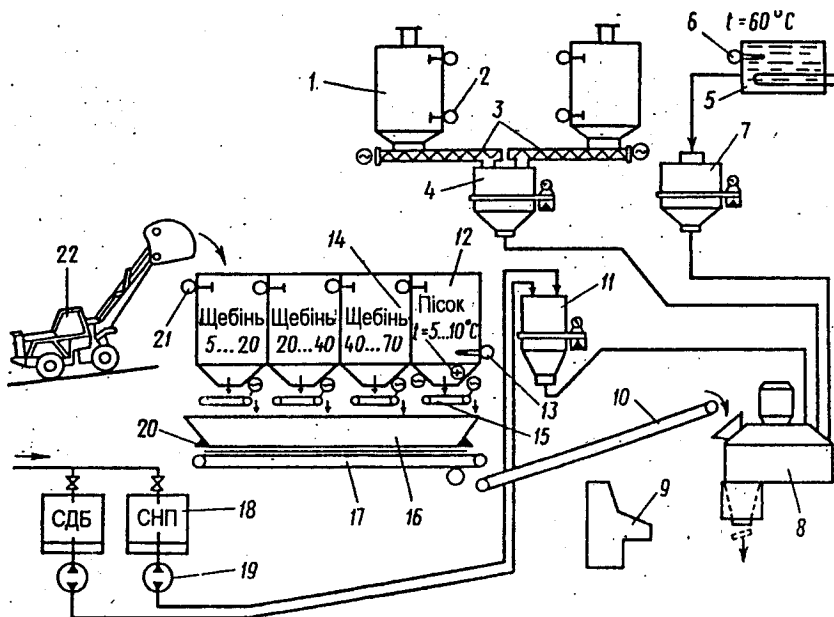


Рис. 1В. Технологічна схема

автоматизованої бетонозмішувальної установки СКБ-145:

- 1 – силосний склад цементу; 2 – перетворювач рівня цементу; 3 – гвинтовий живильник; 4 – дозатор цементу; 5 – бойлер гарячої води; 6 – перетворювач контролю температури гарячої води; 7 – дозатор води; 8 – бетонозмішувач; 9 – пульт керування; 10 – похилий транспортер; 11 – дозатор рідких хімічних додатків; 12 – бункери заповнювачів і піску; 13 – перетворювач контролю температури заповнювачів; 14 – перетворювач контролю вологості піску; 15 – стрічковий живильник; 16 – тензометричний ваговий пристрій; 17 – горизонтальний розвантажувальний транспортер заповнювачів; 18 – місткості для рідких хімічних додатків; 19 – pompa подавання додатків; 20 – тензоперетворювач; 21 – перетворювачі контролю верхнього рівня заповнювачів; 22 – автонавантажувач

Кількість замісів фіксують за допомогою лічильника. Паралельно з автоматичним керуванням схемою передбачено ручне дистанційне керування пристроями та механізмами.

Крім вказаних вище параметрів, на установці контролюють роботу живильників, транспортерів, конвеєрів, положення шиберів і заслінок. Для цього їх оснащено спеціальними реле швидкості, пристроями контролю наявності матеріалу на стрічках, поздовжнього і поперечного розриву стрічок та елементами світлової сигналізації. Тепер існують аналогічні установки, керування якими здійснюють за допомогою ЕОМ, куди виведено також усі дані з пристроїв вимірювання і контролю технологічних параметрів.

Не менш складними є схеми автоматизації інших пристроїв та установок, що використовують на заводах будівельної індустрії (дробарки, сита, сушильні барабани та установки, змішувачі, пропарювальні камери тощо). Тут також потрібно вимірювати і контролювати багато різноманітних параметрів.

### Вимірювання параметрів виробництв із неперервним і дискретним характером технологічних процесів

Вимірювані параметри	Кількість, %, від загальної кількості вимірювань	
	виробництва з неперервними процесами	виробництва з дискретними процесами
Температура	50	8
Витрата речовин (масова і об'ємна)	15	4
Кількість речовини (маса, об'єм)	5	5
Тиск	10	4
Рівень	6	4
Кількість виробів	-	25
Довжина (розміри, положення, віддаль)	-	25
Час	4	15
Склад речовин	4	-
Решта вимірювань (фізико-хімічні властивості, напруга, струм, швидкість)	6	10

**ІТБ ВНТУ**  
**м. Вінниця**

Темпи розвитку будівельної індустрії і підвищення її якості прямо залежать від рівня науково-технічних досягнень у галузі механізації та автоматизації виробництва.

За характером виробництва будівельна промисловість належить до виробництв з дискретним характером технологічних процесів (за винятком деяких заводів будівельних матеріалів, що виготовляють цемент, цеглу, скло тощо). Тому тут є свої певні особливості у кількості вимірювань різних технологічних параметрів. Приблизне уявлення про те, скільки і які параметри вимірюють на виробництвах з неперервним і дискретним характером технологічних процесів, дає таблиця. З неї зрозуміло, що 50 % усіх вимірювань припадає на облік та вимірювання розмірів, положення, віддалі. Щоправда, у таких виробництвах необхідно контролювати і склад речовин. Це пов'язано із сучасними вимогами до охорони праці, довкілля та історичних пам'яток.

Подальший технічний прогрес у будівельній індустрії, перехід до кращої організації та культури виробництва сприятимуть підвищенню продуктивності праці, зменшенню термінів і собівартості та покращанню якості будівництва. Головний напрямок розвитку технічного прогресу в сучасному будівництві повинен ґрунтуватися на комплексній механізації, автоматизації основних і допоміжних процесів, упровадженні сучасних систем контролю і керування, гнучких автоматизованих систем, ЕОМ.



## Розділ 1

# ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЇ ТА ВИМІРЮВАНЬ

### 1.1. Роль вимірювань в управлінні технологічними процесами

Будь-яке керування насамперед вимагає даних про стан об'єкта. Як за ручного, так і за автоматичного керування технологічними процесами і машинами збір інформації пов'язаний із встановленням значень різних показників, які характеризують стан і поведінку об'єкта. Автоматизація технологічних процесів, ефективне керування різними агрегатами, розвиток наукових досліджень вимагають вимірювань різноманітних величин. Про кількість і різноманітність фізичних величин можна міркувати за тим фактом, що система одиниць СІ містить у собі 7 основних, 2 додаткові і 113 похідні одиниці, зокрема простору і часу – 6, механічних – 14, електричних і магнітних – 40, теплових – 11, світлових – 15, акустичних – 14, іонізуючих випромінювань – 2, молекулярної фізики і фізичної хемії – 11 (див. табл. 1.1 і 1.3).

**Фізична величина** – це властивість, спільна в якісному розумінні у багатьох матеріальних об'єктів та індивідуальна в кількісному розумінні у кожного з них.

Отже, фізична величина – це кількісна характеристика властивостей фізичного об'єкта або фізичних систем, їхнього стану і процесів, які в них відбуваються. Електричний опір тіла, тепло, маса, час тощо, усе це – фізичні величини.

Таблиця 1.1

## Основні одиниці в системі SI

Величина	Назва	Позначення	
		українське	міжнародне
Довжина	метр	м	m
Маса	кілограм	кг	kg
Час	секунда	с	s
Сила електричного струму	ампер	А	A
Термодинамічна температура	кельвін	К	K
Сила світла	кандела	кд	cd
Кількість речовини	моль	моль	mol
Додаткові одиниці			
Площинний кут	радіан	рад	rad
Тілесний кут	стеррадіан	ср	sr

Таблиця 1.2

## Кратні та часткові одиниці вимірювань

Множник	Назва	Позначення	
		українське	міжнародне
$10^{18}$	екса	Е	E
$10^{15}$	пега	П	P
$10^{12}$	тера	Т	T
$10^9$	гіга	Г	G
$10^6$	мега	М	M
$10^3$	кіло	к	k
$10^2$	гекто	г	h
$10^1$	дека	да	da
$10^{-1}$	деци	д	d
$10^{-2}$	санти	с	c
$10^{-3}$	мілі	м	m
$10^{-6}$	мікро	мк	μ
$10^{-9}$	нано	н	n
$10^{-12}$	піко	п	p
$10^{-15}$	фемто	ф	f
$10^{-18}$	атто	а	a

Таблиця 1.3

## Похідні одиниці системи SI, що мають власні назви

Величина	Одиниця		Вираження похідної одиниці	
	назва	позначення	через інші одиниці	через основні одиниці
Частота	герц	Гц	–	$\text{с}^{-1}$
Сила	ньютон	Н	–	$\text{м}\cdot\text{кг}\cdot\text{с}^{-2}$
Тиск	паскаль	Па	$\text{Н}/\text{м}^2$	$\text{м}^{-1}\cdot\text{кг}\cdot\text{с}^{-2}$
Енергія, робота, кількість теплоти	джоуль	Дж	Н·м	$\text{м}^2\cdot\text{кг}\cdot\text{с}^{-2}$
Потужність, потік енергії	ват	Вт	Дж·с	$\text{м}^2\cdot\text{кг}\cdot\text{с}^{-2}$
Кількість електрики, електричний заряд	кулон	Кл	А·с	с·А
Електрична напруга, електричний потенціал	вольт	В	Вт/А	$\text{м}^2\cdot\text{кг}\cdot\text{с}^{-3}\cdot\text{А}^{-1}$
Електрична ємність	фарада	Ф	Кл/В	$\text{м}^{-2}\cdot\text{кг}^{-1}\cdot\text{с}^4\cdot\text{А}^2$
Електричний опір	ом	Ом	В/А	$\text{м}^2\cdot\text{кг}\cdot\text{с}^{-3}\cdot\text{А}^{-2}$
Електрична провідність	сіменс	См	А/В	$\text{м}^{-2}\cdot\text{кг}^{-1}\cdot\text{с}^3\cdot\text{А}^2$
Потік магнітної індукції	вебер	Вб	В·с	$\text{м}^2\cdot\text{кг}\cdot\text{с}^{-2}\cdot\text{А}^{-1}$
Магнітна індукція	тесла	Тл	Вб/м	$\text{кг}\cdot\text{с}^{-2}\cdot\text{А}^{-1}$
Індуктивність	генрі	Гн	Вб/А	$\text{м}^2\cdot\text{кг}\cdot\text{с}^{-2}\cdot\text{А}^{-2}$
Світловий потік	люмен	лм	–	кд·ср
Освітленість	люкс	лк	–	$\text{м}^{-2}\cdot\text{кд}\cdot\text{ср}$
Активність нукліду	беккерель	Бк	–	$\text{с}^{-1}$
Поглинута доза випромінювання	грей	Гр	–	$\text{м}^2\cdot\text{с}^{-2}$

Різноманітні фізичні величини мають істотно різну фізичну природу, тому різняться методи і засоби їхніх вимірювань. Для зручності їх поділяють на електричні, магнітні та неелектричні.

Характерною особливістю сучасних вимірювань є те, що не тільки електричні та магнітні, але й більшість неелектричних величин вимірюють електричними методами. Це обумовлено багатьма перевагами електричних вимірювань:

- електричні величини зручно передавати на віддаль;

- електричні величини універсальні і легко трансформуються в інші електричні параметри;
- будь-які інші величини можуть бути перетворені в електричні, і навпаки;
- електричні величини легко, точно і швидко перетворюються в цифровий код, і навпаки;
- електричні вимірювання дають змогу досягнути високої точності, чутливості та швидкості засобів вимірювання.

Автоматизація технологічних процесів в усіх галузях народного господарства призводить до збільшення загального об'єму електричних вимірювань фізичних величин. Розподіл часток вимірювань різних фізичних величин у промисловості наведено в табл. 1В. Будівельна галузь має різні характери виробництва. Само будівництво та виробництво будівельних конструкцій належить до виробництв із дискретним характером технологічних процесів, а більшість виробництв будівельних матеріалів – до неперервного.

Отже, вимірювання фізичних величин – це масовий процес, у якому основну частку становлять вимірювання неелектричних величин. Очевидно, наведені вище цифрові дані належать до будівництва і виробництва будівельних конструкцій і виробів та виробництва будівельних матеріалів (цемент, скло, вапно, гіпс, цегла тощо).

Автоматизація виробничих процесів у будівництві і будівельній індустрії ґрунтується на елементній базі, що містить електричні, електротехнічні, магнітні, гідравлічні та інші пристрої. Останнім часом широко впроваджують електронні пристрої автоматики, засоби мікропроцесорної техніки, роботи, маніпулятори, мініЕОМ, комп'ютери тощо, що підіймає автоматизацію на якісно новий рівень. Відповідно на якісно новому рівні повинні бути і технологічні вимірювання різноманітних параметрів.

## 1.2. Одиниці та системи фізичних величин

Усі тіла мають масу, температуру, довжину, об'єм тощо, які існують незалежно від нашої свідомості. В одного фізичного тіла певних властивостей більше або менше ніж в іншого. Якісну означеність відображає рід фізичної величини. Порівнювати в тілах можна тільки кількісний склад однієї і тієї самої властивості.

Фізичні величини поділяють на основні та похідні. Вони відображаються в нашій свідомості значеннями.

Значення фізичної величини – це відображення фізичної величини у вигляді числового значення величини з позначенням її одиниці.

Істинне значення фізичної величини – це таке її значення, яке ідеально відображало б певну властивість об'єкта.

Істинне значення належить більше до філософських понять, оскільки істини не знає ніхто. Істину знає тільки Бог. На практиці користуються умовно істинним або дійсним значенням фізичної величини, що визначають як значення фізичної величини, яке знайдене експериментально і настільки наближається до істинного значення, що для цієї мети може бути використане замість нього.

Як одиницю фізичної величини розуміють таку фізичну величину певного розміру, яку прийнято за угодою для кількісного відображення однорідних з нею величин.

Одиниці фізичних величин поділяють на системні (основні, похідні, когерентні) та позасистемні.

Основною одиницею фізичних величин називають одиницю основної фізичної величини в певній системі величин.

Похідною одиницею фізичної величини називають одиницю похідної фізичної величини в певній системі одиниць.

Когерентна одиниця – похідна одиниця, що пов'язана з іншими одиницями системи рівнянням, у якому числовий коефіцієнт прийнятий таким, що дорівнює одиниці. Наприклад, одиниця швидкості  $1 \text{ м/с}$  утворена за рівнянням зв'язку між одиницями  $[V] = [l] \cdot [\tau^{-1}]$ , де  $[l] = 1 \text{ м}$ ,  $[\tau] = 1 \text{ с}$ .



Позасистемні одиниці фізичних величин – це такі, що не належать до цієї системи одиниць.

Одиниці фізичних величин поділяють ще на кратні та часткові. Кратні одиниці фізичної величини в ціле число разів більші від одиниць, з яких вони утворюються, а часткові – в ціле число менші.

З розвитком науки і техніки з'явилося багато систем одиниць, які ґрунтувались на метричній системі: СГС, МКС, МТС, МКГСС тощо. Наявність багатьох систем, а також позасистемних одиниць, значно утруднювала вимірювання у зв'язку з перекладом значень вимірюваних величин і відповідних констант із однієї системи в іншу, а також привела до введення великої кількості різних коефіцієнтів.

Автоматизація виробничих процесів і використання електронно-обчислювальної техніки вимагали уніфікації одиниць фізичних величин, як основних характеристик сигналів інформації. У 1960 р. XI Генеральною конференцією з мір і ваг прийнято Міжнародну систему одиниць SI. Ця система одиниць є універсальною системою і охоплює всі галузі науки і техніки.

Основні одиниці системи SI наведено в табл. 1.1. Похідні одиниці утворюються із основних і додаткових одиниць за допомогою визначаючих рівнянь згідно з принципами побудови систем одиниць. Ця система є також когерентною, оскільки використовує когерентні похідні одиниці. Крім того, як основні одиниці, так і більшість похідних одиниць системи за своїми розмірами зручні для їхнього практичного використання.

### **1.3. Коротка класифікація вимірювань**

Для знаходження значень фізичних величин використовують вимірювання.

Вимірюванням називають відображення вимірюваних величин їхніми значеннями методом експерименту та обчислень за допомогою спеціальних технічних засобів.

Вимірюваною величиною називають фізичну величину чи параметри її залежності, що підлягають вимірюванню.

Залежно від способу одержання результату вимірювання поділяють на пряме і непряме.

Прямим вимірюванням називають вимірювання однієї величини, значення якої знаходять безпосередньо без перетворення її роду та використання відомих залежностей.

Прямі вимірювання умовно можна виразити формулою

$$X = Y, \quad (1.1)$$

де  $Y$  – шукане значення вимірюваної величини;  $X$  – значення, одержане безпосередньо із дослідних даних.

До цього методу вимірювань зараховують вимірювання різних фізичних величин за допомогою приладів, які градуйовані у встановлених одиницях. Наприклад, вимірювання сили струму амперметром, температури термометром тощо. Сюди належать і вимірювання, за яких шукане значення величини одержують безпосереднім порівнянням її з мірою. Наприклад, вимірювання ваги на вазі з важками.

Непрямим називають таке вимірювання, у якому значення однієї чи декількох вимірюваних величин знаходять після перетворення роду величини чи обчислення за відомими залежностями їх від декількох величин аргументів, які вимірюють прямо.

Непрямі вимірювання поділяють на опосередковані, сукупні та сумісні.

Опосередкованим вимірюванням називають непряме вимірювання однієї величини з перетворенням її роду чи обчисленнями за результатами вимірювань інших величин, з якими вимірювана величина пов'язана явною функціональною залежністю.

За опосередкованих вимірювань числове значення вимірюваної величини визначають методом обчислень за формулою

$$Y = F(X_1, X_2, \dots, X_n), \quad (1.2)$$

де  $X_1, X_2, \dots, X_n$  – значення вимірюваних величин.

До таких вимірювань можна зарахувати вимірювання температури термометром опору або термопарою, деформацій залізобетонних конструкцій тензоперетворювачем тощо.

С у к у п н и м вимірюванням називають непряме вимірювання, в якому значення декількох одночасно вимірюваних однорідних величин отримують розв'язанням рівнянь, що пов'язують різні сполучення цих величин, які вимірюються прямо чи опосередковано:

$$\begin{aligned} F_1(Y_1, Y_2, \dots, X_1', X_2', \dots) &= 0, \\ F_2(Y_1, Y_2, \dots, X_1'', X_2'', \dots) &= 0, \end{aligned} \quad (1.3)$$

де  $Y_1, Y_2, \dots$  – значення шуканих величин;  $X_1, X_2, \dots$  – значення безпосередньо вимірюваних величин.

С у м і с н и м вимірюванням називають непряме вимірювання, в якому значення декількох одночасно вимірюваних різно-рідних величин отримують розв'язанням рівнянь, які пов'язують їх з іншими величинами, які вимірюють прямо чи опосередковано.

Прикладом сумісних вимірювань може бути визначення температурного коефіцієнта опору за формулою

$$R_t = R_0(1 + \alpha \cdot t), \quad (1.4)$$

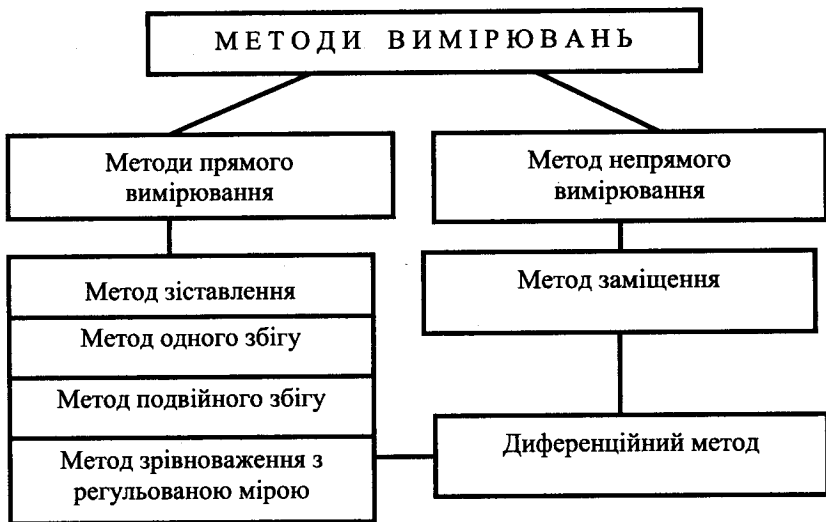
де  $R_t$  – опір за температури  $t$ , °C, Ом;  $R_0$  – опір за температури  $0$  °C, Ом;  $\alpha$  – температурний коефіцієнт опору,  $1/^\circ\text{C}$ ;  $t$  – температура, °C;

$$\alpha = \frac{R_t - R_0}{R_0 \cdot t}. \quad (1.5)$$

У цьому випадку опір і температуру вимірюють за допомогою спеціальних приладів, а термічний коефіцієнт визначають із наведених залежностей.

Усілякі вимірювання являють собою фізичний експеримент, виконання якого ґрунтується на використанні тих або інших фізичних явищ.

Сукупність способів використання засобів вимірювальної техніки та принципу вимірювань для створення вимірювальної інформації становить м е т о д вимірювання. Розрізняють методи прямого і непрямого вимірювання. Методи прямого вимірювання – зіставлення, одного збігу, подвійного збігу, зрівноваження з регульованою мірою та диференційний. До непрямого вимірювання належить тільки метод заміщення (рис. 1.1).

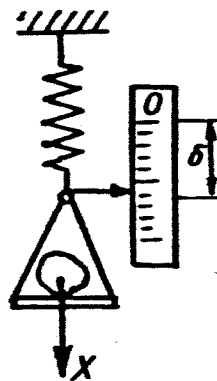


*Рис. 1.1. Класифікація методів вимірювань*

Метод зіставлення реалізується прямим вимірюванням з одноразовим порівнянням вимірюваної величини з усіма вихідними величинами багатозначної нерегульованої міри. Прикладом такого методу є вимірювання за допомогою лінійки або пружинними вагами (рис. 1.2).

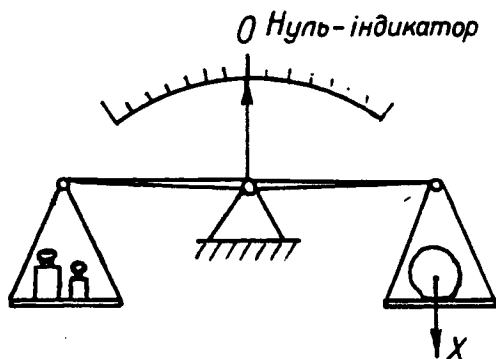
Метод одного збігу – це метод прямого вимірювання з одноразовим порівнянням вихідних величин двох багатозначних нерегульованих мір, з різними значеннями ступенями, нульові позначки яких зсунуті між собою на виміряну величину. Прикладом такого методу є вимірювання за допомогою штангенциркуля або мікрометра. Так само реалізується і метод подвійного збігу.

Метод зрівноваження з регульованою мірою – це метод прямого вимірювання з багаторазовим порівнянням вимі-



*Рис. 1.2. Схема реалізації вимірювань методом зіставлення*

рюваної величини та величини, що відтворюють мірою, яку регулюють до їхнього повного зрівноваження. Найпростішим прикладом такого методу є вимірювання ваги на вазі з важками (рис. 1.3).



*Рис. 1.3. Схема реалізації вимірювань методом зрівноваження з регульованою мірою*

Диференційний метод можуть реалізовувати прямим і непрямим вимірюванням, за ним невелику різницю між вимірюваною величиною та вихідною величиною одноканальної міри вимірюють відповідним засобом вимірювання.

Метод заміщення – це метод непрямого вимірювання з багаторазовим порівнянням до повного зрівноваження вихідних величин вимірювального перетворювача з почерговим перетворенням ним вимірюваної величини та вихідної величини регульованої міри.

## **1.4. Засоби вимірювань**

Враховуючи вищесказане, для реалізації принципів і методів вимірювання використовують різноманітні засоби вимірювальної техніки.

З а с о б и в и м і р ю в а л ь н о ї т е х н і к и – це технічні засоби, які застосовують під час вимірювань і які мають нормовані

метрологічні характеристики. За метрологічним визначенням засоби виміральної техніки поділяють на робочі, зразкові і вихідні зразкові. До них належать засоби вимірювань та вимірвальні пристрої.

**З а с о б а м и в и м і р ю в а н ь** називають засоби виміральної техніки, які реалізують процедуру вимірювань. До них належать вимірвальні пристрої, прилади, канали, системи та реєструвальні засоби.

**В и м і р ю в а л ь н и м и п р и с т р о я м и** називають засоби виміральної техніки, в яких виконують лише одну зі складових частин процедури вимірювань (вимірвальну операцію). Сюди належать міри, компаратори, вимірвальні перетворювачі, масштабні перетворювачі та обчислювальний компонент.

**М і р и** – це вимірвальні пристрої, що реалізують відтворення та (або) збереження фізичної величини заданого значення. Мірами є, наприклад, важки, котушки опорів тощо. До мір належать також стандартні зразки і речовини.

Важливими засобами вимірювання є еталони та стандартні зразки.

**Е т а л о н и** – це засоби виміральної техніки, що забезпечують відтворення та (або) зберігання одиниці фізичної величини та передавання її розміру відповідним засобам, які оцінені нижче за верифікаційною схемою і офіційно затверджені як еталони.

Еталони, які відтворюють одну і ту саму величину, поділяють на: первинні, вторинні, спеціальні, державні, копії, робочі, міжнародні та передавання.

**С т а н д а р т н і з р а з к и** – це міри у вигляді речовини або матеріалу зі встановленими в результаті метрологічної атестації значеннями однієї або більше величин, що характеризують властивості або склад цієї речовини або матеріалу.

Різноманітність фізичних величин визначає і різноманітність стандартних зразків і еталонів. Нижче розглядатимуться тільки деякі міри основних фізичних величин і мір величин, які широко використовують в електровимірвальній техніці.

Мірою довжини є метр. Цей еталон має таке визначення: “метр – довжина, яка дорівнює  $1650763,73$  довжин хвиль у вакуумі випроміню-

вання, що відповідає оранжевій лінії спектра криптона-86". Середнє квадратичне відхилення за відтворення метра не перевищує  $10^{-8}$  м.

У виробничих умовах широко застосовують штрихові міри довжини: рулетки, лінійки, складні метри, нівелірні рейки тощо. Точнішими мірами довжини є кінцеві міри довжини, які широко використовують на приладобудівних і машинобудівних заводах (мікрометри). В таких приладах довжину визначають не віддаллю між штрихами, а віддаллю між двома паралельними площинами.

Одиницею маси є кілограм, що речовинно відтворюють прототипом кілограма. На основі міжнародної угоди всіх держав – учасниць метричної конвенції ще царська Росія одержала дві копії: № 12 і 26. Кілограм № 12 було оголошено Державним еталоном колишнього СРСР. Він є також еталоном для України. Середнє квадратичне відхилення відтворення кілограма –  $7 \cdot 10^{-9}$  кг. Як робочі міри використовують еталони, що виготовляють із сталі, бронзи або латуні, які являють собою набори важок із номінальними значеннями від 1 мг до 20 кг. Зразкові важки за точністю поділяють на три розряди.

Мірою часу є секунда, що відтворюють за допомогою цезієвого атомно-променевого еталону, який ґрунтується на тому, що під час переходу атома із стану з енергією  $E_1$  у стан із енергією  $E_2$  ( $E_1 > E_2$ ) випромінюється квант енергії у вигляді електромагнітної хвилі, частота якої дорівнює

$$f = \frac{(E_1 - E_2)}{h}, \quad (1.6)$$

де  $h$  – стала Планка.

Секунду визначають як інтервал часу, який дорівнює 9 192 631 770 періодам випромінювання квантового переходу атома цезію-133. Середнє квадратичне значення похибки відтворення секунди менше ніж  $10^{-13}$  с.

Мірами електрорушійних сил і напруг постійного струму слугують нормальні елементи. Нормальним називають гальванічний елемент з ЕРС близько 1,0186 В, що залишається незмінною десятки років. ЕРС нормального елемента залежить від температури, що виражають формулою

$$E_t = E_{20} - 0,00004 \cdot (t - 20) - 0,000001 \cdot (t - 20)^2, \quad (1.7)$$

де  $E_t$  і  $E_{20}$  – ЕРС за температур  $t$  і  $20$  °С відповідно.

Насичені нормальні елементи за точністю поділяють на три класи: 0,001; 0,002; 0,005. Числа, які позначають клас точності, вказують на допустиму зміну ЕРС елемента за рік, що виражено у відсотках.

Крім насичених, виготовляють ненасичені нормальні елементи, які мають меншу точність (клас 0,02) і які використовують для технічних вимірювань, наприклад, у переносних і автоматичних потенціометрах.

Мірами електричного опору є вимірювальні котушки опору. За точністю їх поділяють на п'ять класів: 0,002; 0,005; 0,01; 0,02; 0,05. Число, яке позначає клас, вказує на найбільше відхилення опору котушки від номінального за температури  $20$  °С у відсотках. Вимірювальні котушки опорів необхідні тільки під час точних лабораторних вимірювань. Для менш точних вимірювань використовують магазини опорів, що складаються із набору котушок опорів, менш точних і простіше виконаних.

Вимірювальні котушки слугують також мірами індуктивності. Однак необхідно врахувати, що котушка індуктивності завжди має активний опір і ємність між затискачами. Такі прилади використовують як котушки взаємоіндуктивності, варіометри і магазини індуктивностей. За використання котушок на частотах, більших від  $1$  МГц, починає проявлятися поверхневий ефект.

Зразкові засоби вимірювальної техніки (засоби вимірювань) являють собою засоби вимірювальної техніки (засоби вимірювань), які використовують для верифікації інших засобів вимірювальної техніки (вимірювання) і затверджені як зразкові. Найчастіше їх використовують для верифікації робочих та лабораторних вимірювальних приладів.

Вихідні зразкові засоби вимірювальної техніки (засоби вимірювань) – це засоби вимірювальної техніки (засоби вимірювань), що мають метрологічні характеристики, які відповідають найвищому ступеню верифікаційної схеми метрологічної служби. Їх застосовують для верифікації зразкових засобів



вимірювальної техніки. За колишніми стандартами такі прилади називали еталонними і використовували для зберігання і відтворення одиниць вимірювання з найвищою за цього стану вимірювальної техніки точністю.

**Вимірювальні прилади** – це засоби вимірювань, призначені для створення візуального сигналу вимірювальної інформації. Їх поділяють на вимірювальні прилади прямої дії і прилади порівнювання. У вимірювальному приладі прямої дії передбачено одне або декілька перетворювань сигналу вимірювальної інформації в одному напрямку, тобто без використання зворотного зв'язку.

Характерною особливістю приладів прямої дії є споживання енергії від об'єкта вимірювання. Але це не виключає можливості використання таких приладів для вимірювання, наприклад, електричного опору або ємності, хоч для цього необхідно використовувати допоміжне джерело енергії.

Вимірювальний прилад одночасного порівнювання призначений для безпосереднього порівнювання вимірюваної величини із величиною, значення якої відоме. Очевидно, що такі прилади повинні мати ланку зворотного зв'язку і замкнуту структуру. У вимірювальних приладах порівнювання в колі зворотного зв'язку завжди формується фізична величина, однорідна із вимірюваною, яка подається на вхід приладу. В таких приладах порівнювання вимірюваної величини із мірою може здійснюватись або одночасно (нульовий метод), або різночасово (метод заміщення).

На рис. 1.4 зображено структурну схему автоматичного приладу порівнювання, який має пристрій порівняння ПП, пристрій керування ПК і вимірювану міру  $M$  з відліковим пристроєм.

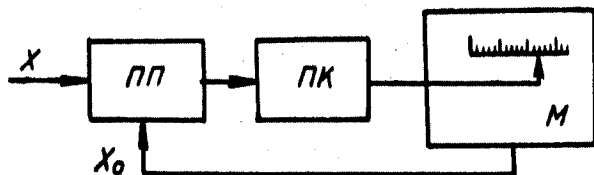


Рис. 1.4. Структурна схема автоматичного приладу порівнювання

Вимірювану величину  $X$  і однорідну з нею величину  $X_0$  подають на входи пристрою порівняння ПП. Величину  $X_0$  одержують від регульованої міри  $M$ . Залежно від результату порівнювання  $X$  з  $X_0$  пристрій керування ПК діє на міру  $M$  в такий спосіб, щоб величина  $(X - X_0)$  зменшилась до нуля. Процес зрівноважування закінчується, коли  $X_0 = X$ . При цьому значення вимірюваної величини відраховують за шкалою регульованої міри. Якщо в пристрої порівнювання відбувається віднімання величин  $X$  і  $X_0$ , то у цьому приладі реалізується порівняння вимірюваної величини з мірою нульовим методом.

Вимірювальні прилади дуже різноманітні, і їх розрізняють за принципом дії, конструкцією, розмірами тощо. Загальним для усіх приладів є наявність відлікових пристроїв. За способом відліку значень вимірюваних величин прилади поділяють на показуючі, реєструючі та сигналізуючі. Прилади, що показують, мають вузол, який подає візуальний сигнал вимірювальної інформації.

Найчастіше застосовують шкальні відлікові пристрої. В аналогових приладах шкалою є частина показувального пристрою у вигляді впорядкованої сукупності позначок разом із пов'язаною з нею певною послідовністю чисел.

Шкали поділяють на рухомі та нерухомі. Перші рухаються стосовно нерухомого вказівника, у других – вказівник рухається щодо нерухомої шкали. Позначки на шкалах розташовуються вздовж прямої лінії або дугою кола на плиткій або циліндричній поверхні циферблата. Відстань між осями двох суміжних позначок називають довжиною поділки шкали. Рівномірні шкали мають однакову довжину поділок. У нерівномірних шкалах вони неоднакові. Шкали технічних приладів градуюють в такий спосіб, щоб їхні покази чисельно дорівнювали відліку. Деякі прилади можуть підсумовувати покази.

Вказівником є частина чи елемент показувального пристрою у вигляді стрілки, променя або верхнього рівня стовпчика рідини чи газу, які щодо позначок шкали визначають покази приладу.

У багатьох сучасних приладах для візуального відображення вимірювальної інформації застосовують цифрові табло або дисплеї.

Реєструючі (самописні) прилади оснащують пристроями, які автоматично реєструють на носії (папір, фотопapір, магнітні носії)

сигнал вимірювальної інформації. Комбіновані прилади одночасно показують і реєструють вимірювану величину.

Підсумовуючі або інтегруючі прилади показують підсумоване значення вимірюваної величини за певний проміжок часу.

У сигналізуючих приладах передбачено різні пристрої, що сигналізують про досягнення вимірюваною величиною певних значень. Найчастіше такі прилади випускають комбінованими і застосовують у системах контролю.

Певну точність вимірювальних приладів гарантує завод-виготовлювач. Для підвищення точності лабораторних приладів у їх покази вносять поправки, які враховують стан приладу і вплив умов вимірювання.

**Вимірювальна система** – це сукупність вимірювальних каналів, вимірювальних пристроїв та інших технічних засобів, об'єднаних для створення сигналів вимірювальної інформації про декілька вимірюваних фізичних величин. У вимірювальній системі існує декілька вимірювальних приладів, що вирішують різні проблеми вимірювання. Вимірювальний канал являє собою сукупність засобів вимірювальної техніки, засобів зв'язку та інших технічних засобів, призначених для створення сигналу вимірювальної інформації про одну вимірювану фізичну величину.

Крім розглянутих вище засобів вимірювань, існують **вимірювально-інформаційні системи (ВІС)**, які являють собою сукупність засобів вимірювальної техніки, засобів контролю, діагностування та інших технічних засобів, об'єднаних для створення сигналів вимірювальної та інших видів інформації.

## **1.5. Похибки вимірювання та вимірювальних пристроїв**

**Результат вимірювання** – це значення фізичної величини, знайдене методом її вимірювання. Він дає кількісну оцінку певної властивості об'єкта, одержаної в результаті фізичного дослідження.

Результати прямих, непрямих, опосередкованих, сумісних чи сукупних вимірювань не може бути одержано абсолютно точно. Це зумовлено недосконалістю методик і засобів вимірювань, непостійними умовами виконання вимірювань, наближеністю числових параметрів, які використовують для розрахунків шуканих величин, заокругленням значущих цифр тощо.

Згідно зі стандартами, якість вимірювань характеризують точністю, правильністю, збіжністю і відтворюваністю вимірювань, а також величиною допустимих похибок.

**Т о ч н і с т ь** – це головна характеристика якості вимірювання, що відображає близькість результату вимірювання до істинного значення вимірюваної величини. Висока точність вимірювань відповідає малим похибкам усіх видів.

**П р а в и л ь н і с т ь** вимірювань – це якість вимірювань, що відображає близькість до нуля систематичних похибок у результатах вимірювань.

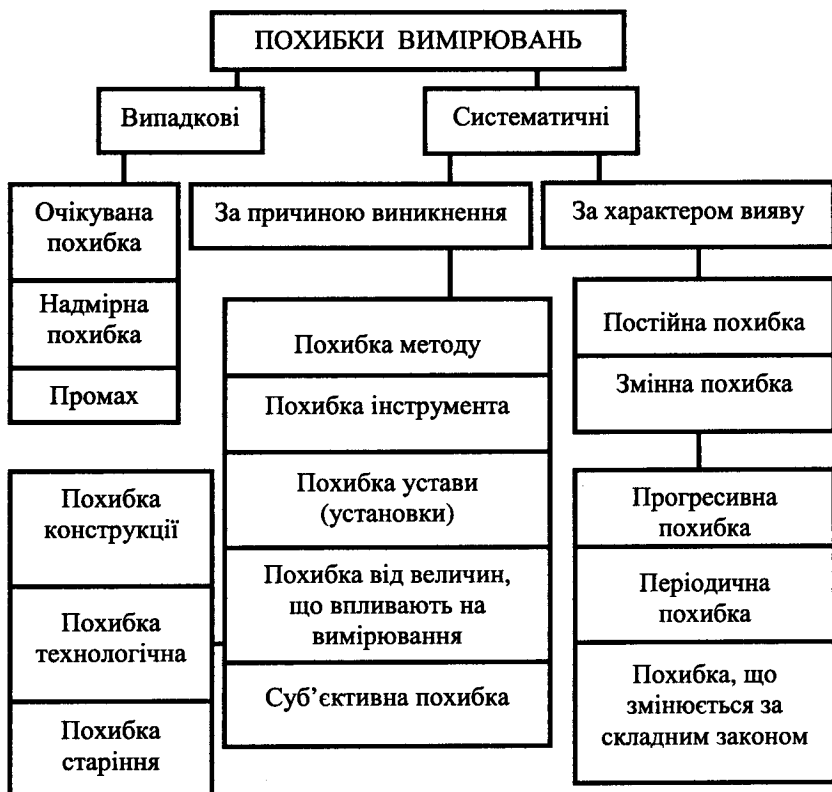
**З б і ж н і с т ь** (результатів) вимірювань – це характеристика якості вимірювань, яка відображає близькість результатів повторних вимірювань однієї і тієї самої величини в однакових умовах. Ця характеристика відображає близькість до нуля випадкової похибки.

**В і д т в о р ю в а н і с т ь** вимірювань – це така характеристика якості вимірювань, яка відображає близькість результатів вимірювань однієї і тієї самої величини, виконаних у різних умовах (у різний час, у різних місцях, різними методами і засобами).

**П о х и б к а** в и м і р ю в а н н я – це відхилення результату вимірювання від умовно істинного значення вимірюваної величини. Похибок є дуже багато, і врахувати їх усіх під час вимірювань дуже важко (рис. 1.5). Чим більше враховано похибок, тим вищою є точність вимірювань, тим ближчим є виміряне значення параметра до істинного. В практичних вимірюваннях та розрахунках найбільше використовують абсолютну і відносну похибки.

**А б с о л ю т н о ю** п о х и б к о ю  $\Delta$  називають різницю між виміряним  $X$  і умовно істинним  $Y$  значеннями вимірюваної величини:

$$\Delta = |X - Y| . \quad (1.8)$$



*Рис. 1.5. Класифікація похибок вимірювань*

Використання абсолютної похибки зручне під час внесення поправок у результати вимірювань. Однак значення  $\Delta$  не характеризує точності вимірювань.

Відносною похибкою називають відношення абсолютної похибки вимірювання до умовно істинного значення вимірюваної величини:

$$\delta = \frac{\Delta}{Y} \cdot 100 \% . \quad (1.9)$$

Відносну похибку найчастіше виражають у відсотках, і вона дає найбільш чітке уявлення про похибку вимірювань, оскільки

характеризує співвідношення між абсолютною похибкою та умовно істинною величиною. Але оскільки значення  $Y$  заздалегідь не відоме, то похибки вимірювань можуть визначати приблизно.

Розрізняють два типи похибок вимірювань залежно від їхнього виникнення: систематичну і випадкову.

**Систематична похибка** вимірювання (засобу вимірювальної техніки) становить похибку вимірювання, що залишається сталою або прогнозовано змінюється за повторних вимірювань однієї і тієї самої величини. Залежно від джерела виникнення систематичну похибку може бути зумовлено методичними, інструментальними або суб'єктивними чинниками.

**Методична похибка** – це складова похибки вимірювання, зумовлена неадекватністю об'єкта вимірювання та його моделі, прийнятою під час вимірювання. Ці похибки зумовлено неточністю законів і явищ, на яких ґрунтується принцип вимірювання, невідповідністю умов вимірювань тим умовам, для яких одержано ці закони тощо. Методичні похибки не залежать від точності засобів вимірювання, які використовують.

**Інструментальна похибка** являє собою складову похибки вимірювань, яку зумовлено властивостями засобів вимірювальної техніки. В нормальних умовах експлуатації приладів зустрічається тільки основна інструментальна похибка вимірювань (рис. 1.6). За відхилення тиску, вологості, температури тощо від нормальних умов виникає додаткова інструментальна похибка. Здебільшого інструментальні похибки можна виключити внесенням відповідних поправок або збереженням відповідних умов експлуатації.

**Суб'єктивні похибки** вимірювання зумовлені індивідуальними властивостями людини, яка виконує вимірювання. До них належать: неправильна інтерполяція показів між поділками приладу, запізнення в реєструванні нестационарного сигналу тощо. У вдосконалених вимірювальних пристроях, наприклад, цифрових показуючих приладах, суб'єктивну похибку може бути зведено до мінімуму (нуля).

**Випадковою** називають похибку вимірювання (засобу вимірювальної техніки), що не прогнозовано змінюється в ряді

вимірювань однієї і тієї самої величини. Випадкові похибки зумовлені об'єктивними і суб'єктивними причинами і можуть бути додатними та від'ємними. Числове значення складової випадкової похибки в окремому вимірюванні визначити неможливо, можна тільки оцінити її значення. Збільшення кількості вимірювань дає змогу підвищити точність визначення параметра, який вміщає випадкову складову похибки.



Рис. 1.6. Класифікація похибок засобів вимірювань

Надмірна похибка вимірювання – це похибка, яка істотно перевищує очікувану за цих умов. Причиною надмірної

похибки можуть бути короточасні зміни напруги живлення, неправильний відлік тощо. Дослідні точки з надмірною похибкою вилучають із даних використанням спеціальних статистичних методів. Надмірну похибку, що має аномальний результат, називають промахом.

Метрологічні характеристики засобів виміральної техніки нормують для визначення результатів вимірювання та їхніх похибок. Точність засобу вимірювань визначає близькість його показів до істинного значення вимірюваної величини. Високоточні прилади мають дуже малі похибки вимірювання.

Основна похибка – це похибка засобу виміральної техніки за нормальних умов його використання.

Для оцінки метрологічних характеристик засобів вимірювання у вітчизняному приладобудуванні використовують класи точності. Державні стандарти регламентують способи визначення класів точності залежно від способів вираження меж допустимих похибок засобів вимірювання. Цими стандартами передбачено вираження граничнодопустимих похибок засобів вимірювання у вигляді абсолютних, відносних і зведених похибок.

Абсолютна похибка  $\Delta$  – це різниця між істинним значенням вимірюваної величини  $Y$  та показами засобу вимірювань  $Y_{зв}$  за відсутності методичних похибок і похибок від взаємодії засобу вимірювань з об'єктом вимірювань:

$$\Delta = |Y - Y_{зв}|. \quad (1.10)$$

Відносна похибка засобу вимірювань – це відношення абсолютної похибки засобу вимірювань до істинного значення вимірюваної величини:

$$\delta = \frac{\Delta \cdot 100}{X}, \quad (1.11)$$

де  $\delta$  – межа допустимої відносної похибки, %;  $X$  – межі вимірювань приладу.

Зведена похибка – це відношення абсолютної похибки засобу вимірювань до нормованого значення. Нормованим значенням називають умовно прийняте значення фізичної величини. Зведену похибку визначають за формулою



$$\gamma = \frac{\Delta \cdot 100}{X_N}, \quad (1.12)$$

де  $\gamma$  – межа допустимої приведенної похибки, %;  $X_N$  – нормоване значення.

За верифікації засобів вимірювання нормоване значення приймають таким, що дорівнює кінцевому значенню шкали, якщо нульова відмітка знаходиться на початку шкали; сумі кінцевих значень шкали приладу (без урахування знаків), якщо нульова відмітка знаходиться всередині шкали; номінальному значенню вимірюваної величини, якщо таке встановлено; довжині шкали, якщо шкала нерівномірна (логарифмічна або гіперболічна).

Засобам вимірювань, межі допустимих похибок яких виражено як відносні або зведені похибки, повинні бути присвоєні класи точності, що вибирають із ряду чисел: [1; 1,5; (1,6); 2; 2,5; (3); 4; 5; 6]  $\times 10^n$ , де  $n = 1; 0; -1; -2$  тощо. Числа в круглих дужках не рекомендують використовувати.

Клас точності – це узагальнена характеристика засобу вимірювання або засобу вимірювальної техніки, що визначають границями його допустимих основної і додаткових похибок, а також іншими характеристиками, які впливають на його точність, значення яких регламентують.

Клас точності встановлюють під час випуску приладу, грабуючи його за зразковим приладом у нормальних умовах. Покази зразкового приладу приймають за дійсне значення вимірюваної величини.

У разі нормування абсолютної похибки класи точності позначають прописними літерами латинського алфавіту або римськими цифрами. При цьому класам точності, яким відповідають менші границі допустимих похибок, відповідають літери, що знаходяться ближче до початку алфавіту, або цифри, що означають менші числа.

Похибку вимірювального каналу та вимірювальних систем знаходять методом додавання зведених похибок  $\gamma_i$  всіх елементів каналу чи системи

$$\gamma = \sqrt{\sum_{i=1}^n \gamma_i^2}. \quad (1.13)$$

Похибки засобів вимірювання або засобів вимірювальної техніки встановлюють повіркою або верифікацією. Останній термін не уведено у ДСТУ, хоча широко використовують у практиці вимірювань і уведено у комп'ютерний варіант словника української мови. Повірка – це калька з російського “поверка”, не зовсім відповідає правилам української мови, тому надалі у посібнику вживатиметься термін “верифікація”, що не заборонено ДСТУ.

**В е р и ф і к а ц і я** – це визначення похибок засобів вимірювальної техніки або засобів вимірювань і встановлення їхньої придатності до застосування.

Верифікацію засобів вимірювання переважно здійснюють зіставленням його показів із показами точнішого засобу вимірювань. Можливий і інший метод – поелементний, за якого похибки засобів вимірювань визначають за похибками окремих його елементів. В усіх випадках міри, вимірювальні прилади і вимірювальні перетворювачі, які використовують для верифікації інших засобів вимірювань, називають взірцевими засобами вимірювань. Вважають, що похибки верифікованого засобу вимірювання визначені доволі точно і вірогідно, якщо похибка взірцевого засобу вимірювання (приладу, міри) в 3–5 разів менша від верифікаційного.

## **1.6. Автоматизація вимірювань**

За автоматизації технологічних вимірювань дуже рідко використовують прямі вимірювання. Здебільшого такі вимірювання можливі лише після деяких проміжних перетворень, тобто із використанням непрямих вимірювань. Їх широко застосовують для вимірювання різноманітних неелектричних величин, де найчастіше використовують електровимірювальні прилади. Це зумовлено такими перевагами:

1. Електровимірювальні прилади дають змогу краще здійснювати дистанційні вимірювання.
2. Електровимірювальні прилади краще піддаються автоматизації, що значно поліпшує якість.

3. В електровимірювальних приладах є широкі можливості для автоматичного і неперервного проведення математичних операцій над результатами вимірювань, що уможливило автоматично увести поправки, інтегрувати, додавати, диференціювати результат тощо.

4. Електровимірювальні прилади зручніші для автоматичного керування і регулювання.

5. Електровимірювальні прилади дають змогу реєструвати як дуже малозмінні процеси і величини, так і дуже швидкозмінні.

6. Електровимірювальні прилади мають широкий діапазон меж вимірювань як у бік дуже великих, так і в бік дуже малих значень.

7. Електровимірювальні прилади дають можливість перетворювати один вид сигналу в інший.

Електричні прилади для вимірювання неелектричних величин відрізняються від інших тим, що вони обов'язково мають первинний вимірювальний перетворювач неелектричної величини, що змінюється, в електричну. Цей перетворювач у технічній літературі називають давачем або сенсором; рідше – фізичним перетворювачем. У посібнику вживатиметься поняття “первинний перетворювач”.

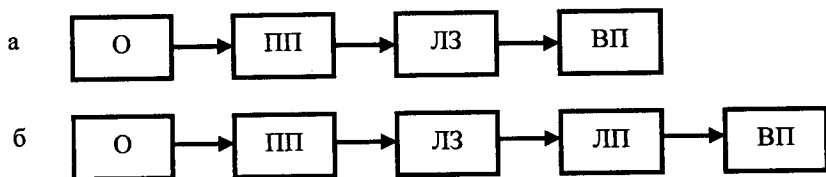
Найпростішу структурну схему вимірювання різноманітних величин технологічних процесів показано на рис. 1.7. Параметри об'єкта первинний перетворювач перетворює в електричний або інший сигнал і подає на вимірювальний (вторинний) прилад.



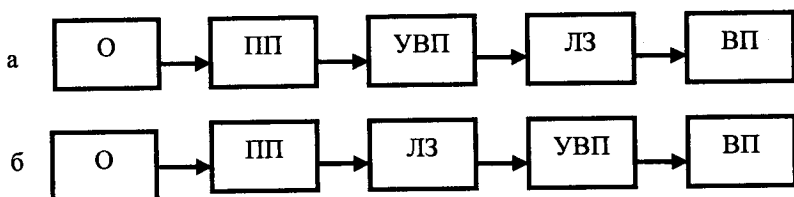
Рис. 1.7. Структурна схема вимірювання неелектричних величин:  
О – об'єкт вимірювання; ПП – первинний перетворювач;  
ВП – вторинний прилад

Під час дистанційних вимірювань система доповнюється лінією зв'язку, а за великих відстаней передачі – ще й лінійним пристроєм (рис. 1.8, а, б). Останній використовують для підсилення без спотворення сигналу первинного перетворювача або іншого пристрою, який надійшов лінією зв'язку. Для узгодження вихідного сигналу первинного перетворювача із вимірювальним приладом або іншими пристроями системи використовують нормуючі (уніфіку-

ючі) вимірювальні перетворювачі (рис. 1.9, а, б). Останні можна виконати у вигляді окремих блоків і встановити біля первинних перетворювачів або на щитах, чи виконати одним блоком разом із первинним перетворювачем.



*Рис. 1.8. Структурні схеми дистанційного вимірювання неелектричних величин:  
ЛЗ – лінія зв'язку; ЛП – лінійний пристрій*



*Рис. 1.9. Структурні схеми вимірювання неелектричних величин із застосуванням уніфікуючих вимірювальних перетворювачів:  
УВП – уніфікуючий вимірювальний перетворювач*

Існуючі вимірювальні прилади класифікують за такими ознаками:

- принципом дії (механічні, електричні, електронні, оптичні, акустичні тощо);
- характером вимірюваної величини (вимірювання температури, тиску, густини, рівня тощо, а також комбіновані);
- конструкцією приладу (показуючі, самописні, сигналізуючі, інтегруючі тощо);
- умовою експлуатації (стаціонарні, переносні, вибухобезпечні);
- призначенням (технічні, контрольні, зразкові, лабораторні тощо).

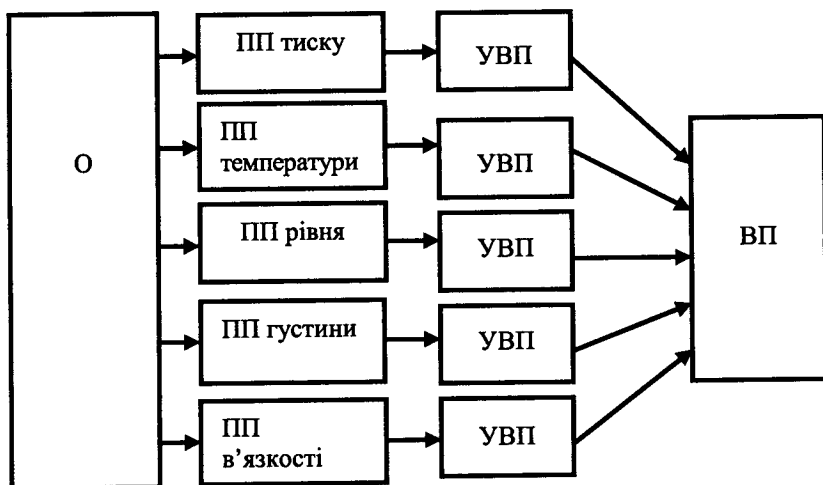
Сигнали від первинного перетворювача до вимірювального приладу, передаючись лінією зв'язку, можуть бути, залежно від природи цієї лінії, механічними, пневматичними, гідравлічними, оптичними або електричними. У лінії ці сигнали можуть зазнавати багаторазових перетворень (підсилення, кодування, модулювання, демодулювання).

Вимірювальна частина вторинного приладу перетворює одержаний від перетворювача сигнал на числовий відлік за допомогою відлікового пристрою (шкала зі стрілкою, цифри, що висвічуються тощо). У багатьох приладах відліковий пристрій з'єднують із самозаписувачем, сигналізатором або інтегратором. Крім того, прилади можуть обладнувати вихідним уніфікуючим перетворювачем і застосовувати для передавання вимірювальних сигналів на віддаль, в систему ЕОМ, в систему регулювання тощо.

Для вимірювання швидкозмінних параметрів необхідно використовувати апаратуру, що не допускає спотворень, тобто так підбирати вимірювальні перетворювачі, щоб динамічна похибка під час вимірювань була малою величиною, якою можна знехтувати. Якщо цю умову виконують, то обробку миттєвих значень вимірювального сигналу можуть вести, як для статичних режимів. У тих випадках, коли динамічними похибками не можна знехтувати, необхідні допоміжні дані про характер динамічного процесу.

Використання уніфікуючих вимірювальних перетворювачів дає змогу застосовувати один і той самий прилад для вимірювання різних неелектричних величин. Причому такі прилади уможливають вимірювання різних величини в багатьох точках об'єкта одночасно (рис. 1.10).

Вимірювальні пристрої на базі мікропроцесорної техніки і мікроЕОМ об'єднують у вимірювальні системи, які містять у собі багато первинних перетворювачів та інших приладів, кожний із яких виконує порівняно прості завдання. Вимірювальні системи – це різновид ширшого класу систем, що одержали загальну назву вимірювальних інформаційних систем (ВІС). Застосування ВІС дає змогу перейти на якісно новий рівень вимірювань, одержувати результати із значно меншими похибками та підвищити ефективність усього процесу.



*Рис. 1.10. Структурна схема вимірювання різнойменних неелектричних величин за допомогою одного вимірювального приладу*

## 1.7. Первинні перетворювачі

Первинним вимірювальним перетворювачем називають спеціальний пристрій, який першим взаємодіє з об'єктом вимірювання. Тобто цей пристрій використовують для одержання первинної інформації про стан об'єкта або процесу та для перетворення вимірюваної, контрольованої та регульованої величини на сигнал, зручний для вимірювання і дистанційного передавання.

**С и г н а л о м** називають фізичний процес, властивості якого визначають взаємодією між матеріальним об'єктом та засобом його дослідження. Одна із властивостей сигналу, яка є фізичною величиною, є його параметром.

Параметр сигналу, який функціонально пов'язаний з досліджуваною або вимірюваною величиною, чи той, що має задане значення, є його інформативним параметром.

Вимірювальний сигнал – це сигнал, один чи декілька параметрів якого є інформативними. Отже, первинні вимірювальні перетворювачі можуть мати навіть декілька інформативних сигналів.

Вимірювальний сигнал, що виникає під час взаємодії об'єкта вимірювання та засобу вимірювання, називають вхідним (вимірювальним) сигналом. Сигнал, який являє собою вимірювальну інформацію на виході засобу вимірювань, називають сигналом вимірювальної інформації.

Основний елемент перетворювача, який сприймає контролювану величину, називають ч у т л и в и м. За фізичним принципом дії він може бути електричним, механічним, акустичним, пневматичним тощо. Широкого застосування в системах автоматики будівельного виробництва набули перетворювачі, які перетворюють неелектричні величини технологічних параметрів на електричні.

Перетворювачі класифікують за призначенням залежно від вхідної величини, наприклад, переміщення, температури, тиску тощо. Для вимірювання одного й того самого параметра можуть застосовувати перетворювачі, що мають різний принцип дії, який визначають вихідною величиною перетворювача, що може бути електричним, пневматичним, гідравлічним або іншим сигналом.

Перетворювачі з електричним вихідним сигналом можна поділити на параметричні та генераторні. Функціонування параметричних перетворювачів супроводжується обов'язковою зміною будь-якого його параметра (опору, індуктивності тощо). Для генераторних – характерне вироблення енергії (наприклад, електричної), яка залежить від значення вхідного (вимірювального) параметра.

За характером вихідного сигналу перетворювачі поділяють на два види:

- з неперервним вихідним сигналом, у яких сигнал (напруга, сила струму, частота тощо) пов'язаний з вимірюваною величиною неперервною функціональною залежністю, при цьому мірою вимірюваної величини є значення вихідного сигналу;

- з дискретним вихідним сигналом, у яких за плавної зміни вимірюваної величини вихідний сигнал змінюється стрибкоподібно. Рівень вихідного сигналу може набувати обмежену кількість значень.

Важливою характеристикою перетворювача є його чутливість  $S$ , що являє собою приріст вихідної величини  $dy$  до приросту його вхідної величини  $dx$ :

$$S = \frac{dy}{dx} \cong \frac{\Delta y}{\Delta x}. \quad (1.14)$$

Мінімальне значення вхідного сигналу, яке можна виявити за допомогою перетворювача, становить його поріг чутливості, а максимальне, яке може бути сприйняте перетворювачем без спотворення і пошкодження, – границю перетворення. Різниця між границею перетворення і порогом чутливості становить динамічний діапазон вимірювання.

Статична характеристика перетворювача показує залежність зміни вихідної величини  $y$  від зміни вхідної величини  $x$  в усталеному режимі:

$$y = f(x). \quad (1.15)$$

Для вимірювання і автоматизації різних процесів зручніше використовувати перетворювачі з лінійною залежністю між вихідною та вхідною величинами.

Первинні вимірювальні перетворювачі, як і всі засоби вимірювальної техніки, описують певними метрологічними характеристиками, які нормують для визначення результату вимірювання та його похибок. Однією із них є градувальна характеристика, що являє собою залежність між значеннями вимірюваної (перетворюваної) величини на виході та вході перетворювача, отриманими під час градування (калібрування) та поданими у вигляді таблиці, графіка або формули.

### ***1.7.1. Перетворювачі для вимірювання лінійних і куткових переміщень***

**1.7.1.1. Потенціометричні** (реостатні) перетворювачі. До них належать перетворювачі, які під дією вхідної величини змінюють свій активний опір, що визначається багатьма чинниками:



геометричними розмірами, матеріалом, із якого виготовлено перетворювачі, конструкцією тощо. Такий перетворювач (рис. 1.11) складається з прямокутного або тороїдального каркаса, на який намотано дровий опір, нанесено шар напівпровідника або металеву плівку. Каркас виготовляють із діелектрика. Рухома струмо-знімальна щітка ковзає безпосередньо матеріалом опору. Її з'єднано спіральною пружиною з одним із виводів перетворювача.

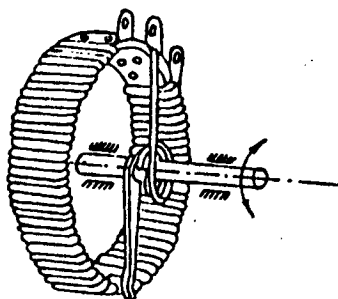


Рис. 1.11. Конструкція потенціометричного (реостатного) перетворювача

Для виготовлення дроту застосовують матеріали з низьким температурним коефіцієнтом (константан, ніхром, манганін, мідь). Обмотку виконують емальованим або окисдованим дротом і покривають лаком, а контактну доріжку зачищають до металу.

Розрізняють дві схеми включення цих перетворювачів: потенціометричну і реостатну (рис. 1.12).

Вихідну напругу і чутливість в потенціометричній схемі визначають із формул (рис. 1.12, а):

$$U_{\text{вих}} = U_0 \frac{\alpha}{\alpha_{\text{max}}}; \quad (1.16)$$

$$S = \frac{\Delta U}{\Delta \alpha}, \quad (1.17)$$

де  $U_0$  – вхідна напруга;  $\alpha$  – переміщення повзуна перетворювача;  $\alpha_{\text{max}}$  – максимальне переміщення повзуна перетворювача.

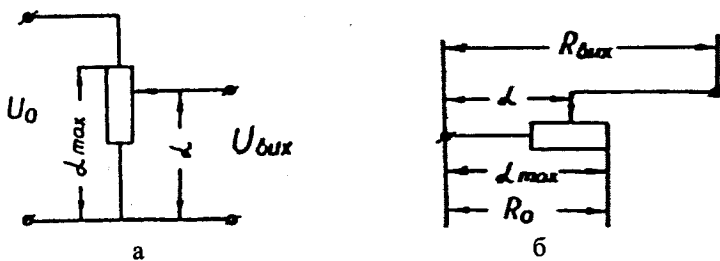


Рис. 1.12. Схеми вмикання потенціометричних перетворювачів:  
а – потенціометрична; б – реостатна

У реостатній схемі (рис. 1.12, б) вихідний параметр – опір, тому

$$R_{\text{вих}} = R_0 \frac{\alpha}{\alpha_{\text{max}}}; \quad (1.18)$$

$$S = \frac{\Delta R}{\Delta \alpha}, \quad (1.19)$$

де  $R_0$  – вхідний опір.

Перевага потенціометричних перетворювачів полягає в тому, що їхня інерційність фактично дорівнює нулю.

Недолік таких перетворювачів – наявність рухомого контакту, який вимагає особливого догляду, захисту від агресивних середовищ і механічних пошкоджень.

**1.7.1.2. Тензоперетворювачі.** У будівництві тензоперетворювачі використовують для вимірювання дуже малих переміщень і деформацій. Поширення отримали дротяні і фольгові тензоперетворювачі, що складаються з тонких ізоляційних плівок, усередині яких закладено тензочутливий елемент. Тензоперетворювачі вільно наклеюють на поверхню досліджуваної конструкції, і вони сприймають деформації її поверхні.

Дротяні тензоперетворювачі виготовляють із зигзагоподібно укладеного дроту діаметром 20–60 мкм (рис. 1.13). Довжина виміральної бази (тобто довжина петель ґратки) перетворювача становить від 1,5 до 1000 мм, а опір змінюється в межах 30–1000 Ом.

Фольгові тензоперетворювачі виготовляють із константанової фольги завтовшки 5–10 мкм. До кінців дроту чи фольги припаюють

мідні виводи для ввімкнення перетворювача у вимірювальне коло. Дріт або фольга сприймають деформації досліджуваної деталі чи конструкції, в результаті чого змінюється опір:

$$R = \rho \frac{l}{S_0}, \quad (1.20)$$

де  $\rho$  – питомий електричний опір матеріалу перетворювача, Ом-м;  $l$  – загальна довжина дроту, м;  $S_0$  – площа поперечного перерізу дроту, м<sup>2</sup>.

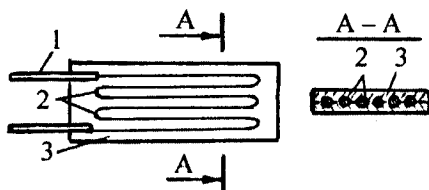


Рис. 1.13. Будова дротяного тензоперетворювача:  
1 – виводи; 2 – дріт; 3 – діелектрична підкладка

Зміни довжини дроту і площі поперечного перерізу, зумовлені деформацією конструкції, викликають зміну опору  $R$ . Наклеєний на конструкцію тензорезистор, працюючи разом із нею, за розтягу збільшує опір, а за стискування – зменшує. Така зміна опору показує зміну напрямку деформації, тобто статичну характеристику перетворювача можна уважати реверсивною. Межі вимірювання відносних деформацій для дротяних тензорезисторів становлять 2–3 %, а для фольгових – 0,3 %. Діапазон робочих температур становить – 40...+70 °С.

В останні роки набули поширення напівпровідникові тензорезистори, які мають значно більшу тензочутливість, ніж дротяні та фольгові. Коефіцієнт тензочутливості напівпровідникових тензоперетворювачів сягає 100 і навіть 200, тим часом, як у константанових він дорівнює 2. Їхній недолік – температурні характеристики гірші за металеві. Конструктивно напівпровідниковий тензорезистор являє собою пластинку монокристала кремнію завдовжки 5–10 мм і завширшки 0,2–0,8 мм, до торців якої приварено вивідні дроти.

Чутливість тензоперетворювачів становить

$$S = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{\frac{\Delta l}{l}}, \quad (1.21)$$

де  $\frac{\Delta R}{R}$  – відносна зміна опору;  $\frac{\Delta l}{l}$  – відносна зміна видовження.

1.7.1.3. І н д у к т и в н і перетворювачі. Принцип дії цих перетворювачів ґрунтується на зміні індуктивності під дією вхідної величини. Вони складаються з магнітопроводу з рухомих осердям (або якорем) і котушки.

Для магнітної системи з малим повітряним проміжком можна записати:

$$L = \frac{W^2}{R_M} = \frac{W^2}{R_{M.O.} + R_6} = \frac{W^2}{R_{M.O.} + \frac{2\delta}{\mu_0 S_{\Pi}}}, \quad (1.22)$$

де  $W$  – кількість витків котушки;  $R_M$  – загальний опір магнітопроводу;  $R_{M.O.}$  – магнітний опір магнітопроводу;  $R_6$  – магнітний опір повітряного проміжку;  $\delta$  – довжина повітряного проміжку;  $\mu_0$  – магнітна проникність повітря;  $S_{\Pi}$  – площа повітряного проміжку.

З цього рівняння бачимо, що такі перетворювачі можна використовувати для вимірювання лінійних і кутових переміщень, оскільки зміна індуктивності є наслідком зміни ширини повітряного проміжку або його площі.

Розрізняють два типи таких перетворювачів – із замкненою й розімкненою магнітними системами.

На рис. 1.14 показано індуктивні перетворювачі із замкненою магнітною системою. Зміна повітряного проміжку  $\delta$  здійснюється під дією механічної сили. За зміни проміжку змінюється магнітний опір  $i$ , як наслідок, індуктивність котушки, розміщеної на магнітопроводі. Зміна індуктивності котушки зумовлює відповідну зміну струму. Тут простежується таке коло перетворень:  $F \rightarrow \delta \rightarrow R_M \rightarrow \Phi \rightarrow L \rightarrow I$ , де  $\Phi$  – магнітний потік.

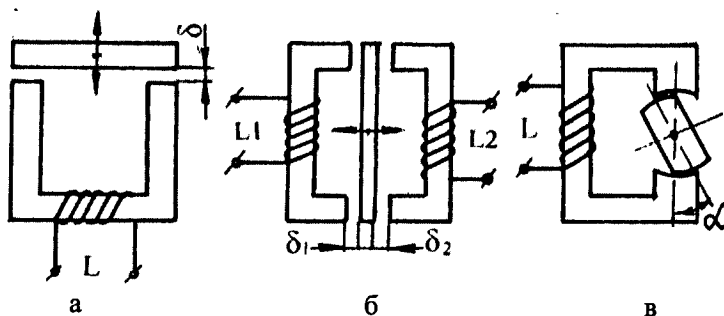


Рис. 1.14. Схеми індуктивних перетворювачів:  
 а – одинарний; б – диференційний; в – з поворотним якорем

На рис. 1.15 показано статичні характеристики індуктивних перетворювачів. Перетворювачі із замкнутою магнітною системою мають нелінійну характеристику, що є їхнім недоліком.

Перетворювачі із розімкнутою магнітною системою складаються із котушки, всередині якої розміщено рухоме осердя (рис. 1.16). Воно сприймає переміщення від об'єкта, в результаті чого змінюється індуктивність котушки. Характеристика такого перетворювача є прямолінійною (рис. 1.15, б), що вигідно відрізняє його від перетворювача із замкнутою магнітною системою.

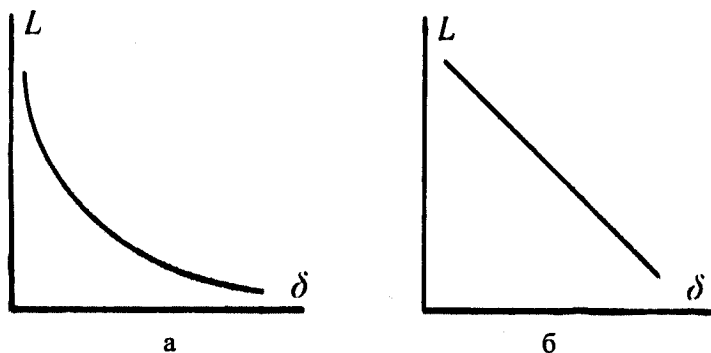


Рис. 1.15. Статичні характеристики індуктивних перетворювачів:  
 а – із замкнутою магнітною системою;  
 б – з розімкнутою магнітною системою

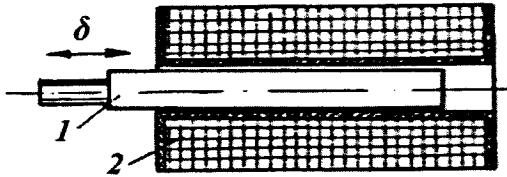


Рис. 1.16. Будова індуктивного перетворювача з розімкнутою магнітною системою:  
1 – сталеве осердя; 2 – котушка індуктивності

1.7.1.4. Диференційно-трансформаторні перетворювачі. Такі перетворювачі складаються з котушки, яка має три обмотки – первинну та дві вторинні, і рухомого сталевого осердя (рис. 1.17).

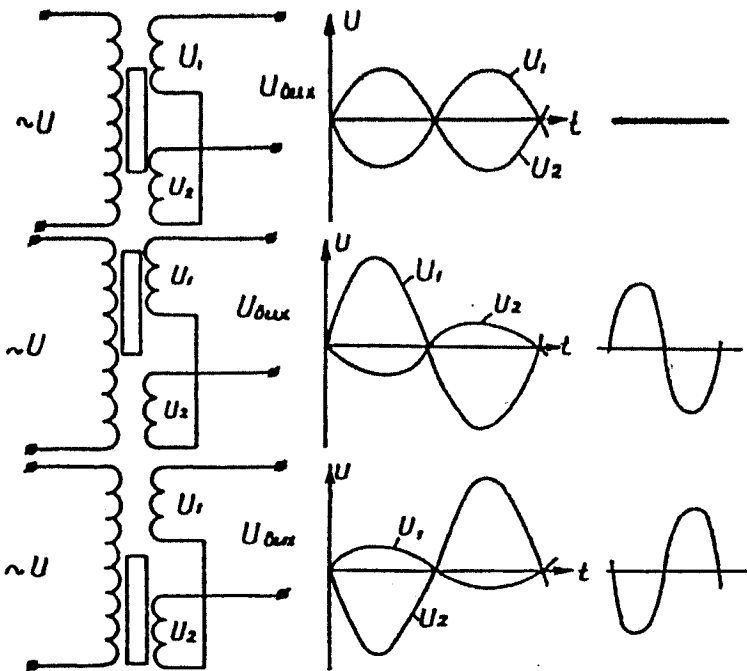


Рис. 1.17. Схема роботи диференційно-трансформаторного перетворювача

Напряга живлення подається на первинну обмотку. Вторинні обмотки під'єднані зустрічно, отже, наведені в них напруги зсунуті на  $180^\circ$ . Всередині котушок розміщено осердя із магнітом'якої сталі, яке може переміщатися.

Якщо осердя знаходиться в середньому положенні, вихідна напруга становить

$$U_{\text{вих.}} = U_1 - U_2 = 0, \quad (1.23)$$

де  $U_1, U_2$  – напруга відповідно на першій і другій вторинних обмотках.

Під час переміщення осердя вгору чи вниз (за схемою) змінюється коефіцієнт взаємодукції у верхній чи нижній обмотках, одна з напруг зменшується, а друга залишається незмінною. В результаті

$$U_{\text{вих.}} = U_1 - U_2 = \Delta U. \quad (1.24)$$

Вихідна напруга матиме фазу більшої напруги, тобто напруги тієї котушки, в якій знаходиться осердя. Отже, у диференційно-трансформаторному перетворювачі вихідна напруга це  $-\Delta U$ , що дорівнює різниці напруг, які наводяться у зустрічно ввімкнених обмотках. Статичну характеристику такого перетворювача показано на рис. 1.18.

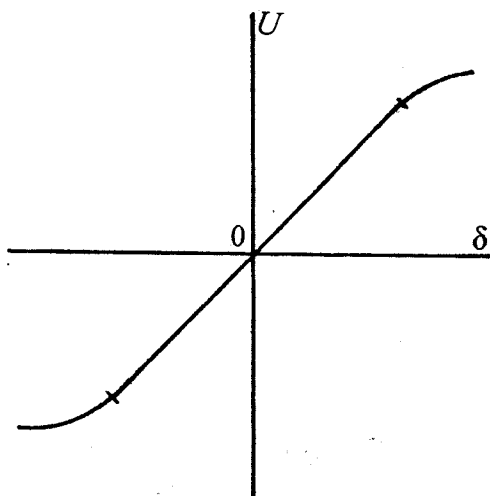


Рис. 1.18. Статична характеристика диференційно-трансформаторного перетворювача

Напруга – це функція лінійного переміщення осердя перетворювача  $\delta$ , а його фаза – функція напрямку переміщення від середнього положення. В електричних перетворювачах аналогової вітки ДСП використовують диференційно-трансформаторні перетворювачі двох типів – лінійний, що забезпечує прямо пропорційну (лінійну) залежність між переміщенням і вихідним сигналом, і квадратичний, вихідний сигнал якого пропорційний до кореня квадратного з переміщенням.

Крім диференційно-трансформаторних перетворювачів з позовжнім переміщенням осердя, існують прилади з кутовим переміщенням якоря, дуже зручні для вимірювання кутів повертання та вертикального положення елементів технологічного обладнання і конструкцій. Вони придатні для вимірювання й інших величин, що можуть бути перетворені у переміщення.

1.7.1.5. Є м н і с н і (конденсаторні) перетворювачі. Дія цих перетворювачів ґрунтується на перетворенні вхідної величини на зміну ємності конденсатора. Для плиткового конденсатора ємність визначають за формулою

$$C = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot S_{\text{пл}}}{d}, \quad (1.25)$$

де  $\varepsilon$  – відносна діелектрична проникність середовища між пластинами;  $\varepsilon_0$  – діелектрична проникність повітря;  $S_{\text{пл}}$  – площа перекриття пластин;  $d$  – відстань між пластинами.

Найчастіше у конденсаторах використовують залежність електричної ємності від відстані між пластинами чи площі перекриття пластин (рис. 1.19), тобто такі перетворювачі використовують для вимірювання лінійних і кутових переміщень.

Доволі часто застосовують залежність ємності перетворювача від діелектричної проникності середовища. Перетворювачі такого типу використовують для вимірювання рівнів, вологості, хімічного складу тощо. Враховуючи конструктивну доцільність, ємність перетворювача дуже мала (декілька десятків пікофарад), і цим регламентують вибір робочої частоти та схеми вимірювання. Найчастіше застосовують високочастотні мостові зрівноважені та незрівноважені схеми.



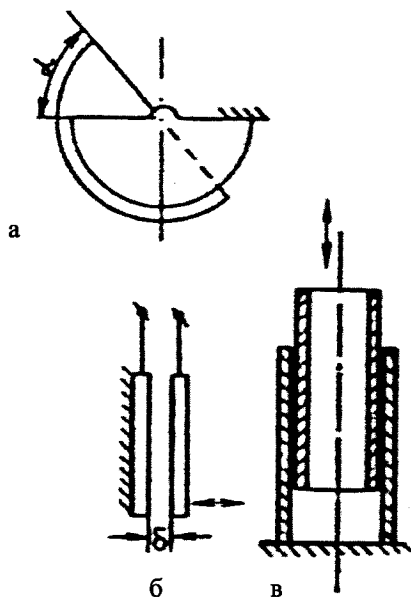


Рис. 1.19. Будова смісних перетворювачів:  
 а – плиткий повороту; б – плиткий відстані; в – коаксіальний

### 1.7.2. Первинні перетворювачі для вимірювання температури

1.7.2.1. Термоперетворювачі опору. Принцип їхньої роботи ґрунтується на зміні опору провідників або напівпровідників від температури. Матеріали для виготовлення термоперетворювачів опору повинні мати високий і стабільний температурний коефіцієнти опору і стійкі фізико-хімічні властивості. До таких матеріалів належать платина, мідь, рідше нікель, вольфрам.

Зміна опору провідників від температури описується рівнянням

$$R_t = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t + \beta \cdot t^2 + \dots), \quad (1.26)$$

де  $\alpha$  і  $\beta$  – термічні коефіцієнти;  $R_0$  – опір провідника за  $0^\circ\text{C}$ .

У практиці користуються лише першими двома членами ряду. При цьому рівняння (1.26) являє собою пряму лінію (рис. 1.20):

$$R_t = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t). \quad (1.27)$$

Чутливий елемент термopетворювача опору складається з каркаса, виконаного з кераміки, слюди чи скла, на який біфілярно намотано дріт діаметром 0,04...0,08 мм (рис. 1.21). До чутливого елемента припаюють виводи із срібного або мідного дроту. Його поміщають у сталевий чи латунний каркас з клемною головкою (рис. 1.22). Для збільшення теплового контакту між обмоткою та корпусом застосовують інколи обтиск останнього за формою чутливого елемента. У деяких випадках порожнини між обмоткою і корпусом заповнюють матеріалом з високим коефіцієнтом теплопровідності (порошок оксиду алюмінію).

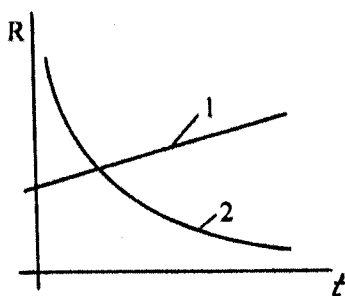


Рис. 1.20. Статичні характеристики термометрів опору:

1 — металевого;

2 — напівпровідникового

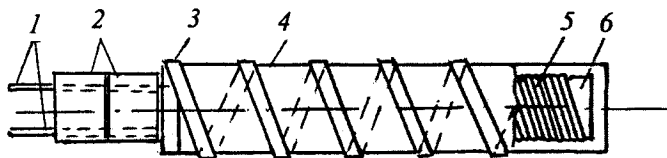


Рис. 1.21. Будова термочутливого елемента термометра опору:  
1 — срібні виводи; 2 — фарфорові намистини; 3 — алюмінієва стрічка;  
4 — захисні слюдяні пластинки; 5 — платиновий дріт;  
6 — центральна слюдяна пластина

Біфілярне намотування усуває індуктивний опір котушки перетворювача під час його використання у схемах змінного струму.

Термометрорювачі опору класифікують за матеріалом, з якого виготовлено чутливі елементи, опорамі  $R_0$  та  $R_{100}$  за температур  $0$  і  $100$  °C:

$$W_{100} = \frac{R_{100}}{R_0} = 1 + 100 \cdot \alpha . \quad (1.28)$$

Вони мають доволі високу інерційність і значні розміри, що ускладнює, а в багатьох випадках виключає їхнє застосування. Стала часу термометрів звичайного виконання становить 3–4 хв, інколи й більше.

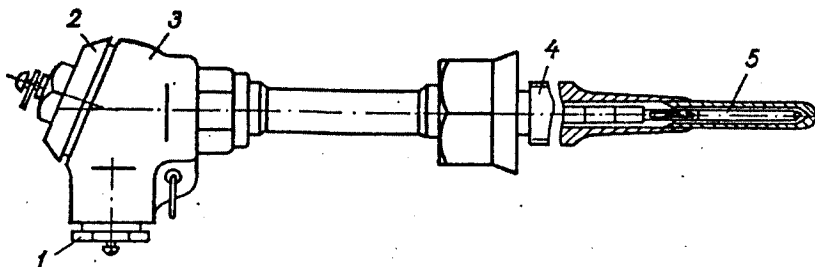


Рис. 1.22. Конструкція занурюваного термометра опору:  
 1 – сальниковий ввід; 2 – накривка вивідної головки;  
 3 – вивідна головка корпусу; 4 – захисна арматура;  
 5 – термочутливий елемент

Дослідженнями встановлено, що чим чистіший метал, тим більшим є значення відношення  $R_{100}/R_0$ . Платина є найкращим матеріалом для виготовлення термоперетворювачів опору, оскільки її легко можна отримати у чистому вигляді, вона має добру відтворюваність, хімічно інертна в окислювальному середовищі за високих температур і  $W_{100} = 1,385...1,391$ . Такі перетворювачі використовують для вимірювання температури в межах  $-260...+1100$  °С.

Мідь – є одним із недорогих металів, що також можна легко отримати у чистому вигляді, і її використовують для виготовлення термоопорових перетворювачів для вимірювання температури в межах  $-50...+200$  °С. За вищих температур мідь активно окислюється. Відношення  $W_{100} = 1,426...1,428$ .

Інші метали для виготовлення термометрів опору в Україні не використовують.

1.7.2.2. Термістори. Як температурні перетворювачі застосовують напівпровідникові термоопори (термістори), що характе-

ризуються великим від'ємним температурним коефіцієнтом опору. З підвищенням температури їхній опір зменшується (рис. 1.20, експонента 2). Цю залежність можна описати виразом

$$R = R_{\infty} \cdot e^{\frac{-B}{T}}, \quad (1.29)$$

де  $B$ ,  $R_{\infty}$  – коефіцієнти, незмінні для цього термоопору, що залежать від матеріалу термометра;  $T$  – температура, К.

Термістори виготовляють із суміші оксидів різних металів ( $MnO$ ,  $Cu_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ), що піддають випалюванню, в результаті якого відбувається спікання в однорідну масу. Промисловість випускає декілька десятків типів термісторів. Конструктивно їх виготовляють у вигляді шайб, стержнів, дисків і намистинок (рис. 1.23).

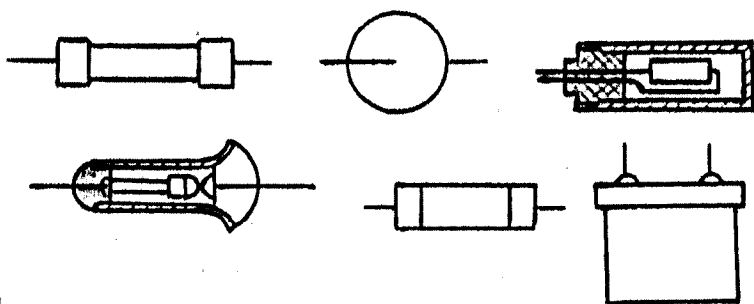


Рис. 1.23. Конструктивні різновиди термісторів

Робочий інтервал температур термісторів становить від  $-70$  до  $+120$  °С. Їхні переваги – невеликі розміри та дуже мала стала часу, яка для різних конструкцій термісторів коливається від часток секунди до декількох хвилин. Завдяки від'ємному температурному коефіцієнтові відносна зміна опору сягає 6 % на  $1,0$  °С. Це значно більше ніж у дротяних термометрів опору.

Основними недоліками термісторів є нелінійність статичної характеристики, нестабільність характеристики в часі та великий розкид опору для кожного термометра.

1.7.2.3. Термоелектричні перетворювачі (термопари). Такі перетворювачі належать до генераторних пере-

творювачів. Їхня дія ґрунтується на виникненні термоелектро-рушійної сили (термоЕРС) у колі двох провідників, виготовлених із різних металів, за зміни температури місця їхнього спаю, коли температура їхніх вільних кінців є сталою. За значеннями термоЕРС визначають температуру нагрітого спаю. Для усіх металів і сплавів функціональна залежність термоЕРС від температури досить складна і виразити її аналітично важко. Виняток становить лише пара платинородій/платина, для якої ця залежність в інтервалі температур 300...1300 °С за температури холодного спаю 0 °С доволі точно збігається з параболою:

$$E_t = a + b \cdot t_1 + c \cdot t_1^2. \quad (1.30)$$

Для решти пар термоелектродів ця залежність описується рядом:

$$E_t = a \cdot t_1 + b \cdot t_1^2 + c \cdot t_1^3, \quad (1.31)$$

де  $a$ ,  $b$ ,  $c$  – коефіцієнти, незмінні для цієї пари матеріалів;  $t_1$  – температура вимірюваного середовища, °С.

Конструктивно термопара складається із двох дротів (термоелектродів) з різних металів діаметром 0,2–3,2 мм (рис. 1.24). Термоелектроди з'єднані тільки у робочому кінці, далі вони ізольовані один від одного. Їх вміщують у захисний корпус, виготовлений із латуні, сталі або спеціальних сплавів. Порожнину між чутливим спаєм і корпусом засипають матеріалом з великим коефіцієнтом теплопровідності.

Термоелектричні якості різних металів характеризуються величиною та напрямком термоЕРС, що розвивається ними у парі з платиною. На практиці термоЕРС визначають за градуовальною кривою (рис. 1.25) або за таблицею. Під час конструювання термопари найкращі результати отримують у разі з'єднання термопозитивних і термонегативних електродів.

Термоелектричні перетворювачі використовують для вимірювання температури в межах –200...2500 °С.

Для продовження електродів застосовують компенсаційний провід, який складається із двох ізольованих жил, виготовлених з того самого матеріалу, що й електроди термопари. Часто їх заміняють дротом, що в парі з електродами термопари за температури до 100 °С не розвиває термоЕРС, яка б спотворювала покази приладів.

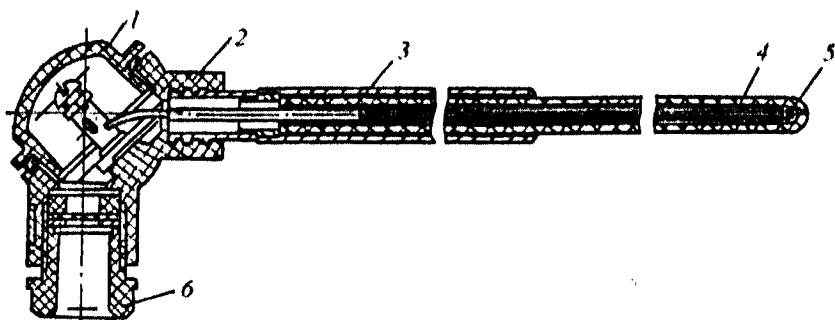


Рис. 1.24. Будова термоелектричного перетворювача:

- 1 – накривка вивідної головки; 2 – корпус; 3 – захисна арматура;  
 4 – корундовий наконечник; 5 – спай термоелектричного перетворювача;  
 6 – сальниковий вивід

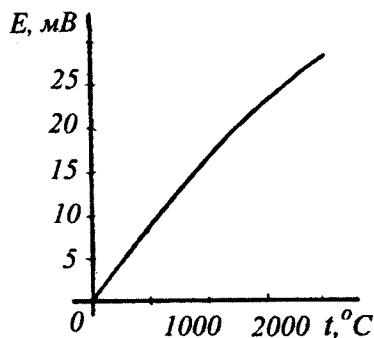


Рис. 1.25. Середня градувальна характеристика термоелектричного перетворювача ВР(А)

Для вимірювання температури різноманітних поверхонь використовують спеціальні поверхневі термомпари, що мають два електроди, приварені конденсаторним точковим зварюванням до мідної пластинки.

### 1.7.3. Первинні перетворювачі для вимірювання швидкості

1.7.3.1. Індукційні перетворювачі. У цих перетворювачах використовують явище електромагнітної індукції: якщо провідник або котушку переміщують у магнітному полі, створеному постійним магнітом або іншою котушкою, то на їхніх выводах виникає електрорушійна сила (ЕРС). Цей принцип може бути реалізовано і за зміни магнітного поля внаслідок руху магніту. ЕРС на виході перетворювача описується виразом

$$E = K \cdot B \cdot l \cdot W \cdot V, \quad (1.32)$$

де  $K$  – коефіцієнт пропорційності;  $B$  – індукція;  $l$  – довжина витка;  $W$  – кількість витків;  $V$  – швидкість переміщення.

На рис. 1.26, а показано схему індукційного перетворювача з постійним магнітом, у полі якого рухається котушка. У схемі на рис. 1.26, б магнітне поле створюється котушкою  $W_1$ , якою протікає постійний струм зовнішнього джерела живлення. Під час обертання котушки  $W_2$  перетворювача в ній наводиться ЕРС. У перетворювачі, виконаному за схемою рис. 1.26, в, вихідний сигнал з'являється за рахунок зміни магнітного поля, зумовленого переміщенням якоря.

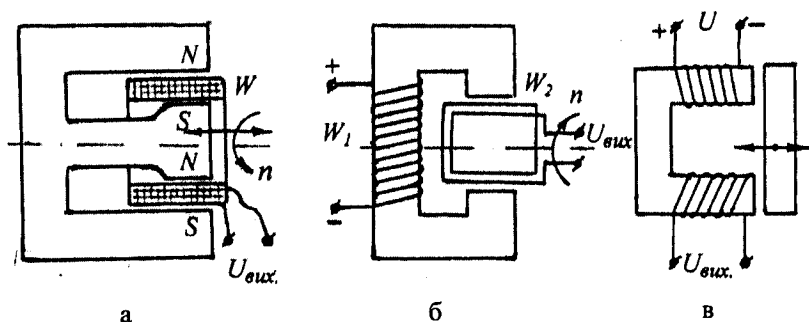


Рис. 1.26. Схеми індукційних перетворювачів:  
а – з постійним магнітом; б – з електромагнітом постійного струму;  
в – з рухомих якорем

На базі останнього побудовано простий імпульсний перетворювач швидкості (рис. 1.27, а). Він складається з постійного магніту 1,

ярма 2, що є магнітопроводом, та котушки 3, з якої знімається наведена ЕРС. Перетворювач закріплюють на певній віддалі від вала 4, швидкість якого необхідно контролювати. На валу закріплюють сталеву пластину 5. За постійного проміжку між валом та ярмом у котушці ЕРС не наводиться, тому що магнітний потік не змінюється. Під час обертання вала за рахунок виступу 5 проміжок зменшується-збільшується і внаслідок зміни магнітного потоку в котушці наводиться ЕРС. Частота імпульсів наведеної ЕРС прямо пропорційна до швидкості обертання вала (рис. 1.27, б).

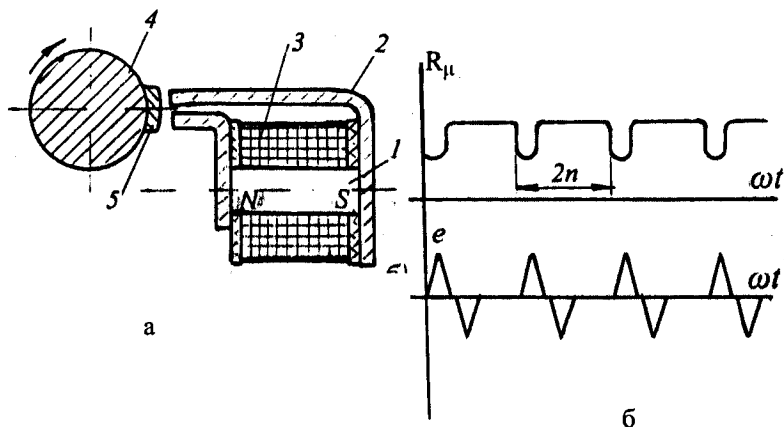


Рис. 1.27. Будова імпульсного перетворювача швидкості:  
 а – схема перетворювача швидкості; б – графіки зміни магнітного опору  $R_{\mu}$   
 і ЕРС під час роботи перетворювача

Значною перевагою таких перетворювачів є висока точність, яка не залежить від якості виконання системи, старіння постійного магніту та відстані між валом і ярмом. Крім того, швидкість визначають не за амплітудою імпульсів наведеної ЕРС, а за частотою їхнього слідування.

### 1.7.3.2. Тахогенератори постійного струму.

Таким перетворювачем є малопотужний генератор постійного струму незалежного збудження з колектором, з якого знімають наведену ЕРС. Якір генератора з обмоткою обертається між полюсами постійного магніту (рис. 1.28, а) або електромагніту постійного струму



(рис. 1.28, б). Полярність індукованої ЕРС залежить від напрямку обертання, а ЕРС визначають за формулою

$$E = K \cdot \Phi \cdot n, \quad (1.33)$$

де  $K$  – коефіцієнт, що враховує конструктивні параметри генератора;  $\Phi$  – значення магнітного потоку;  $n$  – частота обертання (кутова швидкість).

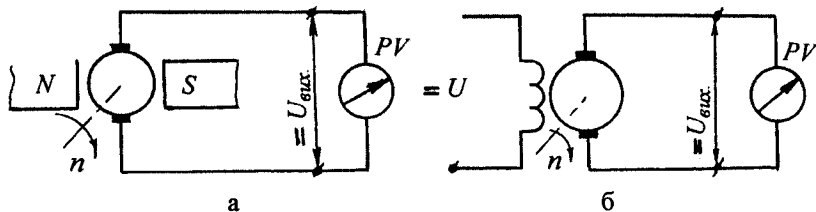


Рис. 1.28. Схеми тахогенераторів постійного струму:  
а – з постійним магнітом; б – з електромагнітом

Перевагами тахогенераторів постійного струму є лінійність та реверсивність статичної характеристики, великий рівень вихідного сигналу, непотрібність за наявності постійного магніту зовнішнього джерела живлення.

До недоліків необхідно зарахувати не дуже високу надійність і довговічність, вплив навколишньої температури, створення радіоперешкод колектором.

**1.7.3.3. Тахогенератори змінного струму.** Такі перетворювачі поділяють на синхронні та асинхронні. У синхронному тахогенераторі магнітний потік створюється постійним магнітом, який виконано у вигляді ротора. Нерухомий статор має одно- або трифазну обмотку, в якій під час обертання ротора індукуються ЕРС (рис. 1.29). Статична характеристика синхронного тахогенератора – лінійна, але недоліком його є те, що за зміни частоти обертання ротора одночасно змінюються і амплітуда, і частота індукованої синусоїдальної ЕРС. Це не дає змоги визначати фазу вихідної напруги під час зміни напрямку обертання ротора. Вихідну напругу асинхронного тахогенератора визначають за формулою

$$E = K \cdot \frac{p \cdot n}{60} \cdot W \cdot \Phi, \quad (1.34)$$

де  $p$  – кількість пар полюсів;  
 $n$  – кількість обертів;  $W$  –  
кількість витків статорної  
обмотки.

Будову асинхронного  
тахогенератора дещо змінено  
(рис. 1.30). На статорі розта-  
шовано дві обмотки: ОЗ (об-  
мотка збудження) і ОВ (об-  
мотка вимірювання), магніт-  
ні осі яких зміщено у просторі на  $90^\circ$ .

Ротор виконано у вигляді пусто-  
тілого циліндра з немагнітного матеріалу (алюмінієвого сплаву) і з'єд-  
нано з валом, швидкість якого необхідно виміряти. Обмотка ОЗ жи-  
виться змінним струмом і

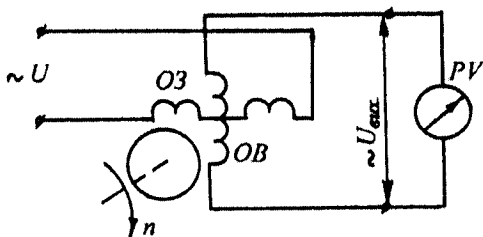


Рис. 1.30. Схема  
асинхронного тахогенератора

створює змінне магнітне  
поле, яке, своєю чергою,  
наводить ЕРС у матеріалі  
ротора, що обертається.  
Струм, що виникає за ра-  
хунок наведеної ЕРС,  
створює своє магнітне по-  
ле з частотою напруги  
живлення обмотки ОЗ,  
але зсунутий щодо маг-  
нітного потоку обмотки  
ОВ на  $90^\circ$ . Цей магнітний потік у вихідній обмотці ОВ наводитиме  
ЕРС, амплітуда якої пропорційна до швидкості обертання ротора.

За зміни напрямку обертання фаза ЕРС змінюється на проти-  
лежну. Статична характеристика асинхронного тахогенератора –  
лінійна та реверсивна, що є його перевагою; недолік – необхідність  
зовнішнього джерела живлення.

Перетворювачі швидкості застосовують найбільше для автома-  
тизації роботи будівельних машин, різноманітних транспортних  
засобів, дозаторів неперервної дії, вантажнотранспортних засобів, у  
пристроях для захисту кранів від вітрових навантажень тощо.

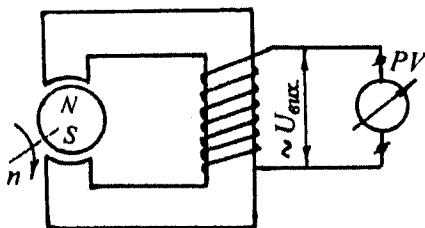


Рис. 1.29. Схема синхронного  
тахогенератора

Струм, що виникає за ра-  
хунок наведеної ЕРС,  
створює своє магнітне по-  
ле з частотою напруги  
живлення обмотки ОЗ,  
але зсунутий щодо маг-  
нітного потоку обмотки

## 1.7.4. Інші типи первинних перетворювачів широкого призначення

1.7.4.1. Перетворювачі тиску. Значну частину вимірювань, що виконують у промисловості, становлять вимірювання тисків. Здебільшого тиск попередньо перетворюють на лінійне або кутове переміщення (або на деформацію), яке, своєю чергою, перетворюють на електричний сигнал. Перетворювачі тиску відрізняються насамперед типом пружного елемента, який перетворює тиск вимірюваного середовища на переміщення. Широкого поширення набули мембранні, сифонні та трубчасті перетворювачі.

Мембрани являють собою еластичні пластини (переважно, круглі), закріплені за периметром (рис. 1.31, а). Зміна тиску рідини або газу на мембрану зумовлює її прогин. Залежно від діапазону вимірюваних тисків, типу вихідного перетворювача та умов роботи застосовують різні матеріали і форми мембран. Переміщення центра мембрани є нелінійною функцією вимірюваного тиску, що обмежує межі вихідних переміщень, а звідси – й чутливість перетворювача. Один із методів зменшення нелінійності полягає у створенні протидіючого зусилля, тобто силової компенсації.

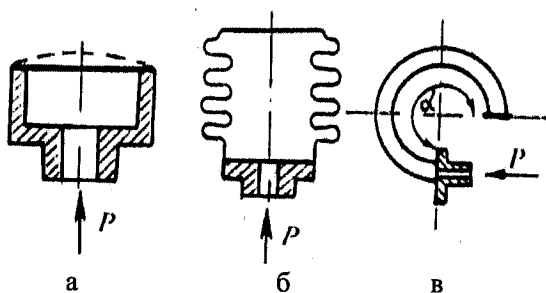


Рис. 1.31. Схеми вимірювальних перетворювачів тиску:  
а – мембранного; б – сифонного; в – з трубчастою пружиною

Плиткі мембрани використовують спільно з ємнісними, індуктивними, п'єзоелектричними та іншими перетворювачами малих переміщень. У разі застосування товстої (жорсткої) мембрани

на неї наклеюють тензочутливі перетворювачі. Для підвищення чутливості інколи застосовують в одному перетворювачі декілька мембран з наклеєними тензорезисторами. Переваги перетворювачів тиску з плитковими мембранами – конструктивна простота й мала інерційність. Для підвищення чутливості мембранних перетворювачів застосовують з'єднання декількох мембран у мембранні коробки і блоки та гофровані мембрани.

Сильфони це – гофровані тонкостінні трубки, виконані з пружного матеріалу. Різниця внутрішнього  $P$  і зовнішнього  $P_0$  тисків створює силу, яка розтягує сильфон уздовж його осі. Функція перетворення сильфона лінійна у порівняно вузькому діапазоні переміщень, проте ці сильфони уможливають одержати значно більші переміщення, ніж мембрани. Для перетворення цього переміщення в електричний сигнал застосовують реостатні, індуктивні та диференційно-трансформаторні перетворювачі.

Широке застосування для вимірювання тиску набула трубчаста пружина (трубка Бурдона). Це – пружна криволінійна металева трубка еліптичного або плиткооувального перерізу, один із кінців нерухомий, а другий міцно запаятий і може вільно переміщатися (рис. 1.31, в). Через отвір у нерухомому кінці подають рідину або газ, за зміни тиску яких відбувається деформація трубки, що в результаті “розкручується” або “закручується”, тобто змінюється кут  $\alpha$  і переміщається її вільний кінець. Крім одновиткових трубчастих пружин, застосовують багатовиткові. Їх виготовляють із сталі, латуні, титану та інших матеріалів.

Для перетворення переміщення вільного кінця трубки в електричний сигнал найчастіше застосовують диференційно-трансформаторні перетворювачі.

#### 1.7.4.2. П'єзоелектричні перетворювачі.

Принцип дії п'єзоелектричних перетворювачів ґрунтується на тому, що сила, прикладена до граней кристалів деяких діелектриків, зумовлює деформацію кристалльної гратки, в результаті чого асиметрично розподілені у гратці заряди зміщуються так, що на протилежних гранях її виникають заряди різної полярності (рис. 1.32).

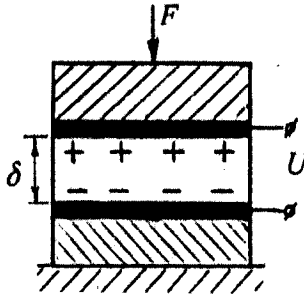


Рис. 1.32. Принцип роботи п'єзоелектричного перетворювача

Це явище описується виразом

$$U = \frac{K_{\text{п}} \cdot F}{C + C_0}, \quad (1.35)$$

де  $K_{\text{п}}$  – п'єзоелектрична стала;  $F$  – сила, прикладена до елемента;  $C$  – власна ємність елемента;  $C_0$  – ємність під'єднаної схеми

П'єзометрична стала, К/Н: для кварцу –  $2,2 \cdot 10^{-12}$ ; сегнетової солі –  $4,0 \cdot 10^{-12}$ ; турмаліну –  $6,0 \cdot 10^{-12}$ ; титанату барію –  $10,7 \cdot 10^{-12}$ .

Знаки зарядів у п'єзофекті змінюються на протилежні за зміни напрямку дії сили, що дає змогу розрізнити розтяг і стиск. Поява зарядів на гранях п'єзокристалів дає змогу зарахувати їх до генераторних перетворювачів.

Чутливість п'єзоелектричних перетворювачів визначають за формулою

$$S = \frac{\Delta U_{\text{п}}}{\Delta F} = \frac{K_{\text{п}}}{C + C_0}. \quad (1.36)$$

Для збільшення чутливості п'єзоелектричних перетворювачів, на які діє одна і та сама сила, використовують їхнє паралельне з'єднання, тобто їх встановлюють один на другий.

П'єзоелектричні перетворювачі добре працюють під час вимірювань величин динамічних процесів, високочастотних вібрацій, частих змін зусиль та тисків. Вони придатні для реєстрування швидкоплинних процесів, що пояснюється високою механічною власною частотою п'єзоелектриків. Набагато гірше вони працюють

за низьких частот і взагалі непридатні для вимірювання параметрів статичних процесів. Це пояснюється тим, що за статичного навантаження заряди внаслідок їхньої малої величини швидко стікають з обкладок і напруга падає за експонентою.

За дії на п'єзоелектричні матеріали електричного поля з'являється ефект електрострикції, який полягає у зміні лінійних розмірів речовини в електричному полі. Це зумовлює зміну лінійних розмірів перетворювача та появу механічних напружень. Обидва ці ефекти широко використовують для вимірювання і контролю багатьох параметрів будівельних конструкцій і матеріалів.

Для вимірювання деяких величин (температура, вологість) використовують також п'єзрезонансні перетворювачі, власна частота яких залежить від розмірів, густини та інших властивостей п'єзоелектрика, що можуть змінюватися під дією цих вхідних величин.

**1.7.4.3. Радіаційні перетворювачі.** У радіаційних перетворювачах використано властивість радіоактивних променів певною мірою проникати в досліджуваний матеріал або в контрольований об'єкт. Такий перетворювач складається із джерела випромінювання і приймача-індикатора (рис. 1.33). Джерелом випромінювання є ізотопи з великим періодом напіврозпаду, наприклад, кобальту.

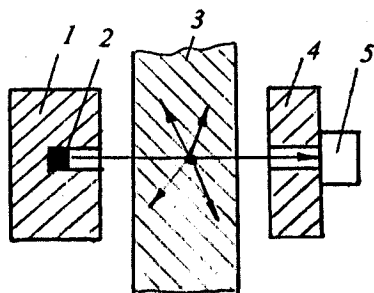


Рис. 1.33. Схема роботи радіоактивного перетворювача

У свинцевий контейнер 1 з вузьким циліндричним отвором-коліматором встановлюють випромінювач гамма-променів 2. Перед коліматором розташовують досліджуваний об'єкт або середовище 3, потім встановлюють ще один свинцевий екран-коліматор 4. Гамма-

промені, проникаючи крізь досліджуване середовище, втрачають частину своєї енергії і потрапляють на детектор 5, який фіксує ці втрати, що залежать від товщини речовини, її густини та об'ємної маси.

1.7.4.4. **Фотоелектричні перетворювачі.** У фотоелектричних перетворювачах зміна вихідного параметра (опір, напруга, ЕРС) відбувається залежно від зміни сили світла, що падає на перетворювач. Розрізняють фотоелектричні перетворювачі з внутрішнім, зовнішнім та вентильним фотоелементом. Перетворювачі з внутрішнім фотоелементом (фотоопори) складаються з тонкого шару 2 сірчистого талію (рис. 1.34), нанесеного на скляну пластинку 3. На поверхні чутливого елемента закріплено електроди 1 для з'єднання перетворювача з зовнішнім електричним колом. Під час освітлення такого перетворювача його електричний опір різко падає, а струм у зовнішньому колі збільшується.

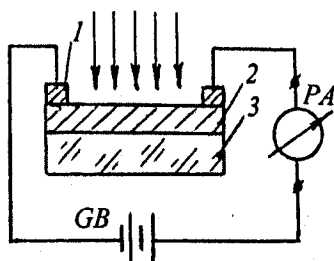


Рис. 1.34. Схема роботи фотоопорового перетворювача

У перетворювачів із зовнішнім фотоелементом використовують властивість деяких металів під дією світла випромінювати електрони, тобто створювати фотострум. Між фотострумом і силою світла існує прямо пропорційна залежність. До них належать фотоелементи і фотопомножувачі, вихідний струм яких значно більший.

Перетворювачі з вентильним фотоелементом не вимагають зовнішнього джерела живлення, якщо під час їхньої роботи використовують фотогальванічний ефект. У цьому разі вони самі створюють ЕРС, тобто їх можна зарахувати до генераторних перетворювачів.

Якщо ці перетворювачі використовують у фотодіодному режимі, то їм потрібне джерело живлення, причому напруга подається

в запираючому напрямку. Оскільки для фотоперетворювачів з вентильним фотоелементом використовують напівпровідникові матеріали для створення р-п-переходу, до них, крім фотодіодів, належать фототранзистори і фототиристри тощо.

Істотною перевагою фотоелектричних перетворювачів є мала інерційність. Крім того, вони відзначаються високою чутливістю, довговічністю, надійністю, мають невеликі розміри, просту конструкцію. Недоліком є те, що умови експлуатації погіршуються у запиленому, задимленому, вологому або каламутному середовищі.

**1.7.4.5. Магнітопружні перетворювачі.** Такі перетворювачі належать до групи індуктивних перетворювачів, але, на відміну від них, не мають повітряного проміжку (рис. 1.35). Їхній магнітний опір визначають лише опором магнітопроводу, що змінюється під дією прикладеного зусилля  $F$ :

$$R_M = \frac{l_M}{S_M \cdot \mu}, \quad (1.37)$$

де  $l_M$  – довжина середньої лінії магнітопроводу;  $S_M$  – площа поперечного перерізу магнітопроводу;  $\mu$  – магнітна проникливість сталі.

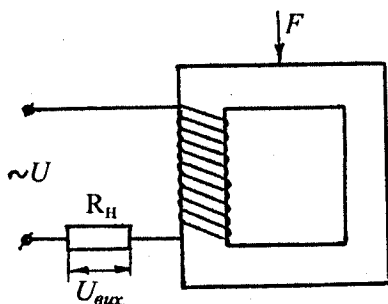


Рис. 1.35. Схема магнітопружного перетворювача

У (1.37) геометричні розміри магнітопроводу є величинами постійними. Змінюється тільки магнітна проникливість сталі під дією механічного зусилля на магнітопровід, в результаті чого змінюються величина магнітного потоку та індуктивність котушки. Це призводить до зміни струму в колі і спаду напруги на опорі навантаження.



Чутливість магнітопружного перетворювача описується виразом

$$S = 2 \cdot \frac{\lambda_{\infty}}{B_{\infty}^2} \cdot \mu, \quad (1.38)$$

де  $\lambda_{\infty}$  – магнітострикція при насиченні;  $B_{\infty}$  – індукція насичення.

Для збільшення чутливості бажано, щоб матеріал магнітопроводу мав високу магнітну проникливість та невелику індукцію насичення. Тому для виготовлення таких перетворювачів широко використовують пермалой, рідше – трансформаторну сталь.

Магнітопружні перетворювачі використовують для вимірювання порівняно великих зусиль та тисків. Для вимірювання незначних сил та деформацій, а також малих лінійних переміщень застосовують наклеювані магнітопружні перетворювачі, які конструктивно є тонкою пластинкою пермалою з обмоткою.

Основним недоліком магнітопружних перетворювачів є невисока точність. Похибки зумовлені коливанням напруги живлення і температури, а також наявністю гістерезису.

## 1.8. Вимірювальні прилади

### *1.8.1. Вимірювальні прилади, побудовані на основі мостових схем*

Мостові схеми використовують для вимірювання активного, реактивного і повного опорів, ємності, індуктивності, а також тих неелектричних величин, які можуть бути перетворені на один із вказаних параметрів. Мостовий метод вимірювання простий і дає велику точність. Ним можна вимірювати вказані вище параметри в межах від  $10^{-6}$  до  $10^{+15}$  Ом.

В автоматичні для вимірювання неелектричних величин використовують зрівноважені і незрівноважені мостові схеми. Перші мають більшу точність, але вони складніші і за своєю швидкодією поступаються незрівноваженим.

Суть мостового методу вимірювання пояснює схема (рис. 1.36), яка складається із чотирьох опорів  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  і  $R_4$ . Джерело живлення  $U$  увімкнено до вершин  $a$  і  $в$ . До вершин  $б$  і  $г$  увімкнено вимірювальний прилад  $\Gamma$ . В точці  $a$  струм  $I$  джерела живлення розгалужується на струми  $I_1$  і  $I_4$ , що проходять опорами  $R_1$  і  $R_4$ , та струми  $I_2$  і  $I_3$ , що проходять опорами  $R_2$  і  $R_3$ . Струм у вимірювальній діагоналі (між точками  $б$  і  $г$ ) може дорівнювати нулю тільки тоді, коли напруга  $U$  в точці  $б$  ділиться опорами  $R_1$  і  $R_2$  так само, як і опорами  $R_3$  і  $R_4$  в точці  $г$ , тобто, коли різниця потенціалів між точками  $б$  і  $г$  дорівнює 0.

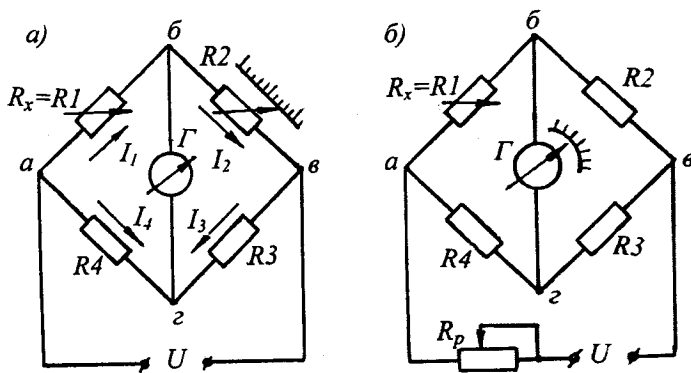


Рис. 1.36. Схеми зрівноваженого (а) і незрівноваженого (б) мостів

Отже

$$I_1 \cdot R_1 = I_4 \cdot R_4; \quad (1.39)$$

$$I_2 \cdot R_2 = I_3 \cdot R_3. \quad (1.40)$$

Якщо струм у вимірювальній діагоналі відсутній, то  $I_1 = I_2$ , а  $I_3 = I_4$ . Розділивши рівняння (1.39) на (1.40) і позбувшись знаменників, одержимо рівняння балансу (рівноваги) моста:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}; \quad (1.41)$$

$$R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4. \quad (1.42)$$

Умову рівноваги можна сформулювати так: якщо добутки опорів протилежних плечей моста однакові, то струм у вимірювальній діагоналі відсутній.

Якщо баланс не витримується, то між точками  $b$  і  $z$  з'являється різниця потенціалів і стрілка гальванометра відхиляється від нульової відмітки шкали. Отже, ця різниця потенціалів може залежати від значення одного із опорів моста. Припустимо, що опір  $R_1$  невідомий, тоді із умови рівноваги моста одержимо

$$R_1 = R_x = \frac{R_2 \cdot R_4}{R_3}. \quad (1.43)$$

Цей метод, який називають методом безпосереднього вимірювання, незважаючи на його оперативність, широкого поширення не одержав, оскільки точність його вимірювання невисока. Вимірювання опорів таким мостом нагадує вимірювання омметром. Перед вимірюванням опір  $R_1$  ( $R_x$ ) закорочують і за допомогою додаткового опору  $R_p$  стрілку гальванометра встановлюють на нуль (рис. 1.36, б). Після цього за відхиленням стрілки гальванометра визначають невідомий опір.

Точнішим є так званий нульовий метод, хоча швидкодія його значно нижча. Суть полягає в тому, що під час вимірювання міст зрівноважують (балансиують). Для зрівноваження моста, враховуючи рівняння (1.42), одне із плечей роблять змінним і називають плечем порівняння (рис. 1.36, а,  $R_2$ ). Змінюючи його опір, домагаються рівноваги (балансу) моста, а за шкалою поблизу повзунка  $R_2$  знімають відлік. Для розширення меж вимірювання співвідношення плечей  $R_4$  і  $R_3$  роблять постійним для певного діапазону вимірювань:

$$R_1 = R_x = \frac{R_4}{R_3} \cdot R_2 = N \cdot R_2. \quad (1.44)$$

Відношення  $N = \frac{R_4}{R_3}$  називається множником. Для розширення меж вимірювання його роблять змінним.

Для автоматизації вимірювань широко застосовують автоматичні зрівноважені мости постійного або змінного струму, в основу роботи яких покладено нульовий метод вимірювання. Вимірювальна частина автоматичного моста (рис. 1.37) складається з трьох постійних опорів  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ , реохорди  $R_p$  і опору перетворювача  $R_c$ . У вимірювальну діагональ  $ab$  увімкнено електронний підсилювач, а до точок  $bz$

підведено напругу живлення. Однією з вершин вимірювальної діагоналі є рухомий контакт реохорди  $R_p$  (точка  $a$ ). Відповідно плече  $ab$  складається з двох опорів – постійного  $R1$  і частини реохорди  $aa_2$ , який може змінюватися. Так само укладене плече  $ag$ , в яке входять змінний опір перетворювача  $R_t$  і друга частина реохорди  $aa_1$ . Коли міст знаходиться в рівновазі і у вимірювальній діагоналі струм не протікає, рівняння балансу можна записати так:

$$(R_t + R_{pa_1}) \cdot R_2 = (R1 + R_{pa_2}) \cdot R_3. \quad (1.45)$$

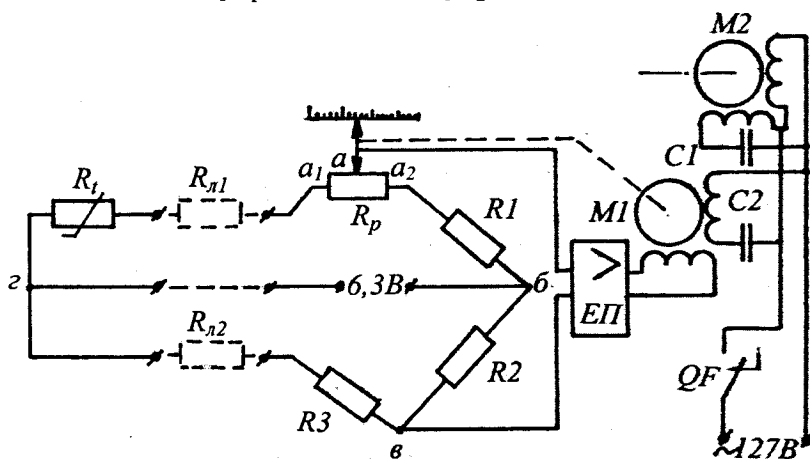


Рис. 1.37. Принципова електрична схема автоматичного моста змінного струму

При цьому вал двигуна  $M1$ , що приводить в рух контакт реохорди, не обертається і стрілка приладу знаходиться напроти будь-якого значення шкали приладу. Якщо опір перетворювача змінився, права частина рівняння не дорівнюватиме лівій, тобто міст вийде із рівноваги і в результаті між точками  $ab$  (на вимірювальній діагоналі) з'явиться напруга, яка, підсилена електронним підсилювачем ЕП, подається на двигун  $M1$ . Обертання вала двигуна приводить в рух повзунок реохорди в такий спосіб, що міст зрівноважується і напруга на вимірювальній діагоналі дорівнює нулю. Двигун зупиниться, а стрілка покажчика займе нове положення на шкалі.

Під час експлуатації автоматичних мостів у з'єднувальних проводах, що під'єднують перетворювач до моста, виникає температурна похибка через зміну температури оточуючого середовища. Для ліквідації цієї похибки перетворювач під'єднують до моста за допомогою трьох проводів. Два лінійні проводи  $R_{л1}$  і  $R_{л2}$  підключають перетворювач  $R_t$  до мостової схеми, а третій провід переносить вершину  $z$  на клему перетворювача в місці його встановлення. Перенесенням вершини діагоналї живлення безпосередньо на клему перетворювача домагаються того, що обидва проводи з'єднувальної лінії опиняються в суміжних плечах  $a_2$  і  $z_2$  (на рис. 1.37 їх показано пунктирною лінією).

Згідно з виразом (1.42) рівняння балансу моста в цьому випадку запишеться в такому вигляді:

$$(R_t + R_{л1} + R_{раа1}) \cdot R_2 = (R_1 + R_{раа2}) \cdot (R_3 + R_{л2}). \quad (1.46)$$

З рівняння (1.46) зрозуміло, що однакові за величиною температурні прирости опору на з'єднувальних проводах лінії знаходяться по обидва боки знака рівності і на покази приладу не впливають.

Як первинні перетворювачі для роботи з мостами використовують пристрої, вихідна величина яких – опір. Тому за допомогою мостів можна вимірювати різні технологічні параметри (тиск, масу, вологість, деформації, склад газів тощо), перетворивши їх на зміну опору. Крім того, мостові схеми широко використовують як елементи порівняння в регуляторах і як перетворювачі у газоаналізаторах, приладах для вимірювання концентрації розчинів та інших фізико-хімічних параметрів.

### ***1.8.2. Прилади з диференційною вимірювальною схемою***

Диференційна схема складається з двох контурів, що мають загальну ланку, в яку увімкнено вимірювальний прилад (рис. 1.38). У кожному контурі діють окремі напруги і контурні струми. Сила струму в загальній ланці, де увімкнено вимірювальний прилад, дорівнює різниці контурних струмів:

$$I_{np} = I_1 - I_2. \quad (1.47)$$

За  $U_1 = U_2$  і  $R_1 = R_2$ ,  $I_{np} = 0$ .

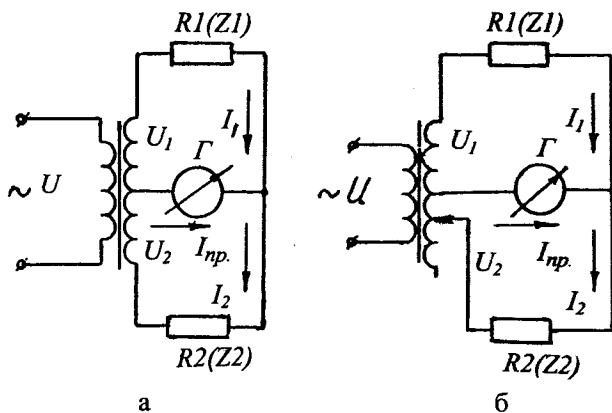


Рис. 1.38. Диференційні вимірвальні схеми:  
а – для вимірювання опорів; б – для вимірювання напруги

Враховуючи це, можливі два режими використання диференційних схем:

- 1) за незмінних опорів змінюються одна або обидві напруги контурів;
- 2) за незмінних напруг змінюються один або обидва опори контурів.

Режим 1 використовують для вимірювання напруги, режим 2 – для вимірювання опорів (активних і реактивних). Змінюючи одну або обидві напруги (опори), можна змінювати струм у загальній ланці, що є мірою зовнішнього збурення і характеризує вимірюваний параметр.

Такі прилади набули найбільшого розповсюдження для роботи з диференційно-трансформаторними перетворювачами. Їх широко застосовують для вимірювання лінійного і кутового переміщення. Схему автоматичного приладу з диференційно-трансформаторною системою передавання показів зображено на рис. 1.39. Для передавання інформації осердя диференційно-трансформаторного перетворювача ДТ<sub>1</sub> з'єднано з об'єктом, а котушки – з вимірвальною схемою. У приладі знаходиться другий ідентичний пристрій ДТ<sub>2</sub>. Їхні первинні обмотки

з'єднані послідовно і живляться від блока електронного підсилювача ЕП. Вторинні обмотки з'єднано за диференційною схемою (кінці вторинних обмоток у кожній котушці з'єднано між собою). Початки вторинних котушок перетворювача і приладу підключено до електронного підсилювача ЕП. Для переміщення осердя перетворювача ДТ<sub>2</sub> приладу використовують кулачок К і реверсивний електродвигун М. З вихідним валом двигуна пов'язані показуюча стрілка і самописний прилад (самописець), перо якого переміщається рухомою діаграмною стрічкою.

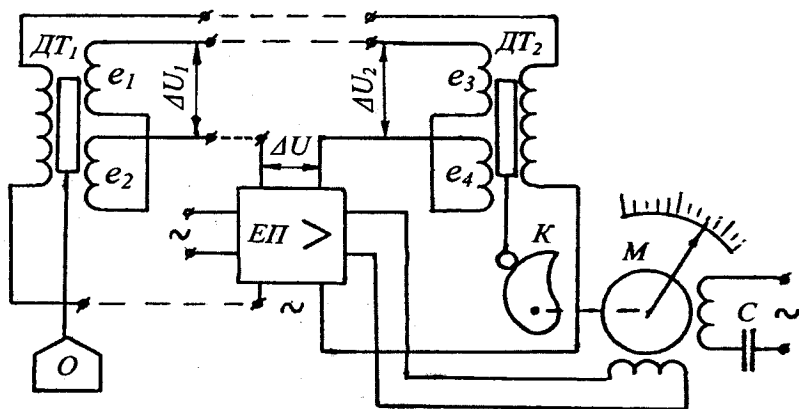


Рис. 1.39. Принципова електрична схема автоматичного приладу з диференційно-трансформаторною вимірювальною схемою

Якщо осердя перетворювача ДТ<sub>1</sub> знаходиться в середньому положенні, то ЕРС  $e_1$  і  $e_2$ , які наводяться в кожній із вторинних обмоток, будуть однакові й спрямовані назустріч одна одній:

$$\Delta U_1 = e_1 - e_2 = 0. \quad (1.48)$$

Коли осердя перетворювача ДТ<sub>2</sub> також знаходиться в середньому положенні, то різниця ЕРС у вторинних обмотках також дорівнює 0:

$$\Delta U_2 = e_3 - e_4 = 0. \quad (1.49)$$

За однакових параметрів перетворювачів напруга на вході підсилювача дорівнює нулю і система знаходиться в рівновазі:

$$\Delta U = \Delta U_1 - \Delta U_2 = 0. \quad (1.50)$$

Система не вийде з рівноваги, якщо осердя обидвох перетворювачів зміщуватимуться на однакові величини.

За зміни параметрів об'єкта осердя перетворювача ДТ<sub>1</sub> змінює своє положення. При цьому змінюється його ЕРС. У вторинному колі схеми виникає напруга, що є функцією переміщення перетворювача ДТ<sub>1</sub>, а фаза – функцією напряму переміщення осердя від середнього положення:

$$\Delta U = \Delta U_1 - \Delta U_2 \neq 0. \quad (1.51)$$

Напруга  $\Delta U$  підсилюється електронним підсилювачем ЕП і подається на керуючу обмотку двигуна М, який кулачком К переміщає осердя перетворювача ДТ<sub>2</sub> доти, доки не зрівняються напруги, що індуються в обидвох перетворювачах. Електродвигун переміщатиме також перо і стрілку приладу.

### *1.8.3. Потенціометри*

Робота потенціометрів ґрунтується на компенсаційному методі вимірювання малих напруг і ЕРС, який полягає в тому, що вимірювану ЕРС або напругу компенсують (зрівноважують) рівним за величиною і протилежним за знаком спадом напруги, яку можна встановити і визначити з достатньою точністю. Тому такі прилади ще називають компенсаторами.

Схему лабораторного потенціометра зображено на рис. 1.40. Процес вимірювання відбувається в два етапи. На першому етапі встановлюють робочий струм. Для цього перемикач SA переводять у положення 1 і гальванометр Г під'єднують до кола нормального елемента GB2. Резистором R протікає струм і створює на ньому спад напруги. За допомогою змінного опору R<sub>p</sub> встановлюють такий робочий струм, за якого спад напруги на резисторі R дорівнюватиме ЕРС нормального елемента, при цьому стрілка гальванометра Г встановиться на нульовій відмітці. Тоді можна записати:

$$U_{н.е.} = I_p \cdot R. \quad (1.52)$$



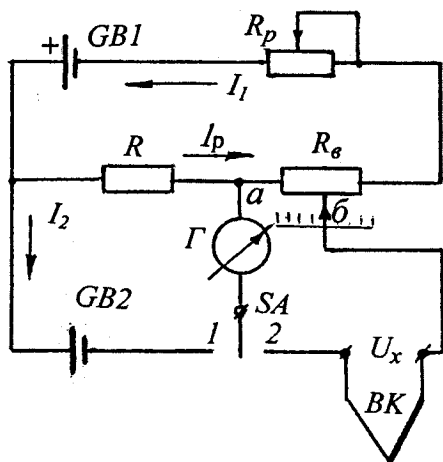


Рис. 1.40. Компенсаційна (потенціометрична) вимірювальна схема

На другому етапі вимірювання перемикач SA переводять у положення 2, при цьому гальванометр під'єднують до кола невідомої напруги  $U_x$ . Пересуваючи контакт реохорди  $R_{в}$ , стрілку гальванометра  $\Gamma$  знову встановлюють на нульову відмітку. В цьому разі невідома напруга буде зрівноважена напругою, що знімається з ділянки  $ab$  реохорди  $R'_{в}$ :

$$U_x = I_p \cdot R'_B = U_{н.е.} \cdot \frac{R'_B}{R} = N \cdot R'_B. \quad (1.53)$$

Вимірювана напруга  $U_x$  буде пропорційна до довжини змінного опору  $R'_B$  між точками  $a$  і  $b$ . Силу струму  $I_p$  і опір реохорди  $R_B$  визначено з великою точністю, тобто вимірювання невідомої напруги зводиться до вимірювання довжини реохорди між точками  $a$  і  $b$ . У момент рівноваги схема не споживає енергії від об'єкта вимірювання, чим забезпечується висока точність вимірювання.

Напруга нормального елемента становить 1,0186 В за температури 20 °С. Основна похибка потенціометра за цієї температури не перевищує  $\pm 0,5\%$ .

Для неперервного вимірювання, запису і регулювання малих напруг і ЕРС або інших неелектричних величин, які можуть бути перетворені в напругу, використовують автоматичні потенціометри. Схему такого приладу зображено на рис. 1.41. Він складається з джерела живлення GB1, мостової схеми, яка містить опори  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  і  $R_p$ , перемикача SA, віброперетворювача BB, трансформатора TV, електронного підсилювача ЕП, реверсивного двигуна М і нормального елемента GB2.

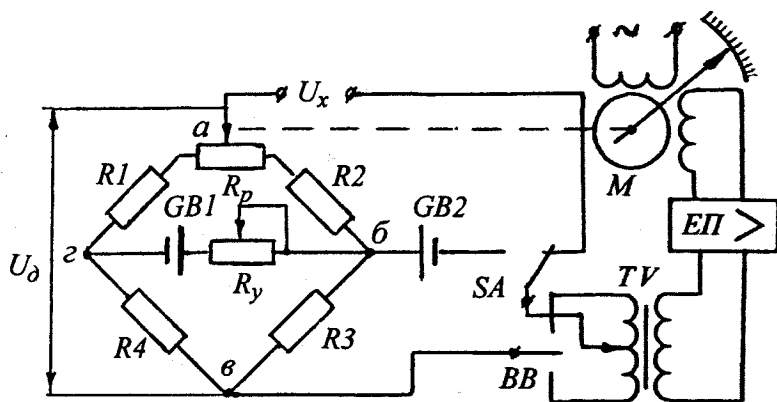


Рис. 1.41. Принципова електрична схема автоматичного потенціометра

Під час вимірювання невідома напруга  $U_x$  зрівноважується напругою  $U_0$ , яка виникає на вимірювальній діагоналі моста  $ab$ . Якщо значення  $U_x$  більше або менше від  $U_0$ , то в колі виникає постійний електричний струм, який за допомогою віброперетворювача BB перетворюється на змінний і подається на трансформатор TV. Напруга  $\Delta U$  із вторинної обмотки трансформатора надходить на електронний підсилювач ЕП і використовується для керування роботою реверсивного двигуна М, який пересуває пов'язаний з ним рухомий контакт реохорди  $R_p$ . Напрямок обертання двигуна залежить від знака напруги неузгодження. За  $U_0 = U_x$  обертання двигуна припиняється.

Перемикач SA використовують для налагодження приладу і встановлення стрілки на нуль. За його допомогою до віброперетво-

рювача під'єднують нормальний елемент GB2. Якщо схема не зрівноважена, то за допомогою резистора  $R_y$  виконують її зрівноваження. З рухом реверсивного двигуна пов'язані також переміщення покажчика і пристрою потенціометра, що записує.

Для вимірювання неперервних електричних сигналів постійного струму 0–5 мА, 0–20 мА, 4–20 мА до входу потенціометра під'єднують опір. Струм із перетворювачів неперервних електричних сигналів, протікаючи через цей опір, створює спад напруги, який порівнюють із спадом напруги на реохорді.

Для вимірювання неперервного електричного сигналу постійного струму 0–10 В на вході приладу встановлюють подільник напруги. Він ділить вхідну напругу так, щоб на прилад подавалась напруга 100 мВ. За таким принципом працюють автоматичні вимірювальні прилади типу КСУ2. Вони мають такі самі технічні характеристики, що і прилади КСП2 і КСМ2, але працюють із уніфікованим вхідним сигналом.

#### ***1.8.4. Прилади слідкуючого зрівноваження***

В останні роки вимірювальні прилади випускають на базі мікроелектронної та мікропроцесорної техніки, куди закладено принципово нові конструктивні рішення. Концерн “Львівприлад” налагодив виробництво реєструючих автоматичних одно- і багатоканальних приладів слідкуючого зрівноважування РП160, РП250 та Р100. Їх призначено для вимірювання і реєстрування постійної напруги та струму, опору та індуктивності, а також тих неелектричних величин, які можуть бути перетворені в ці величини. Такі прилади застосовують для вимірювання і контролю параметрів технологічних процесів у різних галузях виробництва.

Структурну схему приладу зображено на рис. 1.42. Принцип роботи РП160 ґрунтується на порівнюванні двох сигналів постійної напруги: вихідного сигналу первинного перетворювача  $U_{вх}$  і сигналу зворотного зв'язку  $U_{R1}$ , що знімається з рухомого контакту реохорди R1.

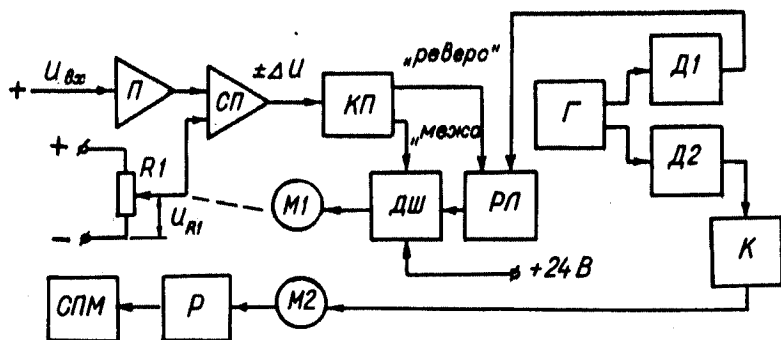


Рис. 1.42. Структурна схема приладу слідкуючого зрівноважування РП160

Сигнал первинного перетворювача  $U_{вх}$  з виходу підсилювача П надходить на підсумовуючий підсилювач СП, куди також подається сигнал зворотного зв'язку  $U_{R1}$ . Підсилений сигнал різниці напруг  $\pm\Delta U$  з виходу підсумовуючого підсилювача СП надходить на компаратор КП, який формує два сигнали: сигнал знака  $\Delta U (\pm\Delta U)$ , що визначає напрямок обертання ротора М1 ("реверс"), і сигнал, що забезпечує під'єднання напруги +24 В до обмотки статора М1 ("межа").

Порядок комутації цієї напруги на обмотках статора М1 залежно від значення і знака  $\Delta U$  і заданої швидкодії приладу визначає реверсивний лічильник РЛ, який керується прямокутними імпульсами від генератора Г через подільник частоти Д1 і дешифратор ДШ.

За  $\Delta U \neq 0$  ротор М1 починає обертатися в той чи інший бік, залежно від знака  $\Delta U$ . Ротор, кінематично пов'язаний з рухомих контактом реохорди R1, обертатиметься до того часу, поки  $\Delta U$  не дорівнюватиме нулю. В момент рівноваги ( $\Delta U = 0$ ) положення вказівника на шкалі приладу визначає значення вимірюваного параметра.

Частота комутації напруги +15 В на обмотках статора виконавчого двигуна М2 (швидкість переміщення діаграмної стрічки) задається генератором прямокутних імпульсів Г і подільником частоти Д2. Порядок комутації напруги на обмотках М2 визначається комутатором К. Двигун М2 через редуктор Р приводить в рух стрічкопротяжний механізм СПМ.

Прилади випускають з уніфікованим вхідним сигналом, що дає можливість використовувати їх у складі вимірювальних і регулюючих систем на базі ЕОМ, а також для зв'язку з іншими системами сигналізації та регулювання. Короткі технічні характеристики приладів наведено в розділах, де описано їхнє застосування для вимірювання і контролю певних технологічних параметрів.

Багатоканальні прилади мають те саме призначення, що й одноканальні, і дають змогу здійснювати вимірювання і реєстрування різних технологічних параметрів одночасно в 12 точках. Вони мають сигналізуючі пристрої із розділеними завданнями на кожному каналі.

Одно- і багатоканальні прилади слідкуючого зрівноважування типу РП160АД призначені для експлуатації у важких умовах роботи.

## 1.9. Вимірювальні підсилювачі

Здебільшого рівень сигналу перетворювача, який містить інформацію про параметри процесу, не може привести в дію вимірювальний прилад. Для збільшення рівня сигналу його підсилюють за допомогою спеціальних пристроїв, які називають підсилювачами.

Підсилювачем називають пристрій, призначений для підсилення сигналу за рахунок енергії побічного джерела (електроенергії, стиснутого повітря тощо).

Залежно від виду використовуваної енергії підсилювачі поділяють на електричні, магнітні, гідравлічні, механічні, пневматичні та комбіновані. У системах промислової автоматики найбільше поширення набули підсилювачі, які використовують електричну енергію. Вони можуть підсилювати сигнали за напругою, струмом або потужністю.

Залежно від призначення і розташування підсилювачів у схемах систем автоматики, до них висувають певні вимоги. Наприклад, вхідні підсилювачі, які встановлюють після перетворювачів, повинні мати високі ККД, заводостійкість та велику чутливість; вимірювальні підсилювачі, що використовують у вимірювальних системах та приладах, повинні мати стабільну характе-

ристку, широкий частотний діапазон без спотворення сигналу. До вихідного вимірювального підсилювача ставлять вимоги забезпечення необхідної потужності сигналів без спотворення.

Основними параметрами будь-якого підсилювача є його робоча характеристика та коефіцієнт підсилення.

Робоча характеристика – це залежність між вихідною і вхідною величинами в усталеному режимі:

$$X_{\text{вих}} = f(X_{\text{вх}}). \quad (1.54)$$

Коефіцієнт підсилення – це відношення значень на виході та вході підсилювача. Залежно від типу підсилювача, розрізняють коефіцієнти підсилення за напругою, струмом та потужністю:

$$K_{\text{ПУ}} = \frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{вх}}}; \quad K_{\text{ПІ}} = \frac{I_{\text{вих}}}{I_{\text{вх}}}; \quad K_{\text{ПР}} = \frac{P_{\text{вих}}}{P_{\text{вх}}}. \quad (1.55)$$

Очевидно, що:

$$K_{\text{ПР}} = K_{\text{ПУ}} \cdot K_{\text{ПІ}}. \quad (1.56)$$

Крім них, важливими параметрами підсилювачів є частотний діапазон, смуга пропускання, вихідна потужність, ККД.

Найпростіший підсилювач називають каскадом. За недостатнього підсилення сигналу одним каскадом його доповнюють іншим, створюючи багатокаскадний підсилювач. Коефіцієнт підсилення такого n-каскадного підсилювача становить

$$K_{\text{П}} = K_{\text{П1}} \cdot K_{\text{П2}} \cdots K_{\text{Пn}}. \quad (1.57)$$

У багатокаскадних підсилювачах перші каскади переважно є підсилювачами напруги, другі – потужності.

Ще донедавна підсилювачі збирали на електронних лампах, які свого часу зробили революцію в техніці, давши значний поштовх розвитку радіотехніки, автоматики і обчислювальної техніки. Сьогодні їх витіснили напівпровідникові пристрої.

Схему найпростішого підсилювача на одному транзисторі показано на рис. 1.43. Залежно від того, який електрод транзистора у підсилювачі є загальним за підключення керуючої напруги, розрізняють схеми із загальним емітером, базою або колектором. Найчастіше транзистор вмикають із загальним емітером. Колектор і база транзистора типу р-п-р повинні мати від'ємний потенціал щодо емітера.

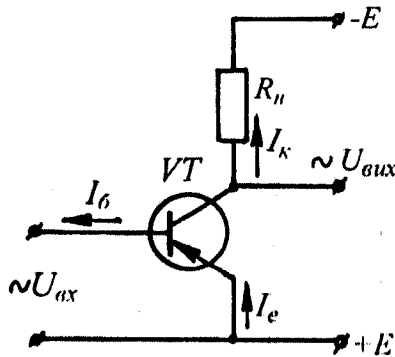


Рис. 1.43. Принципова схема підсилювача на транзисторі *p-n-p*-типу

Джерело струму  $E$ , додатний полюс якого з'єднаний з емітером, створює в ньому надлишкові додатні заряди – “дірки”, які через емітерний перехід прямують до бази. Невелика частина “дірок” рекомбінує з електронами в об'ємі бази, більша частина проходить базу, колекторний перехід і колектор до від'ємного полюса джерела струму. Струм бази  $I_b$  завжди у десятки, інколи в сотні разів менший за струм колектора  $I_k$ . Зміна струму бази зумовлює значно більшу зміну струму колектора. Тому, якщо на базу та емітер подати змінний електричний сигнал  $U_{вх}$ , то змінна складова струму колектора буде у багато разів більшою за змінну складову струму бази. За зміни полярності між базою та емітером емітерний перехід стає обернено зміщеним. У результаті кількість носіїв струму буде настільки мала, що струм колектора майже повністю припиниться – транзистор буде закритий. Підсилений сигнал знімають з опору  $R_n$ , включеного між колектором і джерелом живлення.

Як було сказано раніше, для збільшення коефіцієнта підсилення підсилювачі збирають з декількох послідовно з'єднаних каскадів, причому між каскадами може бути різний зв'язок. Підсилювачі із трансформаторним зв'язком між каскадами забезпечують гальванічну розв'язку за постійним струмом і, крім того, дають змогу узгодити вихідний опір попереднього каскаду з вхідним опором наступного. За такою схемою виконують вихідні потужні підсилювачі.

Підсилювачі постійного струму (ППС) підсилюють постійні та повільно змінювані сигнали, нижня робоча частота яких дорівнює нулю, верхня – граничній частоті транзистора. Їх широко використовують в автоматичних регуляторах, в моделюючих пристроях аналогової обчислювальної техніки, для підсилення слабких сигналів різних перетворювачів (термопар, фотоелементів, тензорезисторів тощо), в електронних вимірювальних приладах.

Особливість конструкції ППС – безпосередній зв'язок між каскадами, що дає можливість підсилювати сигнали з частотами, близькими до нуля. Схему простого підсилювача постійного струму показано на рис. 1.44. Основний її недолік – наявність так званого дрейфу нуля. Він полягає в тому, що за закороченого входу вихідна напруга може змінюватись будь-як. Це явище залежить від температурної нестабільності параметрів транзисторів та інших елементів схеми, від випадкових коливань напруги живлення та інших зовнішніх чинників. Стабільність роботи ППС оцінюють за значеннями напруги дрейфу, приведеної до входу ППС, тобто – це така напруга дрейфу на вході, яка компенсує напругу дрейфу на виході:

$$U_{\text{др.вх}} = \frac{U_{\text{др.вих}}}{K_{\Pi}}, \quad (1.58)$$

де  $K_{\Pi}$  – коефіцієнт підсилення підсилювача.

Дрейф нуля зменшують стабілізацією напруги живлення, підбором параметрів схеми та схемними методами. До них належить використання елементів для температурної компенсації з нелінійною температурною характеристикою та балансних і компенсаційних схем підсилювачів.

Для побудови потужних підсилювачів використовують тиристри, що являють собою керований напівпровідниковий клапан, який має чотиришарову структуру типу p-n-p-n. Такі підсилювачі замінили потужні електромагнітні та електромашинні підсилювачі, що мають значні втрати енергії і використовувались для автоматизації роботи будівельних машин з електроприводом. Керування роботою такого клапана здійснюють прикладанням напруги на спеціальний керуючий електрод.



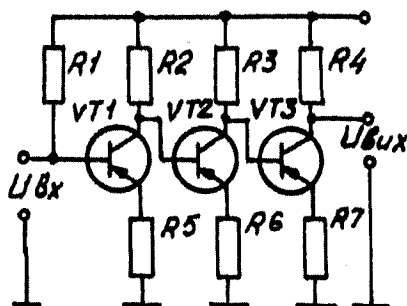


Рис. 1.44. Принципова електрична схема трикаскадного підсилювача постійного струму (ППС)

## 1.10. Уніфікуючі (нормуючі) вимірювальні перетворювачі

У зв'язку з розвитком комплексної автоматизації і появою систем централізованого контролю виникла потреба в уніфікації сигналів, які передають вимірювальними лініями. Це впорядковує номенклатуру технічних засобів, а також полегшує їхню розробку і використання. Крім того, такі сигнали узгоджують сигнали первинних перетворювачів з іншими пристроями системи.

Вимірювальними перетворювачами називають пристрої, що реалізують вимірювальне перетворення.

Оскільки дія вимірювальних перетворювачів ґрунтується на різних фізичних явищах, то вихідні сигнали в них також мають різну фізичну природу, різні властивості, по-різному піддаються обробці, розшифруванню та захисту від завад. Оцінка різних видів сигналів свідчить про те, що найкращі властивості мають електричні сигнали таких типів:

1) сигнали у вигляді постійного струму або напруги, що відображають рівень вимірюваної величини; головною їхньою перевагою є: простота конструкції перетворювача, простота зміни коефіцієнта перетворення, відсутність впливу реактивних параметрів лінії

зв'язку, можливість фільтрування змінних завад і наведень, що накладаються на вимірювальний сигнал;

2) сигнали у вигляді амплітудно-модульованої синусоїдальної напруги або струму, які допускають передавання інформації на великі віддалі, легко підсилюються і реєструються, але вимагають узгодження частотних характеристик елементів вимірювального кола;

3) сигнали у вигляді частотно-модульованого струму або напруги, які легко перетворюються в цифрову форму, комутуються без додаткових похибок, забезпечують високу стійкість до завад, мають кращі інформаційні властивості;

4) сигнали у вигляді модульованих імпульсних кодів, які мають ще кращі характеристики, але їх рідко використовують, бо не існує величин, які необхідно вимірювати і подавати в кодово-імпульсному вигляді.

Уніфікація вимірювальних сигналів не вичерпується вибором обмеженої кількості електричних сигналів. Іншим завданням уніфікації є забезпечення одного і того самого діапазону вимірювання декількох величин. Для цієї мети використовують спеціальні уніфікуючі перетворювачі, що включаються в коло безпосередньо за первинними перетворювачами (див. рис. 1.9–1.10). Іншими словами, група засобів, які забезпечують уніфікацію сигналу між його джерелом або виходом первинного перетворювача і входом вторинних пристроїв, належить до класу уніфікуючих (нормуючих) вимірювальних перетворювачів (УВП).

Розрізняють індивідуальні, групові і багатоканальні УВП. Індивідуальні УВП обслуговують один первинний перетворювач і один вторинний прилад. Вони дають змогу також здійснювати перетворення одного уніфікованого сигналу в інший, гальванічне роз'єднання вхідних кіл, помноження вхідного сигналу на декілька виходів.

Уніфікованим називають такий сигнал, у якого вид носія інформації і діапазон його вимірювання не залежать від виду вимірюваної величини, методу і діапазону її вимірювання.

Відповідно до чинних стандартів за носії інформації взято електричні сигнали постійного і змінного струмів. Рівні сигналів

постійного струму в системі повинні змінюватися в таких межах: 0–5 мА; 0,5–0–5 мА; 0–20 мА; -20–0–20 мА; 4–20 мА; -100–0–100 мА.

У дистанційних вимірювальних системах рекомендують використовувати такі сигнали: 0–5 мА; 0–20 мА і 4–20 мА.

Рівні сигналів постійної напруги повинні відповідати таким значенням: 0–10 мВ; -10–0–10 мВ; 0–20 мВ; 0–50 мВ; 0–100 мВ; -100–0–100 мВ; 0–1 В; -1–0–1 В; 0–5 В; -5–0–5 В; 1–5 В; 0–10 В; -10–0–10 В.

Для дистанційних вимірювань рекомендують сигнали 0–1 В; 0–5 В і 1–5 В. Використання сигналів із так званим зміщенням нулем 1–5 В і 4–20 мА дає змогу здійснювати контроль справності первинного перетворювача і вимірювального кола загалом за початкового рівня сигналу  $X=0$ , а також уможливує використання однієї двопровідної лінії зв'язку для передавання вхідного сигналу і живлення на проміжні перетворювачі.

Рівні сигналів змінного струму повинні відповідати своїм значенням за частоти 50 або 400 Гц.

Частотні сигнали повинні відповідати таким значенням: 2–4 кГц і 4–8 кГц за амплітуд 60–160 мВ; 160–600 мВ; 0,6–2,4 В і 2,4–12 В.

Сигнали змінної напруги використовують у вимірювальних системах значно рідше і переважно під час застосування перетворювачів феродинамічної системи. Частотні сигнали використовують для дистанційного передавання інформації, а також в умовах сильних промислових перешкод.

Промисловість серійно випускає індивідуальні УВП для перетворення сигналів широкого кола первинних перетворювачів (тензорезисторних – ПА-1; термоелектричних – Ш72, Ш78; термоперетворювачів опору – ШЭ1, Ш79; диференційно-трансформаторних – НП-ПЗ, НП-ПІМ тощо).

Структурну схему перетворювача НП-ПІМ показано на рис. 1.45. Він складається із демодулятора і підсилювача постійного струму. Диференційно-трансформаторний перетворювач ДП під'єднано до входу демодулятора 1, який перетворює вхідний сигнал у пропорційну постійну напругу. Живлення здійснюють від стабілізатора змінного струму 6, розташованого всередині перетворювача.

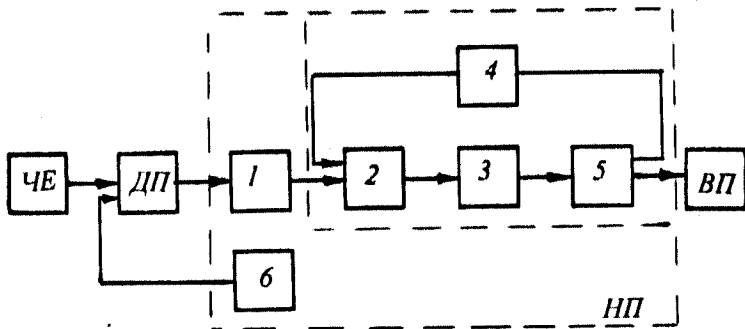


Рис. 1.45. Структурна схема уніфікуючого перетворювача типу НП-ПІІМ:  
 ЧЕ – чутливий елемент; ДП – диференційно-трансформаторний перетворювач; ВП – вторинний прилад; НП – нормуючий перетворювач

Підсилювач постійного струму, охоплений глибоким від’ємним нелінійним зворотним зв’язком за струмом 4, перетворює постійну напругу в змінну перетворювачем 2, підсилює її підсилювачем 3 і за допомогою фазочутливого підсилювача 5 знову перетворює в постійну. З виходу підсилювача потужності 5 знімається сигнал постійного струму 0–5 мА і подається на вторинний прилад.

Схеми інших типів перетворювачів буде показано у відповідних розділах, де описуватиметься і їхнє застосування.

У вимірювальних перетворювачів результати вимірювань подають в одиницях вихідної величини, через це для них прийнято розрізняти похибки за входом і виходом. Під час їхнього визначення необхідно знати приписану цьому перетворювачеві градуювальну характеристику.

## 1.11. Класифікація систем автоматичного контролю

Крім вимірювань, у будівництві й на підприємствах будівельної індустрії широко застосовують системи автоматичного і автоматизованого контролю.

К о н т р о л е м називають процес отримання і подання в заданій формі інформації про стан технологічних параметрів.

Головними завданнями систем контролю є вимірювання параметрів об'єкта керування і порівняння поточних параметрів з допустимими значеннями, реєстрація значень параметрів і їхніх поточних відхилень від завдання, сигналізація аварійних і ненормальних ситуацій.

Системи автоматичного контролю класифікують за такими ознаками:

- 1) кількістю точок контролю;
- 2) характером контрольованих параметрів;
- 3) точністю вимірювання параметрів;
- 4) швидкодією;
- 5) способом вибирання точок контролю;
- 6) віддаллю від об'єкта до системи контролю;
- 7) видом оброблюваних сигналів;
- 8) наявністю вмонтованих мікропроцесорів.

За кількістю точок контролю вирізняють системи одноточкові та багатоточкові. Одноточкові системи контролю використовують для простих об'єктів, а одержане значення контрольованого параметра в поточний момент часу виводять на прилади без додаткової обробки. Прикладом може бути контроль температури арматури за її електротермічного напружування або контроль тужавіння бетону в процесі теплової обробки.

Багатоточкові системи контролю використовують для аналізу параметрів об'єктів із складною структурою. Характерною особливістю такої системи є наявність засобів обробки даних, які надходять, і виведення на прилади системи автоматизації усереднених значень і відхилень параметрів. Візьмемо для прикладу систему контролю температури теплової обробки масивних бетонних конструкцій. Як відомо, за теплової обробки таких конструкцій температурний градієнт може досягти 5...7 °С і більше, що значно перевищує допустиму похибку регулювання температури. Оскільки контроль і керування необхідно вести за середньою температурою, то це вимагає встановлення двох і більше перетворювачів температури.

За характером контрольованих параметрів вирізняють спеціалізовані та універсальні системи контролю.

Спеціалізовані системи забезпечують контроль однієї або декількох, заздалегідь обумовлених, фізичних величин (наприклад, контроль рівня вологості та температури матеріалу в нагромаджувальному бункері).

Універсальні системи виконують за модульним принципом, і вони мають модуль обробки сигналів, модуль керування вибором контрольованого параметра, набір модулів перетворення і нормування вхідних сигналів, групу перетворювачів, які може бути під'єднано до об'єкта керування (наприклад, мікропроцесорна система Реміконт Р-130).

Швидкодія систем контролю залежить від швидкості зміни характеристик об'єкта і кількості точок контролю. В будівельній індустрії використовують системи із середньою і малою швидкістю. Перехід на мікропроцесорні системи автоматичного контролю значно збільшує їхню швидкість.

За способом вибору точок контролю вирізняють системи з оббігаючим контролем і випадковим вибором.

У системах з оббігаючим контролем послідовність контрольованих величин заздалегідь обумовлена, і на кожному кроці контролю реалізується послідовно вимірювання, виведення на прилад і (або) реєстрування поточних значень параметрів. Прикладом такої системи є контролювання деформації залізобетонної конструкції за допомогою тензоперетворювачів і багатоточкового приладу ЦТМ-5. Останні модифікації таких приладів мають мікроЕОМ.

Системи з вибіркоким контролем забезпечують вимірювання, виведення і (або) реєстрування конкретного параметра, що визначається оператором або диспетчером.

За віддаллю від об'єкта до засобів контролю розрізняють системи місцеві (зосереджені), дистанційні та телемеханічні.

Системи контролю, в яких вимірювальні пристрої розташовано безпосередньо на об'єкті або дуже близько від нього, називають місцевими. Наприклад, контроль температури нагрівання арматури на установках для нагрівання.

Системи дистанційного контролю розташовують на певній віддалі від об'єкта. В таких системах для з'єднання первинного перетворювача з вторинним приладом використовують спеціальні лінії зв'язку. Часто для передавання сигналів лініями зв'язку їх піддають спеціальній обробці або певним перетворенням. Дистанційні системи використовують тоді, коли потрібно сконцентрувати усю інформацію на спеціальних пультах операторів чи диспетчерів.

Системи телемеханічного контролю забезпечують контроль параметрів об'єкта, що розташований на дуже великій віддалі від оператора. В таких системах результат вимірювання за допомогою спеціальних перетворювачів шифрують і накладають на носій сигналу, що передається лінією зв'язку. У вторинному приладі, який розташований на другому кінці каналу зв'язку, цей сигнал дешифрують, тобто розділяють сигнал вимірювання і носій. Телемеханічні системи мають дуже дорогу апаратуру, і в будівництві їх найчастіше використовують для контролю параметрів рухомих об'єктів. Наприклад, контроль перевезень вантажів автомобільним транспортом або контроль роботи землерійно-транспортних машин.

## **1.12. Державна система приладів і засобів автоматизації**

Післявоєнний період розвитку тодішнього СРСР, до складу якого входила Українська РСР, характеризувався високими темпами розвитку промислового потенціалу та інтенсивним розвитком приладобудування. В цей період розробляли і випускали велику кількість різноманітних приладів і засобів вимірювання, які мали подібні характеристики. Задоволення потреб народного господарства здійснювали без вироблення єдиних вимог до розроблюваної апаратури. Прилади випускали в корпусах довільних розмірів і різноманітного естетичного виконання, вони мали різну вартість і різні рівні енергоспоживання, виконувались за різними схемами та

різними елементною і конструктивною базами. Сумісну роботу таких приладів і пристроїв практично не передбачали, бо на панелях приладів були відсутні вихідні розніми, а рівні і види вихідних сигналів не уніфікували. Тому для кожного конкретного випадку збору інформації розробляли свої засоби вимірювань, що виявилось економічно недоцільним і вимагало значних затрат.

Усе це було поштовхом до того, що в 1960 р. було прийнято рішення про створення державної системи промислових приладів і засобів автоматизації (ДСП), а в 1961 р. розпочато роботу щодо її реалізації.

ДСП розробляли з метою забезпечення економічної та технічної доцільності під час вирішення проблем вимірювань і автоматизації з використанням різних технічних засобів у різноманітних галузях народного господарства. Тепер ГОСТ 12997-76 (ДСП) являє собою експлуатаційно, інформаційно, енергетично, метрологічно і конструктивно організовану сукупність виробів, призначених для використання їх як засобів автоматичних і автоматизованих систем контролю, вимірювання, регулювання технологічних процесів, а також інформаційно-вимірювальних систем (рис. 1.46).

Сьогодні Україна ще не розробила своєї Державної системи приладів і користується ДСП колишнього СРСР. Це дає змогу продовжувати співробітництво у цій галузі з багатьма країнами, що входили колись до складу СРСР.

В основу створення і вдосконалення ДСП було покладено такі системно-технічні принципи:

- розділення технічних засобів за функціональним призначенням;
- мінімізацію номенклатури та кількості технічних засобів;
- блочно-модульну побудову приладів і пристроїв;
- агрегатну побудову інформаційно-вимірювальних систем і засобів керування;
- сумісність приладів і пристроїв ДСП у інформаційно-вимірювальних системах і системах керування;



- реалізацію у виробках раціональних естетичних і ергономічних вимог.



Рис. 1.46. Структурна схема організації вимірювальних пристроїв ДСП

Залежно від призначення виробу ДСП поділяють на такі групи пристроїв:

- для одержання інформації про стан процесу або об'єкта;
- для приймання, перетворення і передавання інформації каналами зв'язку;
- для перетворення, опрацювання і зберігання інформації і формування команд керування;
- для використання командної інформації.

У подальшому розглянемо тільки першу функціональну групу пристроїв. До неї зараховують вимірювальні перетворювачі та вимірювальні прилади і пристрої. Перетворювачі призначено для вироблення вимірювальної інформації в формі, зручній для передавання і подальшого перетворення, яка не піддається безпосеред-

ньому сприйняттю спостерігачем. Прилади призначено для подавання вимірювальної інформації у формі, доступній для безпосереднього сприйняття спостерігачем. У цю групу пристроїв входять і уніфікуючі вимірювальні перетворювачі. Конструкція, функціональне призначення, можливості та особливості роботи приладів і пристроїв розглядатимуться у відповідних розділах, інформацію про що може бути застосовано для вимірювання і контролю різних технологічних параметрів.

Тепер розроблено параметричні ряди перетворювачів тиску, витрати, рівня, температури і електровимірювальних приладів. Однак безперервно продовжується пошук оптимальних параметричних рядів, причому як критерії оптимальності приймають техніко-економічні показники, такі як, наприклад, мінімум сумарних затрат на задоволення заданих потреб. Цей критерій ґрунтується на суперечностях між інтересами споживача і виготовлювача: чим менше в ряду приладів, тим менше затрат на розробку і освоєння, тим більшими серіями їх виготовляють, що дає значну економію виготовлювачу. Разом з тим, збільшення кількості приладів в ряду дає змогу споживачеві вибрати доцільніший прилад і точніше контролювати параметри технологічного процесу. Для реалізації принципу мінімізації використовують також метод агрегування. Вироби агрегатних комплексів розробляють у вигляді функціонально-параметричних рядів, які охоплюють потрібний діапазон вимірювань у різних умовах експлуатації.

Під час конструювання приладів і систем ДСП використано блочно-модульний (касетно-модульний) спосіб побудови. Він полягає в тому, що будь-які структурно- або функціонально складні системи збору інформації виготовляють із обмеженої кількості простих стандартних блоків і модулів. Використовуючи стандартні вузли, виконані в певних конструктивах, можна створювати системи будь-якої складності, легко перебудовувати їхні структури, надавати системам нових функціональних властивостей, створювати системи прості в обслуговуванні та ремонтпридатні. Одночасно легко вирішується питання резервування, що підвищує надійність приладів і систем. Для прикладу 240 модифікацій приладів КС1 збирають лише із 26 блоків і модулів, а більш як 340 модифікацій приладів КС2 – із 55 блоків і модулів.

Іншим характерним прикладом реалізації наведеного вище принципу конструювання є створення комплексу уніфікованих перетворювачів компенсаційного типу. Ці перетворювачі із уніфікованим пневматичним або електричним струмовим вихідним сигналом призначено для перетворення різних фізичних величин. Незважаючи на різноманітність фізичної природи вимірюваних величин, кожний перетворювач вміщає усього два блоки: уніфікуючий електричний або пневматичний перетворювач вимірюваної величини і вимірювальний блок.

Для 136 типів і 863 модифікацій перетворювачів, призначених для вимірювання 12 параметрів, використовують близько 600 назв деталей.

Опираючись на системотехнічний принцип мінімізації номенклатури виробів, а також блочно-модульний принцип конструювання приладів і пристроїв ДСП, сформульовано принцип агрегування як побудову функціонально складніших пристроїв і систем із обмеженого набору простіших уніфікованих виробів. Агрегатний принцип побудови систем є прогресивнішим, оскільки дає можливість споживачу за мінімальних затрат конструювати будь-яку структуру із набору модулів і блоків, що серійно випускає промисловість. За побудови таких систем дуже часто, поряд із вимогами до конструктивної сумісності, виникають і вимоги до інформаційної, експлуатаційної, метрологічної та інших видів сумісності.

Конструктивно принцип агрегування в ДСП може бути реалізовано двома методами. Один передбачає створення пристроїв і приладів із новими функціональними можливостями або характеристиками методом об'єднання уніфікованих елементів, модулів і блоків у деякій уніфікованій базовій конструкції. Цей метод використовують під час створення порівняно нескладних засобів вимірювання і керування.

Інший метод агрегування використовує як конструктивну основу комплекс уніфікованих типових конструкцій (УТК). При цьому структура виробів ДСП набуває конструктивно-ієрархічного характеру, тобто вироби, виконані на базі типових конструкцій нижчого рангу, можуть послідовно встановлювати в будь-яку із типових конструкцій вищого рангу, кожного разу утворюючи конструктивно закінчені вироби.

Сьогодні випускають близько 30 агрегатних комплексів (АК), призначених для одержання інформації, її опрацювання, зберігання, документування і програмного керування технологічними процесами. Комплекси ДСП можна умовно розділити на дві групи: АК широкого призначення і спеціалізовані АК.

Комплекси широкого призначення, як правило, використовуються самостійно і призначені для керування в різних галузях народного господарства. Спеціалізовані АК призначено для одержання певного виду інформації. Це – агреговані комплекси засобів неруйнівного контролю, засобів аналітичної техніки, збору первинної інформації тощо.

Існує багато видів сумісності: метрологічна, електрична, конструктивна, інформаційна, експлуатаційна тощо. За побудови вимірювально-інформаційних систем (ВІС) із набору функціональних блоків (ФБ) необхідно, щоб кожний блок мав чітко нормовані характеристики, головною із яких є похибка. Ця вимога, з одного боку, дає змогу зіставляти результати вимірювань, а з другого, – уможливорює підібрати ФБ із близькими значеннями основної похибки і тим самим знизити затрати на придбання прецизійної апаратури. Так, наприклад, під час роботи із конденсаторними перетворювачами, основна похибка яких становить 2,5–5 %, а додаткова температурна похибка – 0,5 % на кожні 10 °С, не слід використовувати високоточні цифрові вольтметри класів 0,01–0,05, що мають високу вартість, а достатньо використати дешеві прилади класів 0,5–1,0. Такі вимоги визначають метрологічну сумісність.

Електрична сумісність накладає певні вимоги на вид, рівень і потужність сигналів, що містять інформацію. Необхідно, щоб параметри вихідного сигналу попереднього перетворювача за видом, рівнем і потужністю було узгоджено з вхідними параметрами наступного.

Технічні засоби ДСП використовують для передавання інформації електричну, пневматичну, гідравлічну енергії. В зв'язку з тим, що гідравлічну енергію використовують переважно у виконавчих механізмах, то уніфіковані лише електричні (див. 1.10) і пневматичні ( $2 \cdot 10^4$ – $10 \cdot 10^4$  Па) сигнали.

Конструктивна сумісність передбачає узгодження конструкцій і механічного sprzęження функціональних модулів і забезпечується в приладах і системах використанням комплексу УТК.

Експлуатаційна сумісність вимагає виконання єдиних правил щодо обслуговування, налагодження і ремонту технічних засобів.

Інформаційна сумісність проявляється в багатоканальних системах, у яких для обміну інформацією використовують інтерфейси, які забезпечують передавання інформації в обидвох напрямках і використовуються для sprzęження керуючих обчислювальних комплексів та інших технічних засобів із кодованим сигналом.

Залежно від форми подання інформації згідно з ДСП приладам присвоєно такі шифри:

- КС – із записом на стрічковій діаграмі;
- КП – з плиткою шкалою, що показують;
- КВ – з обертовою шкалою, що показують.

Комплекси КС, КП, КВ залежно від принципів вимірювання поділяють на:

- прилади з мостовою вимірювальною схемою на змінному струмі КСМ, КПМ, КВМ;
- прилади з потенціометричною вимірювальною схемою КСП, КПШ, КВП;
- прилади з диференційно-трансформаторною вимірювальною схемою КСД, КПД, КВД;
- прилади для вимірювання уніфікованих сигналів вимірювальних перетворювачів ДСП – КСУ, КПУ, КВУ;
- прилади з логометричною вимірювальною схемою КСЛ.

Найбільшого розповсюдження набули прилади, призначені для:

- вимірювання технологічних параметрів: температури, електричних опорів, напруг, солемісту, тиску, рівня, витрати, значень рН, вологості тощо;
- вимірювання електричних сигналів, прийнятих у ДСП: 0–5 мА, 0–20 мА, 0–10 В;
- одержання уніфікованих сигналів, що використовують для зв'язку з різними гілками ДСП. Ці прилади мають вмонтовані перетворювачі для одержання на виході сигналів,

пропорційних до вимірюваного параметра, і використовуються для зв'язку з різними гілками ДСП:

- 0–5 мА, 0–20 мА, 0–10 В – гілка постійного струму;
- 0,02–0,1 МПа – пневматична гілка;
- 1–1 В, 50 Гц; 0–2 В, 50 Гц – гілка змінного струму;
- 4–8 кГц – обчислювальна техніка.

В усіх приладах передбачено пристрої, призначені для регулювання технологічних процесів. Регулювання поділяють на позиційне, з використанням спеціальних регулюючих пристроїв, і пропорційне.

Залежно від габаритних розмірів прилади поділяють на такі групи:

- мініатюрні КС1 – КСП1, КСМ1, КСД1 (ширина поля запису і довжина шкали – 100 мм);
- малогабаритні КС2 – КСП2, КСМ2, КСД2, КСУ2 (ширина поля запису і довжина шкали – 160 мм);
- нормальногабаритні КС4 – КСП4, КСМ4, КСУ4 (ширина поля запису і довжина шкали – 250 мм);
- прилади, що показують, з обертовою шкалою КВ1 – КВП1, КВМ1, КВД1, КВУ1 (довжина шкали – 500 мм);
- прилади, що показують, з плиткою шкалою КП1 – КПМ1, КПП1, КПД1, КПУ1 (довжина шкали – 195 мм);
- прилади з дисковою діаграмою КС3 – КСП3, КСМ3, КСД3, КСУ3 (довжина шкали – 600 мм).

Прилади мають різні класи точності:

- мініатюрні прилади – клас 1;
- малогабаритні прилади – клас 0,5;
- нормальногабаритні прилади – клас 0,25.

З 1986 р. почали випускати аналогові прилади серії А, що виконані на мікроелементній базі і якими пропонували замінити прилади серії КС. Прилади А-550-001–А550-001-05 мали замінити одноканальні потенціометри типу КСП4 без регулюючих пристроїв; А682-002–А682-002-03 – багатоканальні КСП4 і КСМ4 без регулюючих пристроїв; А683-001-04–А683-001-07 – багатоканальні прилади із двопозиційним регулюванням КСП4 і КСМ4. Прилади КСП3 і КСМ3 мали замінити на прилади “ДИСК-250”, КСП2 та КСМ2 – на прилади РП160.

Повинно було бути налагоджене виробництво великої кількості приладів, які належать до агрегатних засобів контролю і регулювання. Ці прилади повинні були б працювати на базі стандартних уніфікованих сигналів постійного струму 0–1 В, 0–10 В, 0–5 мА, 0–20 мА і мати клас точності 1. Прилади мали бути одно-, дво- і триканальними, що показують (А501–А502), реєструючими (А542–543) із вмонтованими пристроями для регулювання і сигналізації.

Розпад колишнього СРСР унеможливив подальше розгортання цієї програми. В Україні прилади класу КС1 і КС2 випускав концерн (тепер ДП) “Львівприлад”. Сьогодні підприємство продовжує випускати деякі модифікації приладів КС2 та почало здійснювати програму поступового переходу на прилади РП160, РП250 та Р100, випускає 15 назв різноманітних приладів (більше 500 варіантів їхнього виконання). У найближчому майбутньому підприємство планує випускати близько 20 модифікацій сучасних приладів. Ці прилади поставляють переважно в Україну та країни так званого СНД.

### **1.13. Сучасні засоби вимірювання та контролю**

Сучасні високі технології у різних галузях промисловості вимагають розробки та впровадження нових систем вимірювання, контролю та керування, що привело до розвитку нового покоління первинних перетворювачів та вторинних пристроїв. Крім високих метрологічних характеристик, вони мають велику надійність, тривалу стабільність, малі габаритні розміри, невелику масу і енергоспоживання, стійкість до впливу дестабілізуючих чинників, сумісність з іншими мікроелектронними пристроями. Виготовляють такі прилади за мікроелектронною технологією.

Мікроелектронні первинні перетворювачі в зарубіжній технічній літературі називають сенсорами. У них можлива інтеграція функцій перетворення фізичних величин в електричний сигнал з функцією первинної її обробки за розташування чутливого елемента

і схем обробки в одному кристалі. Це забезпечує різке зменшення обсягу подальшої обробки інформації у вторинних пристроях і спрощує спряження перетворювачів з електронними колами.

За конструктивним виконанням мікроелектронні первинні перетворювачі можна розділити на три класи:

1. Сенсори – найпростіші первинні перетворювачі, що складаються лише з чутливого елемента і вимірювального перетворювача.

2. Інтегральні перетворювачі, які містять чутливий елемент та схеми компенсації впливу температури оточуючого середовища і калібрування вихідного сигналу.

3. Інтелектуальні перетворювачі, які містять чутливий елемент, схеми термокомпенсації і комплексної обробки сигналу.

Мікроелектронні первинні перетворювачі будують на основі різних фізичних ефектів і принципів дії. Крім наведених у розділі 1.7, тут широко використовують магніторезисторні, магнітодіодні, магнітотранзисторні, п'єзорезисторні та інші перетворювачі. Велика частина використовуваних ефектів проявляється в кремнії, що дає змогу забезпечити сумісність технології виготовлення первинних перетворювачів та інтегральних схем обробки сигналів.

Крім напівпровідникових матеріалів, для виготовлення мікроелектронних первинних перетворювачів використовують метали, окиси металів, діелектрики, п'єзоелектрики, полімерні плівки, органічні речовини та інші матеріали. Такі перетворювачі широко застосовують для вимірювання тиску, температури, зусиль, прискорення, механічного напруження, переміщення, рівня витрати рідин, складу газів, вологості та інших параметрів.

Інтелектуальні перетворювачі, керовані мікропроцесорами, мають більшу точність, вищу вирізняючу здатність, можуть працювати в діалоговому режимі, забезпечувати автоматичне протоколювання результатів вимірювання та здійснювати самодіагностику.

Дані про передавальні функції між входом і виходом, про структуру та параметри перетворювача закладено в пам'ять мікропроцесора, тому структурування та параметрування нових перетворювачів можна виконувати з центрального пульта керування за певною програмою в реальному масштабі часу.



“Інтелектуальні здібності” перетворювачів можна розташувати згідно із зростаючим рівнем складності виконуваних функцій:

1-й рівень – здатність перетворювати енергію параметрів у легко вимірюваний електричний сигнал і додатково обробляти його для подальшого використання;

2-й рівень – здатність компенсувати вплив оточуючого середовища (зміну температури, тиску, магнітного поля тощо) і вносити відповідні корективи у вихідний сигнал;

3-й рівень – комунікаційна здатність, яка забезпечує можливість встановлення зв’язку в широкій мережі перетворювачів;

4-й рівень – можливість самодіагностики, видавання інформації про несправності або відмови, що уможливорює проводити своєчасний ремонт або заміну перетворювачів;

5-й рівень – здатність виконувати логічні керуючі (релейні) операції і приймати рішення про послідовність їхнього виконання.

Структурні схеми деяких типів мікроелектронних перетворювачів відомих фірм подано у відповідних розділах. На рис. 1.47 показано структурну схему інтегрального кварцового перетворювача температури типу *Qua-T* німецької фірми *Heraeus Temperatur-Messtechnik*. У ньому використовується залежність резонансної частоти коливань кристалізованого кварцу від його температури, яка дуже стабільна в часі.

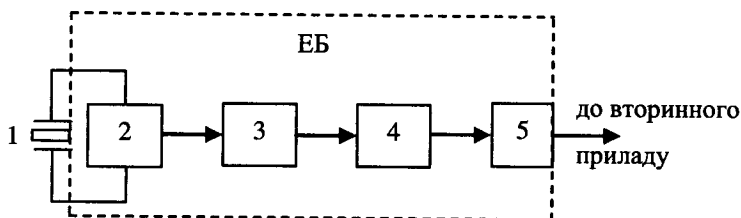


Рис. 1.47. Структурна схема інтегрального кварцового перетворювача температури типу *Qua-T*

Кварцовий резонатор 1 разом із генератором 2 генерують електричні коливання, частота яких залежить від температури. Еталонна частота за температури  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  становить 28 МГц. За чутливості перетворювача  $1000\text{ Гц}/1\text{ }^{\circ}\text{C}$  зміна частоти за зміни темпе-

ратури на  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$  становить  $200\text{ кГц}$ . Після ділення дільником 3 і формування імпульсів формувачем 4 сигнали надходять до вихідного каскаду 5, а з нього – у лінію зв'язку до вторинного приладу.

Електронний блок ЕБ виконано у вигляді інтегральної мікросхеми і вмонтовано у головку перетворювача, з'єднаного двопровідною лінією з мікропроцесором, який здійснює кінцеву оцінку отриманої інформації.

Похибка приладу становить  $\pm 0,1\%$  в межах  $-20\dots+120\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Можлива межа вимірювання  $-40\dots+300\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Стабільність показів погіршується за температури  $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а за температури  $570\text{ }^{\circ}\text{C}$  п'єзоелектричний ефект зникає. Різницю температур цим приладом можна вимірювати з похибкою, не більшою за  $\pm 0,02\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

На рис. 1.48 зображено структурну схему інтелектуального перетворювача тиску ST 3000 з вихідним сигналом  $4\text{--}20\text{ мА}$  фірми *Honeywell*. Прилад складається з вимірювального ВБ і електронного ЕБ блоків. Чутливий елемент 1 виконано у вигляді мембрани, в поверхню якої імплантовано три мікрорезисторні первинні перетворювачі для вимірювання контрольованого тиску  $P_B$ , та збурюючих параметрів: статичного тиску  $P_C$  і температури  $t$ . Контрольований тиск вимірюється один раз за секунду, а збурення з інтервалом: статичний тиск через  $0,5\text{ с}$ , а температура – через  $20\text{ с}$ .

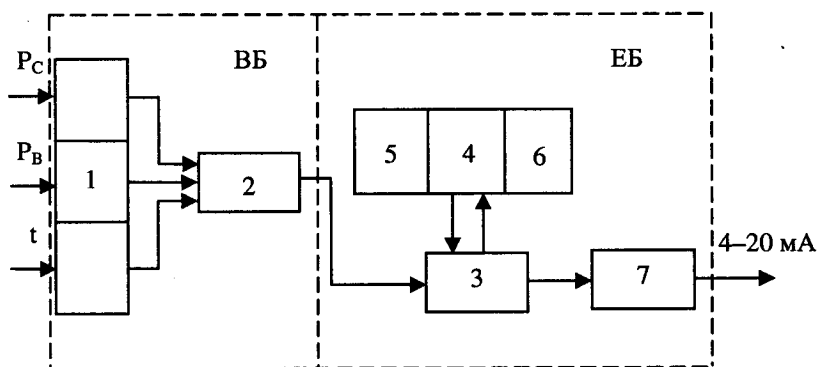


Рис. 1.48. Структурна схема інтелектуального перетворювача тиску тиску ST 3000 фірми *Honeywell*

В імпульсному модуляторі 2 аналогові сигнали перетворюються у цифрові, які надходять до пристрою зв'язку 3. Восьмибітовий мікропроцесор 4 визначає величину вимірювального параметра з врахуванням поправок на зміни параметрів довкілля. 5 і 6 – постійний та програмований запам'ятовувальні пристрої, в пам'яті яких зберігаються базові дані про калібрування вимірювального перетворювача, показники нелінійності, функціональні взаємозалежності параметрів, результати проміжних обчислень тощо. В блоці 3 відбувається зворотне перетворення цифрового сигналу в аналоговий 4–20 мА, що відповідає величині вимірюваного параметра  $P_v$ . Вихідний пристрій 7 використовують для під'єднання перетворювача до лінії зв'язку.

Струмовий сигнал надходить до спеціального діалогового пристрою (ручного комунікатора), який розташовується в будь-якому зручному місці між вимірювальним перетворювачем та пультом керування. За допомогою діалогового блока забезпечують:

- двосторонній зв'язок між обслуговуючим персоналом та вимірювальним перетворювачем;
- нове встановлення діапазонів вимірювання (переналагоджування);
- автоматичне діагностування з метою виявлення перешкод або порушень під час передавання сигналів;
- індикацію вимірюваного параметра у вибраних одиницях вимірювання.

На рис. 1.49 зображено структурну схему універсального інтелектуального вимірювального перетворювача фірми *Fisher-Rosemount*, який може працювати з термоелектричними або термоопоровими первинними перетворювачами температури, гальванічними первинними перетворювачами (рН-метрія) та опорними первинними перетворювачами (наприклад, тензоперетворювачами). Вибір типу первинного перетворювача здійснює споживач. Можливості такого перетворювача показано у відповідних блоках на цьому самому рисунку. Для вимірювання застосовують комунікатор моделі *SMART FAMILY 268* або інший вторинний прилад із вхідним сигналом 4–20 мА. Електронний модуль перетворювача має мікропроцесор та непостій-

ну пам'ять, що значно розширюють можливості таких приладів. Використання таких перетворювачів дає змогу значно збільшити точність вимірювання різних параметрів (до 0,1–0,3 %).

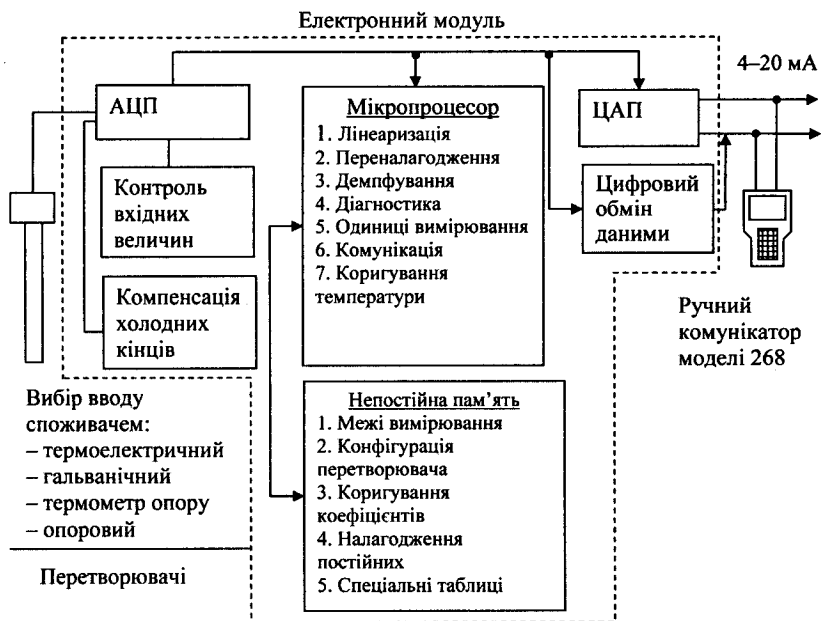


Рис. 1.49. Структурна схема універсального інтелектуального вимірювального перетворювача фірми Fisher-Rosemount

Комунікатор моделі *SMART FAMILY 268* здійснює обмін даними з мікропроцесорними перетворювачами *Micro Motion*. Він може бути під'єднаний безпосередньо до перетворювача або до будь-якої термінальної точки контуру і працювати з будь-яким приладом інтелектуального сімейства *SMART FAMILY*.

Для виконання процедур діагностування, конфігурування і зняття даних комунікатор 268 приймає і надсилає дані у перетворювач, не руйнуючи його сигнал, який він надсилає на пульт керування. Комунікатор працює через протокол *HART*, який ґрунтується на комунікаційному стандарті *Bell 202*. Енергонезалежна

пам'ять зберігає дані за відключення живлення до того часу, доки не буде витягнуто батарейне джерело живлення. Прилад має 4-рядковий рідкокристальний дисплей із довжиною рядка у 20 символів. Роботу забезпечують повний набір алфавітно-цифрових клавіш, шість спеціальних функціональних клавіш і чотири програмовані клавіші.

Для роботи з такими перетворювачами розроблено систему автоматичних вторинних приладів, які можуть вимірювати та реєструвати уніфіковані та неуніфіковані електричні сигнали. Оскільки між фізичними та електричними величинами залежність дуже часто є нелінійною, то в приладах передбачено відповідні блоки лінеаризації характеристик нелінійних сигналів. У приладах усе частіше застосовують цифрові методи обробки вхідних сигналів.

Кожний реєструючий прилад має вимірювальну схему, в якій узгоджено технологічні можливості виробників і вимоги споживачів, що уможливорює застосовування усіх відомих у вимірювальній техніці методів вимірювань. Перевагу надають компенсаційному методу вимірювання.

Фірма *H.Tinsley & Co Ltd* (Велика Британія) випускає автоматичний цифровий міст типу 5840С, який призначений для вимірювання температур методом мостового вимірювання термоопорів. Межі вимірювання становлять від 10 мкОм до 160 Ом із похибкою  $10^{-4}$  %. Прилад має вмонтований мікропроцесор, автоматичне балансування, вихід на мікроЕОМ для одержання оброблених результатів вимірювання в градусах, інтерфейс для автоматичних вимірювань у складі систем.

Автоматичний прилад LRS4 фірми *Linseis* (ФРН) уможливорює здійснення аналогового запису на чотирьох каналах. За допомогою мікропроцесора програмують контроль швидкості руху діаграмної стрічки і буквено-цифрову анотацію із вказуванням номера каналу, часу, швидкості тощо  $\pm 0,1$  %.

У тих випадках, коли планують роботу приладів без операторів упродовж тривалого часу, використовують не паперові, а термічні пристрої, що записують, оскільки за великої кількості каналів записи важко розрізнити. Для вирішення цієї проблеми деякі фірми використовують для кожного каналу незалежні регулятори інтенсивності запису або термочутливий папір для отримання чорних і червоних

ліній. У деяких приладах застосовують такий самий електростатичний метод запису, як і у фотокопіювальних пристроях. Електростатичний заряд залишає на папері слід, який проявляється під дією тонера. Відомі прилади, у яких використовують покритий алюмінієм папір, на якому під дією електричного розряду записують буквено-цифрову інформацію.

У табл. 1.4 і 1.5 наведено короткі технічні дані автоматичних приладів фірми *Honeywell* (США). Дані подібних вітчизняних автоматичних приладів подаватимуться у відповідних розділах. Прилади RL100GP і RL100OEM поділяють на одно-, дво- і триканальні зі стрілковою індикацією і сигналізуючі. Прилади DPR100A і DPR100B друкують і рисують вихідну інформацію на діаграмній стрічці.

Таблиця 1.4

**Технічні дані показуючих і реєструючих потенціометрів типу RL100GP і RL100OEM**

Первинні перетворювачі	Вимірювані та вхідні параметри
НСХ: J	0–100 °С; 0–200 °С; 0–400 °С; 0–600 °С; 0–800 °С
K	0–600 °С; 0–800 °С; 0–1000 °С; 0–1200 °С; 0–1400 °С
R	800–1600 °С
S	800–1600 °С
T	-100–100 °С; 0–100 °С; 0–200 °С
Pt–100	0–100 ; 0–150 °С; 0–200 °С; 0–400
Вхідний сигнал	0–10 мВ; 1–5 В; 0–5 В; 0–10 В; 0–20 мА; 4–20 мА

Сьогодні розроблено нову групу програмованих електронно-вимірювальних приладів – логерів, які являють собою багатоканальні програмовані прилади, здатні з високою швидкістю виконувати вимірювання, обробку та відтворення великих обсягів аналогової та цифрової вимірювальної інформації.

Реєстрування та документування вимірювальної інформації в логерах найчастіше здійснюють за допомогою цифродрукуючих пристроїв та магнітних носіїв. На діаграмних стрічках записують не лише значення вимірюваних параметрів, але і наносять додаткову

інформацію для анотації та розшифрування контрольованих логером процесів (рис. 1.50).

Таблиця 1.5

**Технічні дані швидкісних, універсальних, багатоканальних вторинних приладів із стрілковою індикацією, самописних і реєструючих типу DPR100A і DPR100B**

Первинні перетворювачі	Вимірювані та вхідні параметри
НСХ: J	-50-100 °С; 0-400 °С; 0-800 °С
K	0-400 °С; 0-800 °С; 0-1200 °С
N	0-400 °С
R	0-800 °С; 0-1200 °С
T	-50-150 °С; 0-150 °С; 50-150 °С
Pt-100	-50-150 °С; 0-100 °С; 0-200 °С; 0-400 °С; -100-0 °С; 0-300 °С; 0-800 °С
Вхідний сигнал	0-10 мВ; 0-20 мВ; 0-50 мВ; 10-50 мВ; 0-100 мВ; 0-1 В; 0-5 В; 0-10 мВ; 1-5 В; 0-10 В
	0-20 мА; 4-20 мА
	250 Ом
	6 каналів і 1 логічний вхід

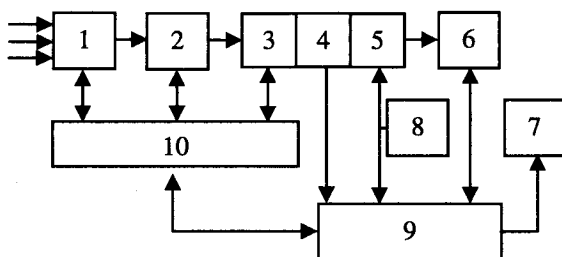


Рис. 1.50. Типова структурна схема логера:

1 – мультиплексор; 2 – цифровий вимірювальний блок; 3 – модуль масштабування; 4 – блок аварійного попередження і задання уставок; 5 – блок пам'яті; 6 – пристрій подання інформації; 7 – блок спряження та виведення інформації (інтерфейс); 8 – таймер; 9 – мікропроцесорний пристрій контролю та керування; 10 – модулі програмування

Блоки аварійного попередження застосовують у логерах з метою забезпечення аварійної сигналізації, що спрацьовує в момент перевищення вимірюваною величиною встановлених порогових значень, які може бути задано окремо за кожним каналом.

Пристрої спряження дають можливість логеру працювати спільно з різними периферійними пристроями. Як правило, передбачено виведення інформації на такі засоби відтворення, як теле-тайпи, термінали та відеодисплеї.

Логери виготовляють багато відомих приладобудівних фірм. Логери моделі 3530 "Orion" фірми *Solartron Ltd* (Велика Британія) використовують для збирання, обробки та реєстрування інформації, яка надходить у вигляді напруг, струмів, часових інтервалів, частоти та серії імпульсів. Первинними перетворювачами є термопари, платинові термометри опору, тензометри, оптоелектронні перетворювачі та інші пристрої. Загальна кількість аналогових та цифрових каналів дорівнює 200. За допомогою розширювачів їхню кількість може бути збільшено до 600. У логері вмонтовано два мікропроцесори, які запрограмовано на виконання математичної та статистичної обробки результатів вимірювання. Прилад виконує чотири обчислювальні операції: множення, ділення, добування кореня та вирахування поліномів. Визначають також середні та екстремальні значення та величини відхилень. За результатами обробки контролюють задані межі вимірюваних величин і здійснюють їхнє порівнювання з уставками. Якщо вимірюваний параметр перевищує задані значення, то спрацьовує аварійне попередження. Для відтворення інформації у прилад вмонтовано цифровий індикатор, цифро-друкуючий пристрій та магнітограф.

До складу логера моделі 2000 фірми *Digitec / United Systems Corp.* (США) входять мультіплексори, аналого-цифровий перетворювач, мікропроцесор, пристрої індикації та реєстрування і блоки введення-виведення інформації. В пам'яті мікропроцесора зберігається цілий набір різних програм, що дає можливість без



труднощів ввести необхідні зміни в будь-яку функцію, що використовується логером. Прилад вимірює та обробляє аналогові та цифрові сигнали і забезпечує споживачеві можливість вибору засобів відтворення інформації.

Логер моделі 3054 фірми *Hewlett Packard* (США) здійснює приймання та обробку інформації за 100 аналоговими і 80 цифровими каналами, працює з первинними перетворювачами температури, тензометричними, постійного та змінного струмів. Вимірювальний пристрій, крім ЕОМ, містить цифровий мультиметр, омметр, джерело струму, таймер, що забезпечує роботу приладу в реальному мірилі часу, та інтерфейси. Завдяки 5-, 6-розрядному цифровому мультиметрові логер дуже точно виміряє сигнали низького рівня. Так, наприклад, похибка від вимірювання напруги постійного струму не перевищує +0,006 % від вимірюваної величини. Вирізняюча здатність за напругою 1 мкВ, за опором – 1 мкОм, за температурою – 0,1 °С.

Логер моделі SAM60 фірми *AOIP* (Франція) має 20 вхідних каналів і виміряє температуру від –240 до +1760 °С. Прилад працює з усіма типами термоелектричних та платинових термоопорових перетворювачів. Він виміряє напруги постійного струму в межах від 200 мВ до 200 В. Вмонтований мікропроцесор забезпечує автоматичний вибір вимірювальних діапазонів, масштабування, лінеаризацію характеристик первинних перетворювачів, порівнювання з заданими значеннями і виведення результатів вимірювань на цифровий індикатор та магнітний реєструючий пристрій.

Логер моделі 7V07 фірми *San-Ei Instruments Co. Ltd* (Японія) працює із усіма типами первинних вимірювальних перетворювачів, вихідні сигнали яких можна подати у аналоговій формі у вигляді постійних струмів та напруг. Прилад має від 10 до 100 каналів, а час опитування одного становить 100 мс. До програми обробки сигналів входить лінеаризація характеристик перетворювачів, масштабування, коригування зміщення початку

відліку, вирахування середніх, мінімальних та максимальних значень, порівняння із заданими значеннями. Введення програми здійснюється із клавіатури на передній панелі приладу.

Українські приладобудівники, на жаль, ще не розробили подібні прилади, хоча спроби такі вже є. Розробляють переважно первинні та вимірювальні перетворювачі, що у деяких випадках за своїми характеристиками не поступаються зарубіжним. Свою частку праці вкладають і українські вчені, але слабка елементна база не сприяє випуску приладів типу інтелектуальних перетворювачів чи логерів.

## Розділ 2

# ВИМІРЮВАННЯ І КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРИ

### 2.1. Класифікація приладів для вимірювання і контролю температури

Температура є одним із найважливіших параметрів у будівництві. Її необхідно вимірювати, контролювати та регулювати під час теплової обробки бетонних і залізобетонних конструкцій, електротермічного напруження арматури, видавлювання анкерних головок на арматурі, під час виготовлення асфальтобетону, бітумних покриттів, гідроізоляції, варіння скла, випалювання цегли, керамічних виробів, цементного клінкеру тощо.

Температурою називають величину, яка характеризує тепловий стан тіла. За сучасним уявленням температура – це умовна статистична величина, яка прямо пропорційна до середньої кінетичної енергії частинок речовини (молекул або атомів). Виміряти температуру можна, тільки порівнявши нагрітість двох тіл. Для порівняння ступеня нагрітості тіл використовують зміну будь-якої фізичної величини, що залежить від температури і легко піддається вимірюванню.

Кількісне визначення температури і встановлення одиниці вимірювання температури пов'язане із встановленням температурної шкали. Зараз використовують дві температурні шкали: абсолютну термодинамічну у Кельвінах (K) і міжнародну практичну в градусах Цельсія (°C) залежно від початку відліку (положення нуля) за

шкалою. Абсолютну температуру позначають буквою  $T$ , а температуру за шкалою Цельсія –  $t$ .

Для побудови міжнародної практичної температурної шкали було вибрано одинадцять відтворюваних реперних точок, значення температури яких за термодинамічною шкалою було ретельно виміряно у різних країнах за допомогою газових термометрів і прийнято найбільш достовірні результати. За допомогою реперних точок градуують еталонні прилади для відтворення міжнародної температурної шкали. Ці точки визначено за нормального атмосферного тиску (крім потрійної точки води). Проміжні точки визначають методом інтерполяції. Із цих точок найдоступнішими є потрійна точка води (температура рівноваги між льодом, рідкою водою і водяною парою)  $0,01^\circ$  і точка кипіння води  $100,00^\circ$ , і їх легко можна використовувати у практиці вимірювань.

Термодинамічна температурна шкала має всього одну опорну точку – потрійну точку температури води, яка дорівнює  $273,16\text{ K}$ :

$$T = t + T_0 \quad \text{і} \quad t = T - T_0, \quad (2.1)$$

де  $T_0 = 273,15\text{ K}$ . Звідси  $T = 0,01 + 273,15 = 273,16\text{ K}$ .

Міжнародна практична температурна шкала (МПТШ), яку прийнято в 1990 році і уведено як обов'язкову з 1 січня 1991 року, є практичним здійсненням абсолютної термодинамічної температурної шкали. Її вибрано так, щоб температура, яку вимірюють за цією шкалою, була близькою до термодинамічної температури, а різниця між ними залишалась у межах досяжної на сьогодні точності вимірювань. МПТШ-90 ґрунтується на системі постійних, точно відтворюваних температур рівноваги (постійних точок), яким присвоєно числові значення. Таких постійних точок є більше 11 (наприклад, точка рівноваги між рідкою і газоподібною фазами неону – точка кипіння неону:  $T_{90} = 27,102\text{ K}$  або  $t_{90} = -246,048\text{ }^\circ\text{C}$ ). Дотримуючись вимог МПТШ-90, в Україні розроблено низку державних стандартів на прилади для вимірювання температури.

Еталонним приладом, що використовують в області температур  $-259,34\dots+630,74\text{ }^\circ\text{C}$ , є платиновий термоперетворювач опору; для температур  $+630,74\dots+1064,43\text{ }^\circ\text{C}$  – термоелектричний термометр з термоелектродами із платинородію (родію 10 %) і платини;

для температур більших від +1064,43 °С, температуру за міжнародною практичною шкалою визначають відповідно до закону випромінювання Планка.

Залежно від принципу дії прилади для вимірювання температури у промисловості поділяють на такі групи:

- термометри розширення;
- манометричні термометри;
- термоелектричні термометри;
- термоопорові термометри;
- пірометри випромінювання.

Крім вказаних вище, для вимірювання і контролю температури у будівництві використовують термошумові перетворювачі та температурні фарби. Термошумові перетворювачі використовують для високотемпературних досліджень будівельних конструкцій, виробів і матеріалів, але для вимірювань у технологічних процесах їх не застосовують. Температурні фарби рекомендовано використовувати для контролю температури нагрівання стержневої арматури за її електротермічного напруження, але через велику похибку замінили іншими методами.

На вибір способу вимірювання і вимірювального приладу впливають багато різноманітних чинників, але найважливішим є технологічний. Контроль і вимірювання температури не повинні впливати на хід технологічного процесу та його параметри.

## **2.2. Вимірювання температури термометрами розширення**

Принцип дії термометрів розширення ґрунтується на властивості тіл змінювати об'єм і лінійні розміри за зміни температури. Такі термометри поділяють на:

- рідинні, принцип дії яких ґрунтується на різниці коефіцієнтів об'ємного розширення термічної рідини і скла за зміни температури;

- біметалеві, принцип дії яких ґрунтується на врахуванні різного лінійного видовження пластини, яка складається із двох металів або сплавів, що мають різні коефіцієнти температурного розширення;
- дилатометричні (стержневі), принцип дії яких ґрунтується на неоднаковому видовженні двох стержнів із різними коефіцієнтами температурного розширення, що розташовані поряд або один у одному.

Рідинні термометри найрозповсюдженіші в лабораторних вимірюваннях. Залежно від призначення їх виготовляють таких видів: технічні, лабораторні, взірцеві та контактні. Останні мають впаяні у капіляр нерухомі або рухомі контакти. Відповідно термічна рідина повинна добре проводити електричний струм. Тут найбільш розповсюджена ртуть.

Взірцеві термометри використовують для перевірки і градування технічних термометрів. Вони мають ціну поділки 0,01; 0,1; 0,2°.

Термічною рідиною в рідинних скляних термометрах є: ртуть (температура тижавіння  $-38,85\text{ }^{\circ}\text{C}$ , межі вимірювання від  $-30$  до  $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ ); толуол (від  $-90$  до  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ); етиловий спирт (від  $-100$  до  $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) і пентан (від  $-190$  до  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Ртутні і спиртові термометри прості за конструкцією і в експлуатації, дають доволі точні покази під час вимірювання температури, але для вимірювання і контролю температури у будівництві майже не використовуються через невисоку міцність конструкції. Скло дуже легко руйнується і вимагає край обережної експлуатації.

У біметалевих термометрах чутливий елемент найчастіше має вигляд пластини або спіралі, яка одним кінцем жорстко прикріплена до корпусу приладу. Спіраль виготовлено із двох пластин, що мають різні коефіцієнти лінійного розширення. Для виготовлення пластини з більшим коефіцієнтом використовують латунь, а з меншим – інвар, спеціальний сплав заліза й нікелю, що має дуже малий коефіцієнт лінійного розширення. Обидві пластини зварюють разом, потім прокатують до необхідної товщини і піддають термічній обробці. За зміни температури вільний кінець спіралі переміщається в бік металу з меншим коефіцієнтом лінійного розширення і приводить в рух стрілку приладу або замикає контакти сигнального пристрою (рис. 2.1).

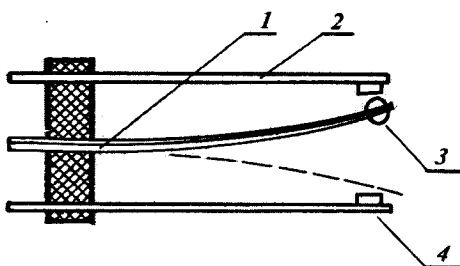


Рис. 2.1. Схема роботи біметалевого реле:  
 1 – біметалева пластина; 2 – контакт мінімального значення;  
 3 – рухомий контакт; 4 – контакт максимального значення

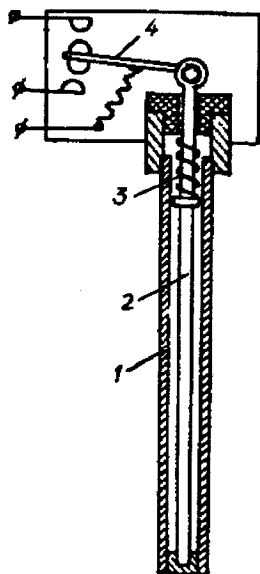
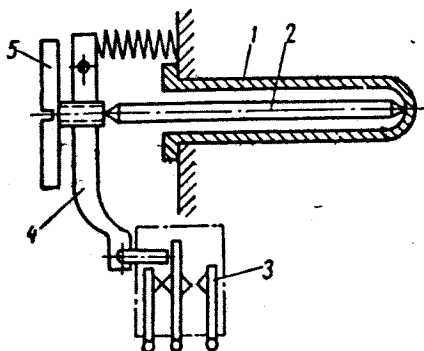


Рис. 2.2. Конструкція дилатометричного термометра:  
 1 – латунна трубка;  
 2 – інваровий стержень;  
 3 – пружина;  
 4 – контактна група

У дилатометричних термометрах (рис. 2.2) із латуні виготовляють трубку, а стержень, який вставляють всередину трубки, – з інвару. За зміни температури трубка видовжується або скорочується і переміщає стержень, який переміщає стрілку вимірювального приладу або перемикає контакти сигналізуючого чи регулюючого пристроїв. Аналогічно працюють різноманітні дилатометричні температурні реле, які можна використовувати навіть у системах позиційного регулювання (рис. 2.3).

Біметалеві і дилатометричні термометри найчастіше використовують для автоматичного регулювання температури і сигналізації граничних значень температур. Наприклад, такі термометри широко застосовують для контролю температури бетонної суміші під час її електророзігріву. За досягнення заданої температури бетонної суміші контакти термометра розмикаються і відключають магнітний пускач, який, своєю чергою, від'єднує нагрівний трансформатор від мережі.



*Рис. 2.3. Конструкція дилатометричного реле температури:  
 1 – латунна трубка; 2 – інваровий стержень; 3 – контактна група;  
 4 – важіль; 5 – регулюючий гвинт*

На рис. 2.4 показано схему контролю температури електропідігріву бетонної суміші. Контроль температури здійснюють за допомогою дилатометричного термометра, розмикаючи контакти SK якого увімкнено в коло проміжного реле KV2. Чутливий елемент термометра вставляють у бетонну суміш.

Схема працює так. Автоматичним вимикачем QF схему і нагрівний трансформатор TV під'єднують до мережі напругою 220 або 380 В. Кнопкою керування SB2 вмикають проміжне реле KB1, яке своїми контактами стає на саможивлення і вмикає проміжне реле KV2. Реле спрацьовує і замикає свої контакти в колі магнітного пускача KM1, який під'єднує нагрівний трансформатор до мережі. Струм проходить між електродами і нагріває бетонну суміш. За досягнення заданої температури розмикаються контакти SK дилатометричного термометра в колі проміжного реле KV2, яке розмикає свої контакти в колі магнітного пускача KM1. Розмикаючись, він від'єднує нагрівний трансформатор від мережі. Кнопкою керування SB1 реле KV1 від'єднується від мережі; а підігріту бетонну суміш укладають у форми чи вивозять на будівельний майданчик спеціалізованим транспортом.

Якщо вкладання бетонної суміші затримується, температуру бетону підтримують на заданому рівні автоматично. Після від'єднання магнітного пускача, температура бетону знижується. При



цьому знову замикаються контакти SK дилатометричного термометра, які вмикають проміжне реле KV2, і цикл нагріву повторюється. Він повторюватиметься до того часу, поки кнопкою SB1 не відключать реле KV1 від мережі.

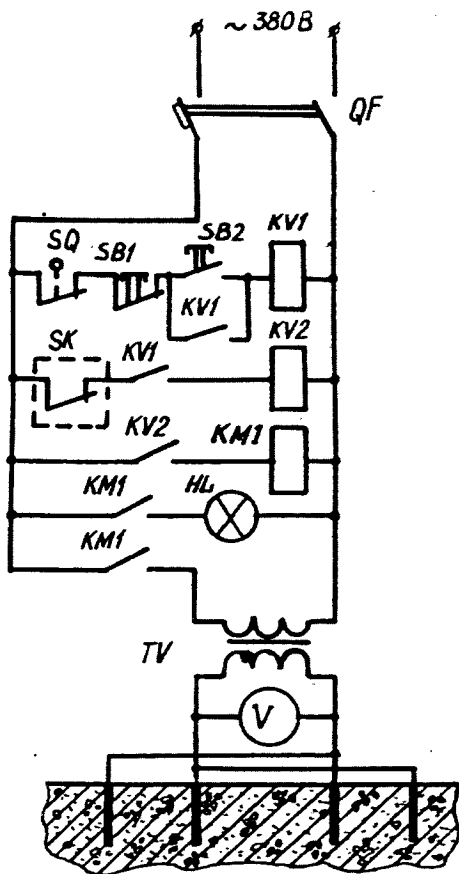


Рис. 2.4. Схема контролю температури електронідрівання бетонної суміші за допомогою дилатометричного реле

У коло проміжного реле KV1 увімкнено розмикаючі контакти кінцевого вимикача SQ, який здійснює блокування огорожі місця

проведення робіт. Під час відкриття воріт огорожі контакти кінцевого вимикача розмикаються і схему увімкнути неможливо. Магнітний пускач своїми замикаючими контактами вмикає сигнальну лампу НЛ, що загоряється під час роботи нагрівного трансформатора. Тобто вона сигналізує, що відбувається електропрогрівання бетону.

Описану схему застосовують за електророзігрівання бетонної суміші в бункері бетонозмішувача, роздавальному бункері або в кузові автосамоскида.

На рис. 2.5 показано конструкцію термореле з інваровими пластинами, які за видовження латунного циліндра від температури розмикають контакти у колі керування або сигналізації. На задану температуру реле налагоджують за допомогою регулюючого гвинта.

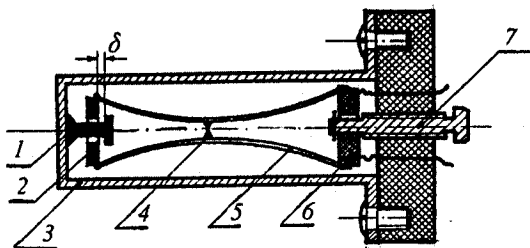


Рис. 2.5. Конструкція дилатометричного реле:

1 – затримувач; 2 – шайба; 3 – латунний циліндр; 4 – контакти; 5 – інварові пружини; 6 – ізоляційна шайба; 7 – регулюючий гвинт

Таблиця 2.1

### Технічні характеристики дилатометричних перегворювачів реле температури

Тип приладу	Межі уставки спрацьовування, °С	Основна допустима похибка, %	Зона нечутливості, °С	Довжина занурюваної частини, мм
1	2	3	4	5
ТДЭ-4	-60-100	2,5	8	262
ТДЭ-5	0-160			
ТУДЭ-1	-30-40	4,0	4-20	265
ТУДЭ-2	0-100	2,5		

1	2	3	4	5
ТУДЭ-4	0-250			
ТУДЭ-8	0-40	4,0	4,5-20	
ТУДЭ-9	0-100	2,5		
ТУДЭ-12	0-250			
ТР-200	25-200	2,0	4	89

### 2.3. Вимірювання температури манометричними термометрами

У манометричних термометрах використано властивість рідини, пари або газу змінювати тиск у замкнутому просторі під час нагрівання або охолодження. Такі термометри складаються із первинного перетворювача – термобалона, який занурюють у вимірюване середовище, і вимірюваного пристрою, шкалу якого відградувано в одиницях вимірювання температури.

Зміну тиску в манометричних термометрах визначають кількістю тепла, яке сприймається термобалоном. Допустима похибка становить 1-2 % від максимального значення шкали. Термобалони виготовляють із сталі або латуні, які мають високу теплопровідність. Термобалон з'єднують з вимірювальним пристроєм капіляром, що виготовляють із мідної трубки діаметром від 0,15 до 0,5 мм. Довжина капіляра може бути до 60 м. Для захисту від механічних пошкоджень капіляр часто розміщують у захисну оболонку із оцинкованої сталі.

Розрізняють манометричні термометри таких типів:

- газові, усю систему яких заповнено газом під деяким початковим тиском;
- рідинні, систему яких заповнено рідиною;
- конденсаційні, в яких термобалон частково заповнено низькокиплячою рідиною, а решта його проміжків заповнено паром цієї рідини.

Газові манометричні термометри заповнюють азотом, аргоном або гелієм. Рідинні термометри заповнюють ртуттю, ксилолом або метиловим спиртом. Термобалони конденсаційних термометрів заповнюють ацетоном, хлористим метилом, фреоном, сірчистим ангідридом, толуолом, пропаном тощо.

Промисловість випускає манометричні показуючі, самописні, регулюючі і сигналізуючі термометри, які призначені для дистанційного вимірювання температури рідких і газоподібних середовищ у стаціонарних умовах. Самописні прилади дають змогу записувати вимірювані значення температури на дискову діаграму. В деяких випадках у прилади вмонтовують електроконтактні пристрої або пневматичні перетворювачі, які використовують для перетворення вимірюваної температури у стандартний електричний або пневматичний сигнал. Прилади випускають таких типів: ТПГ – газові; ТПП – парорідинні; ТПЖ – рідинні; ТСГ – газові реєструючі; ТСП – парорідинні реєструючі.

Використовують такі термометри для вимірювання і контролю температури у системах водопідготовки, котельних і системах теплових мереж.

Робота газових манометричних термометрів ґрунтується на залежності між температурою і тиском газу в герметично закритій термосистемі. Початковий тиск у таких приладах залежить від меж температури і переважно становить  $0,98\text{--}4,9 \text{ МН/м}^2$  ( $9,8 \cdot 10^5\text{--}5 \cdot 10^6 \text{ Па}$ ).

Залежність тиску від температури виражають рівнянням

$$p_t = p_0 \cdot [1 + \beta \cdot (t - t_0)], \quad (2.2)$$

де  $\beta = 1/273,15 \text{ } 1^\circ\text{C}$  – термічний коефіцієнт розширення газу;  $t_0$  – початкова температура,  $^\circ\text{C}$ ;  $t$  – температура нагрівання,  $^\circ\text{C}$ ;  $p_0$  – тиск робочої рідини за температури  $t_0$ , Па.

У діапазоні вимірюваних температур різниця властивостей реальних та ідеальних газів незначна і враховується під час градування приладу. Із рівняння (2.2) можна знайти величину зміни тиску:

$$\Delta p = p_t - p_0 = p_0 \cdot \beta \cdot (t - t_0). \quad (2.3)$$

Початковий тиск у системі газонаповнених термометрів становить

$$p_0 = \frac{\Delta p}{\beta} \cdot (t - t_0). \quad (2.4)$$

Газ для заповнення манометричних термометрів повинен бути хімічно інертним, мати незначну в'язкість, малу теплоємність, легко одержуватись у чистому вигляді. Якнайповніше таким вимогам відповідає азот.

У манометричних рідинних термометрах усю систему заповнюють рідиною під деяким початковим тиском. Рідини для термометрів повинні мати якомога більший коефіцієнт об'ємного розширення, високу теплопровідність, невелику теплоємність і хімічну інертність до матеріалу термометра.

Зміна тиску від температури для рідини виражається рівнянням

$$\Delta p = \beta_p \cdot (t - t_0) / \mu, \quad (2.5)$$

де  $\beta_p$  – коефіцієнт об'ємного розширення рідини,  $1/^\circ\text{C}$ ;  $\mu$  – коефіцієнт стискуваності рідини,  $\text{м}^2/\text{Н}$ .

За значної довжини капіляра для рідинних термометрів необхідно використовувати компенсаційні пристрої для ліквідації похибки від коливання температури зовнішнього середовища.

У конденсаційних термометрах термобалон заповнюють на  $2/3$  об'єму низькокиплячою рідиною. Перед заповненням термометра повітря з системи видаляють, і в системі завжди підтримується динамічна рівновага процесів випаровування і конденсації, що перебігають одночасно. За підвищення температури посилюється випаровування і збільшується пружність пари, а в зв'язку з цим посилюється також і процес конденсації. Пізніше насичена пара досягає деякого певного тиску, що чітко відповідає температурі.

Середовище, що заповнює капіляр і манометричну трубку, є передавачем тиску незалежно від того, рідке воно чи газоподібне. У зв'язку з тим, що тиск насиченої пари від дії температури однозначний тільки до критичної температури, верхня межа шкали термометра повинна бути меншою від критичної температури цієї рідини.

Конденсаційні термометри чутливіші, ніж термометри інших типів. Це пояснюють тим, що тиск насиченої пари дуже швидко змінюється за зміни температури.

Конструкцію газового манометричного термометра показано на рис. 2.6. Прилад складається із термобалона 1, капілярної трубки 2, трубчастої манометричної пружини 3 і зубчастого сектора 4, що пов'язаний із стрілкою приладу. Усю систему приладу заповнено робочою речовиною. Під час нагрівання термобалона тиск усередині збільшується і сприймається манометричною пружиною, яка, намагаючись випрямитися, переміщає зубчастий сектор, що повертає стрілку приладу або перо записуючого пристрою.

За допомогою манометричних термометрів можна вимірювати температуру в межах  $-150-600\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Прилади мають класи точності 1,0; 1,5; 2,5; 4,0.

Для роботи із вторинними приладами манометричні термометри випускають з електричною або пневматичною системами передавання показів. У цих приладах температура перетворюється в уніфікований електричний або пневматичний сигнал. Довжина капілярної трубки є різною і вибирається із ряду: 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,0; 10,0; 16,0; 25,0; 40,0 і 60 м.

Аналогічно працюють різноманітні манометричні реле температури, які використовують в системах контролю технологічних процесів. Дія реле (рис. 2.7) ґрунтується на залежності зміни тиску (об'єму) речовини, що заповняє термосистему 1, яка складається із термобалона з капіляром і сильфоном 2, від температури. За пере-

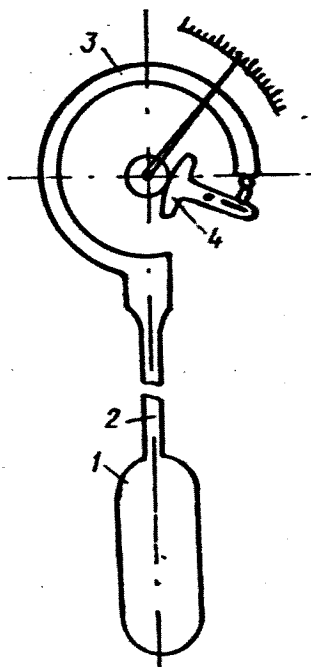


Рис. 2.6. Конструкція манометричного термометра

міщення дна сильфона відбувається замикання контактів 3 перемикача. Уставка температури спрацьовування здійснюється гвинтом 4.

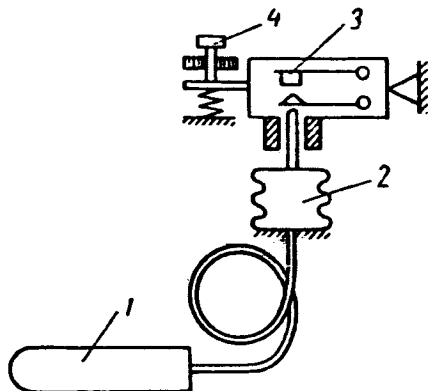


Рис. 2.7. Принципова схема реле температури

## 2.4. Вимірювання температури за допомогою термоелектричних перетворювачів

Для вимірювання температури широко використовують термоелектричні перетворювачі (термопари) і вторинні вимірювальні прилади. Принцип дії термопар ґрунтується на виникненні термоелектрорушійної сили (ТЕРС) в колі двох різнорідних провідників, коли температура місця їхнього з'єднання відрізняється від температури вільних кінців, яка має підтримуватися постійною.

Крім металевих термоелектричних перетворювачів, для вимірювання температури широко починають застосовувати напівпровідникові термоелементи. У таких перетворювачів під час нагрівання контакту двох напівпровідників з різними типами провідності у нагрітому місці концентрація і рухливість носіїв зарядів зростає і відбуватиметься їхня дифузія до холодних кінців. У результаті на холодних кінцях утвориться надлишок носіїв, і між ними

виникне електричне поле, яке утворить термоЕРС пари напівпровідників. Чим більшою є різниця температур, тим більшою є ЕРС.

З'єднані кінці термоелектродів називають робочим або гарячим спаєм; вільні кінці термоелектродів – холодним спаєм. До холодного спаю за допомогою продовжувальних провідників приєднують вторинний вимірювальний або регулюючий пристрій. Для захисту від механічних пошкоджень гарячий спай, як правило, розміщують у захисному корпусі, який виготовляють із сталі або тугоплавкого сплаву чи фарфору. Електроди виготовляють із дроту діаметром 0,5–3,2 мм. Матеріалом електродів є метали або сплави, що мають найбільшу ТЕРС у парі з платиною (див. розділ 1.7.2.3). У табл. 2.2 наведено стандартні термопари, які використовують в Україні і деяких розвинутих країнах.

Таблиця 2.2

### Технічні характеристики термоелектричних перетворювачів

№ з/п	Матеріал термоперетворювача	НСХ		Межі вимірювання, °С		
		національне	міжнародне	Україна	США	ФРН
1	Вольфрам – вольфрамкремнієвий	ТВР/ВР	А	0–2200 / 2500	0–2000	–
2	Платинородій – платинородієвий	ТПР / ПР	В	300–1600 / 1800	40–1800	–
3	Платинородій – платиновий	ТПП / ПП	S	0–1300 / 1600	0–1480 / 1760	0–1300 / 1600
4	Хромель – алкомелевий	ТХА / ХА	К	-200–1000 / 1300	0–1260 / -200–1370	–
5	Хромель – копелевий	ТХК / ХК	L	-200–600 / 800	–	–
6	Мідь – константановий	ТМК / МК	T	-200–400	-190–400 / 600	-200–400 / 600
7	Залізо – константановий	ТЖК / ЖК	J	-200–700 / 900	-190–760 / 870	-200–700 / 800

Найкращі результати під час конструювання термопар можна одержати під час з'єднання термододатних та термовід'ємних електродів. Вони повинні забезпечувати:



- стабільні часові та температурні термоелектричні характеристики, що забезпечують точність і надійність результатів вимірювань і виключають необхідність частих переградувань;
- відтворюваність термоелектричної характеристики, яка забезпечує стандартизацію її градууювальної характеристики, що є обов'язковою умовою взаємозамінності термопар;
- лінійну залежність ТЕРС від температури, що полегшує градуювання шкал вторинних приладів;
- стійкість до дії високих температур та вимірюваного середовища;
- достатню механічну міцність термоелектродів.

Конструктивне оформлення термоелектричних перетворювачів повинно відповідати умовам експлуатації. Їх поділяють за:

- призначенням і умовами експлуатації – на занурювані та поверхневі;
- наявністю і матеріалом захисного корпусу – на виготовлені без корпусу; із корпусом із нержавіючої сталі (до 900 °С); із корпусом із спеціальних жаростійких сплавів (до 1000–1100 °С); із фарфоровим корпусом (до 1300 °С);
- захищеністю від дії зовнішнього та вимірюваного середовищ;
- стійкістю до механічної дії – на вібротрясостійкі, ударостійкі і звичайні;
- матеріалом чутливих елементів – на виконані із благородних і неблагородних металів або сплавів.

Для вимірювання високих температур термопари виготовляють також із неметалевих матеріалів, які мають велику стійкість проти окислення: графіту, карбіду кремнію, карбіду бору, карбіду цирконію, молібдену. Вони дають змогу вимірювати температуру до 2500 °С і використовуються для вимірювання температури розплавленої сталі тощо.

Для контролю температури різноманітних геометричних поверхонь використовують спеціальні поверхневі термопари. Електроди термопари приварюють конденсаторним зварюванням до тоненької мідної пластини. При цьому електроди не зварюють між собою, а приварюють на деякій віддалі один від одного (рис. 2.8). Такий

термоелектричний перетворювач використовують для вимірювання і контролю температури арматури під час її електронагрівання і електро-термічного напруження в умовах будівельного майданчика, а також спеціальних вузлів деякого технологічного обладнання.

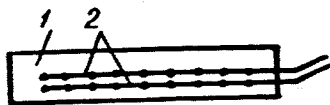


Рис. 2.8. Чутливий елемент поверхневого термоелектричного перетворювача:  
1 – мідна пластина; 2 – термоелектроди

Конструкція перетворювача для вимірювання температури арматури зображена на рис. 2.9. Термопару кріплять до спеціального держака з затискачем (струбциною) та ізолюють від нього кількома шарами азбесту або слюди. Активна частина (чутливий елемент) являє собою мідну пластину розміром  $30 \times 5 \times 0,5$  мм, до якої приварено конденсаторним зварюванням хромель-копелеві або хромель-алюмелеві електроди. Цією частиною термопару встановлюють на поздовжній виступи арматури і притискають до неї спеціальним гвинтовим затискачем. Електроди виводять на клемні затискачі і з'єднують компенсаційними дротами з автоматичним потенціометром.

Приєднання вільних кінців термопару до вторинного приладу здійснюють за допомогою спеціальних компенсаційних проводів. Якщо температура вільних кінців постійна, то під'єднання може бути зроблено за допомогою звичайних мідних дротів. У протилежному випадку для під'єднання використовують два дроти із різнорідних металів. Дроти підбирають так, щоб за температури вільних кінців і в парі між собою вони мали такі самі термоелектричні властивості, як і робоча термопара.

Для вимірювання ТЕРС термопару використовують магнітоелектричні мілівольтметри і потенціометри (компенсатори). Принцип дії мілівольтметрів ґрунтується на взаємодії струму, що протікає рамковою котушкою під дією ЕРС, з магнітним полем постійного магніту, в якому цю котушку (рамку) поміщено. Рамка 1

(рис. 2.10) розташована між полюсами постійного магніту 2 в такий спосіб, щоб її витки за відсутності струму були паралельні до напрямку силових ліній. Коли рамкою протікає струм, то внаслідок його взаємодії з магнітним полем виникають сили, пропорційні до напруги магнітного поля і струму в рамці. Рамка жорстко поєднана із стрілкою 3 і може повертатися навколо осердя 4. Біля опор рамки розташовано дві протидіючі пружини, через які струм надходить у рамку мілівольтметра. Мілівольтметри випускають переносними і щитовими. Вони можуть мати пристрій для запису і регулювання температури. Запис здійснюють на стрічкову діаграму (до шести точок одночасно).

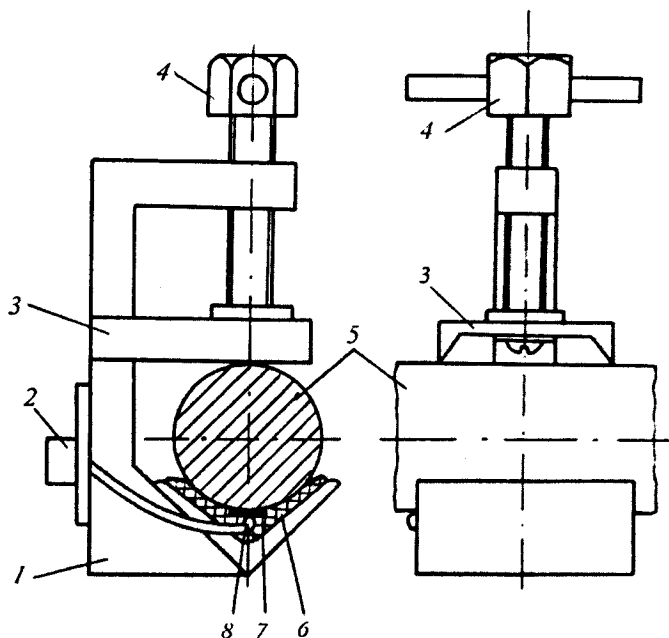


Рис. 2.9. Конструкція перетворювача температури з поверхневою термопарою:

- 1 – держак (струбцина); 2 – клемні затискачі; 3 – ножовий затискач;  
 4 – притискний гвинт; 5 – арматурний стержень; 6 – термоізоляція;  
 7 – поверхнева термопара; 8 – виводи

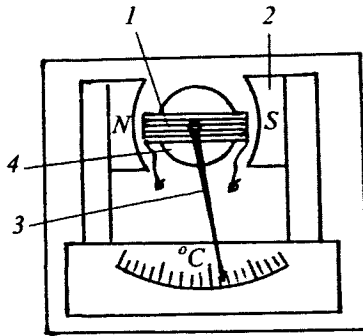


Рис. 2.10. Схема магнітоелектричного мілівольметра

Потенціометри поділяють на лабораторні та автоматичні. Перші застосовують для лабораторних досліджень, для епізодичних вимірювань і перевірки автоматичних потенціометрів. Промисловість налагодила випуск великої кількості переносних технічних і лабораторних потенціометрів різних типів. Залежно від призначення і точності показів, їх поділяють на три класи: 1-й, 2-й і 3-й. Потенціометри 1-го і 2-го класів оснащено свідоцтвом із вказаною похибкою і використовують як взірцеві. Потенціометри 3-го класу використовують як робочі. Електричну схему і принцип роботи лабораторних потенціометрів подано в 1.8.3.

Автоматичні потенціометри використовують для неперервного вимірювання, запису і регулювання малих напруг і ЕРС або інших неелектричних величин, які можуть бути перетворені в малу напругу або ЕРС. Такі прилади працюють у комплекті із однією з стандартних термопар. Вимірювальні схеми усіх приладів (див. розділ 1.8.3) передбачають автоматичне уведення поправки на температуру вільних кінців термопари, тому їх виконують у вигляді незрівноваженого моста.

Автоматичні потенціометри можуть одночасно вимірювати температуру в одній, трьох, шістьох і дванадцяти точках, і мати вмонтовані пристрої позиційного або неперервного регулювання. Деякі модифікації можуть бути укомплектовані трипозиційним регулятором, задавачем пропорційного регулювання, реостатним пристроєм на

виході тощо. Крім того, вони можуть бути оснащені пристроями для дистанційного передавання показів і перетворення сигналів (табл. 2.3).

Таблиця 2.3

**Основні технічні характеристики  
автоматичних потенціометрів КСП2**

№ з/п	Тип приладу	К-ть робочих точок	Тип регулюючого і сигналізуючого пристрою	Характеристика регулюючого пристрою	Додаткові пристрої і перетворювачі
1	КСП2-001	12	Трипозиційний	З розділенням на кожную точку	–
2	КСП2-004	1	–	–	–
3	КСП2-005	1	Трипозиційний	З двома вказівниками завдання	–
4	КСП2-026	3	–	–	–
5	КСП2-028	1	–	–	–
6	КСП2-031	3	Трипозиційний	З розділенням на кожную точку	–
7	КСП2-038	1	1. Те саме; 2. Реостат-задавач	Те саме	Реостатний пристрій
8	КСП2-042	1	Трипозиційний	–	Реостатний пристрій для роботи з ІР
9	КСП2-045	1	Трипозиційний	–	–
10	КСП2-049	12	–	–	–
11	КСП2-052	12	4-контактний сигналізуючий	Для всіх каналів на одне значення	–
12	КСП2-065	12	Те саме	Те саме	–
13	КСП2-067	1	Те саме	Те саме	–
14	КСП2-068	12	Те саме	–	–
15	КСП2-070	1	Те саме	–	= 0–5 мА
16	КСП2-081	1	Те саме	–	= 0–5 мА
17	КСП2-082	12	Трипозиційний	З розділенням завданням	

Похибка спрацювання контактів регулюючого пристрою одноканальних приладів не перевищує  $\pm 1\%$  діапазону вимірювання, для багатоканальних приладів –  $\pm 1,5\%$ .

У табл. 2.3 наведено основні технічні характеристики автоматичних потенціометрів типу КСП2 найхарактерніших модифікацій. У цих приладах час проходження стрілкою всієї шкали становить 10 с.

У самописних приладах із стрічковою діаграмою швидкість руху діаграми може бути 20; 60; 120; 240; 1200; 2400 мм/год. У багатоточкових приладах деяких модифікацій швидкість руху діаграмної стрічки можна вибирати із ряду: 40; 60; 240; 360 мм/год. Зміну швидкості здійснюють за допомогою важільного перемикача.

Сьогодні для вимірювання температури термоелектричними перетворювачами широко застосовують реєструючі автоматичні прилади слідкуючого зрівноваження РП160М1 (одноканальні), РП160М (багатоканальні) та РП160Д (з дисковою шкалою). Більшість із них можуть замінювати автоматичні потенціометри типу КСП2 та КСП3. Багатоканальні прилади мають до 12 каналів вимірювання, їхню швидкодію вибирають із ряду: 2,5; 5; 10 і 15 с, а реєстрацію показів – 3; 6; 24 в 48 с. Швидкість руху діаграмної стрічки для одноканальних приладів становить 20; 40; 60; 120; 600; 1200 і 2400 мм/год, а для багатоканальних – 20; 40; 60; 240; 600; 1200 і 2400 мм/с. Технічні характеристики приладів деяких модифікацій наведено в табл. 2.4; 2.5 і 2.6.

У приладах РП160Д діаграмний диск здійснює один оберт за 8 або 24 години, а швидкодія може сягати 5 або 16 с.

Мініатюрні прилади КС1 (КСП1, КСМ1, КСД1, КСУ1) повністю замінені автоматичними реєструючими приладами слідкуючого зрівноваження Р100. До мініатюрних належать також автоматичні одноканальні потенціометри КП140, що показують, з дисковою шкалою.

Для вимірювання температури на атомних електростанціях і в зонах з підвищеною сейсмічністю використовують автоматичні, реєструючі прилади слідкуючого зрівноваження РП160-10-АД (одноканальні) та РП160-20-АД (багатоканальні).

Таблиця 2.4

**Технічні характеристики автоматичних  
ресструючих приладів РП160М1 та РП160М**

№ з/п	Тип приладу	Тип первинного перетворювача	Сигналізуючий пристрій	Струмний вихід 0–5 мА та 4–20 мА
1	РП160М1-00	ТХК, ТХА, ТПП	–	–
2	РП160М1-01	ТХК, ТХА, ТПП	+	–
3	РП160М1-02	ТХК, ТХА, ТПП	–	–
4	РП160М1-03	ТХК, ТХА, ТПП	+	–
5	РП160М1-16	ТПР, постійна напруга	–	–
6	РП160М1-17	ТПР, постійна напруга	+	–
7	РП160М1-18	ТПР, постійна напруга	–	–
8	РП160М1-19	ТПР, постійна напруга	+	–
9	РП160М1-24	ТХК, ТХА, ТПП, ТПР, мВ	–	+
10	РП160М1-25	ТХК, ТХА, ТПП, ТПР, мВ	+	+
11	РП160М1-26	ТХК, ТХА, ТПП, ТПР, мВ	–	+
12	РП160М1-27	ТХК, ТХА, ТПП, ТПР, мВ	+	+
13	РП160М-50	ТХК, ТХА, ТПП	–	–
14	РП160М-51	ТХК, ТХА, ТПП	+	–
15	РП160М-52	ТХК, ТХА, ТПП	–	–
16	РП160М-62	ТПР, постійна напруга	–	–
17	РП160М-63	ТПР, постійна напруга	+	–
18	РП160М-64	ТПР, постійна напруга	–	–
19	РП160М-70	ТХК, ТХА, ТПП	+	–
20	РП160М-71	ТХК, ТХА, ТПП	+	–
21	РП160М-74	ТПР, постійна напруга	+	–
22	РП160М-75	ТПР, постійна напруга	+	–

Під час вибору вторинного приладу необхідно вказати межі вимірювання. Шкалу приладу вибирають із табл. 2.7 так, щоб вимірюване значення знаходилось якомога ближче до її середини, але не менше третини від початку чи кінця.

Термоелектричні перетворювачі широко застосовують для теплової обробки залізобетонних конструкцій та виробництва будівельних матеріалів.

Під час теплової обробки складних і великогабаритних залізобетонних конструкцій температурний градієнт може сягати 5–7 °С і

більше, що значно перевищує допустиму похибку регулювання температури. Але оскільки контроль і керування процесом теплової обробки необхідно вести за середньою температурою залізобетонних конструкцій, то це вимагає встановлення декількох перетворювачів температури (рис. 2.11). Під час використання термоелектричних перетворювачів процес вимірювання середнього значення температури спрощується. За паралельного з'єднання термопар середнє значення ТЕРС становитиме

$$E_{\text{ср.}} = (E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n) / n, \quad (2.6)$$

де  $E_1, E_2, E_3, \dots, E_n$  – термоелектрорушійні сили термопар;  $n$  – кількість термопар.

Таблиця 2.5

**Технічні характеристики  
автоматичних, реєструвальних приладів РП250Д**

№ з/п	Тип приладу	Тип первинного перетворювача	Сигналізація	ПІ регулятор	Вихід 0–5 мА, 4–20 мА
1	РП250Д-00	ТХА, ТХК, ТПП	+	–	+
2	РП250Д-01	ТХА, ТХК, ТПП	+	–	+
3	РП250Д-02	ТХА, ТХК, ТПП	+	–	+
4	РП250Д-03	ТХА, ТХК, ТПП	+	–	+
5	РП250Д-04	ТХА, ТХК, ТПП	–	+	+
6	РП250Д-05	ТХА, ТХК, ТПП	–	+	+
7	РП250Д-06	ТПР, 0–50 мВ, 4–20 мА	+	–	+
8	РП250Д-07	ТПР, 0–50 мВ, 4–20 мА	+	+	+
9	РП250Д-08	ТПР, 0–50 мВ, 4–20 мА	–	–	+
10	РП250Д-09	ТПР	+	–	+
11	РП250Д-10	ТПР	+	+	+
12	РП250Д-11	ТПР	–	–	+

Перетворення ТЕРС у пропорційний за величиною електричний опір здійснюють автоматичні потенціометри з реостатним перетворювачем на виході. У цьому разі автоматичний потенціометр виконує функцію вимірювального і записуючого приладу, а додатковий реохорд – реостатного перетворювача, і його під'єднують до програмного регулятора.



Таблиця 2.6

## Основні технічні характеристики приладів КП140

№ з/п	Тип приладу	Тип регулюючого пристрою	Додатковий пристрій	Перевинний перетворювач
1	КП140-101	Трипозиційний	–	ТПП, ТХК, ТХА
2	КП140-102	Трипозиційний	Реостатний	ТПП, ТХК, ТХА
3	КП140-104	Трипозиційний	–	ТПР, = 0–10 мВ, = 0–100 мВ
4	КП140-105	Трипозиційний	Реостатний	ТПР, = 0–10 мВ, = 0–100 мВ
5	КП140-107	Трипозиційний	–	= 0–1 В, = 0–10 В
6	КП140-108	Трипозиційний	Реостатний	= 0–10 В, = 0–10 В
7	КП140-109	Трипозиційний	–	0–5, 0–20 і 4–20 мА
8	КП140-104	Трипозиційний	Реостатний	0–5, 0–20 і 4–20 мА

Таблиця 2.7

## Межі вимірювання автоматичних потенціометрів та приладів РП160М, РП160М1 та РП250Д

Тип термоперетворювача	НСХ	Межі вимірювання, °С
ТХК (термопара хромель-копелева)	ХК (L)	-50–50; -50–100; -50–150; -50–200; 0–100; 0–150; 0–200; 0–300; 0–400; 0–600; 200–600; 200–800
ТХА (хромель-алюмелева)	ХА (K)	0–400; 0–600; 0–800; 0–900; 0–1100; 0–1300; 200–600; 200–1200; 400–900; 600–1100; 700–1300
ТПП (платина-платинородієва)	ПП (S)	0–1300; 0–1600; 500–1300
ТПР (платина-платинородієва; 30/6)	ПР (B)	300–1600; 1000–1600; 1000–1800

На рис. 2.12 зображено схему контролю і вимірювання температури стержневої арматури під час її електротермічного напруження в умовах будівельного майданчика під час виготовлення попередньо напружених стиків залізобетонних балок. Термоелектричний перетворювач 7 (рис. 2.9) закріплюють безпосередньо на напружуваній арматурі. Сигнал з перетворювача надходить на вторинний прилад 10 – автоматичний потенціометр типу КСП2-005, що має трипозиційний регулювальний пристрій. Цей пристрій з'єднано з магнітним пускачем 9 нагрівного трансформатора. Перед початком роботи автоматичний

потенціометр за допомогою задавача виставляють на потрібну температуру нагрівання арматури.

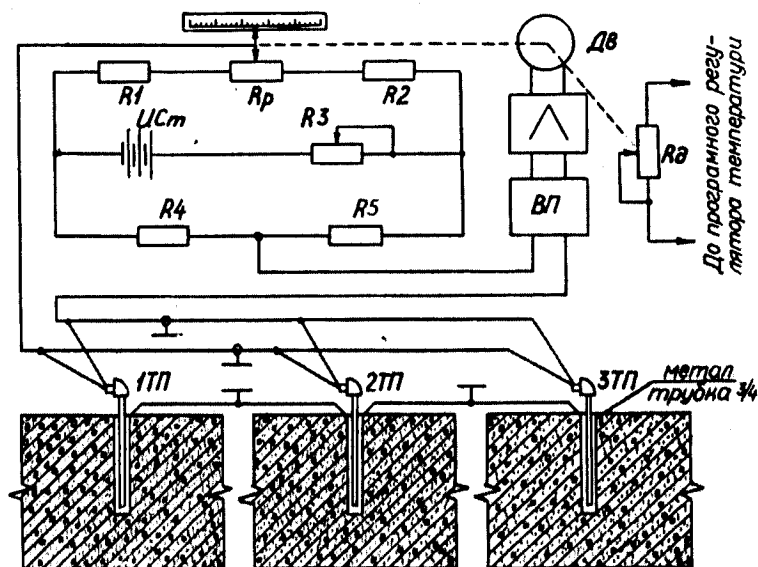
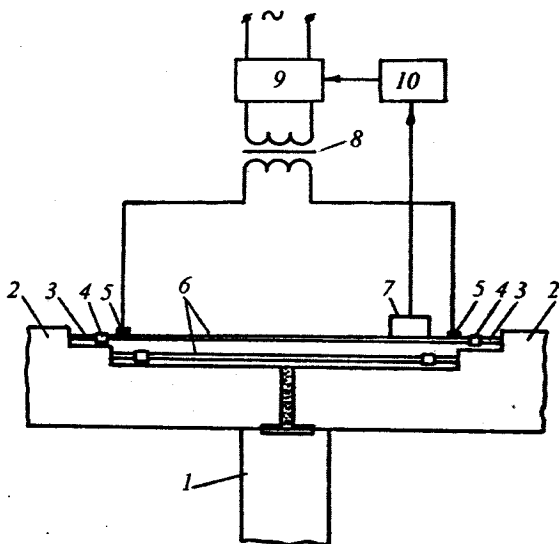


Рис. 2.11. Схема контролю температури великогабаритних залізобетонних конструкцій

Після під'єднання нагрівного трансформатора 8 до мережі арматура нагріватиметься. Сигнал із перетворювача надходить на вимірювальний прилад, який вимірює і реєструє зміну температури арматури під час нагрівання. По досягненні заданої температури, регулюючий пристрій подасть сигнал на магнітний пускач, який відключить нагрівальний трансформатор від мережі.

На базі цього приладу створено спеціальний позиційний регулятор, який керує процесом нагрівання арматури, підтримує задані режими нагрівання і реєструє зміну температури протягом усього процесу попереднього напруження. За показами вимірювального приладу можна визначити величину створеного напруження в арматурі.



*Рис. 2.12. Схема вимірювання і контролю температури арматури під час електротермічного напруження стиків залізобетонних балок: 1 – колона; 2 – балки; 3 – випуски робочої арматури балок; 4 – стик арматури; 5 – електричні контакти; 6 – напружена арматура; 7 – перетворювач температури; 8 – нагрівний трансформатор; 9 – пристрій комутації і захисту; 10 – пристрій контролю і керування нагріванням*

Використовуючи термоелектричні перетворювачі і вторинні прилади, необхідно враховувати похибки вимірювання, які можна розділити на три групи:

- 1) похибки градування термоелектроперетворювачів;
- 2) похибки, пов'язані з умовами використання (стабільність термомпари під час експлуатації);
- 3) похибки, що залежать від вторинного приладу (основна і додаткова похибки).

Величини цих похибок регламентують стандартами, тому перед вимірюваннями прилади необхідно верифікувати. Допустимі значення основної похибки термоелектричних перетворювачів розраховують залежно від класу допуску і вимірюваної температури (табл. 2.8).

Таблиця 2.8

**Допустимі значення основної похибки  
термоелектричних перетворювачів залежно  
від класу допуску і вимірюваної температури**

Тип перетворювача	НСХ	Клас допуску	Межі вимірювання, °С	Допустимі значення основної похибки, °С
ТХК	ХК (L)	3	-200...-100 -100-100	$1,5+0,005 \cdot t$ 2,5
		2	-40-300 300-800	2,5 $0,7+0,005 \cdot t$
ТХА	ХА (K)	3	-200-166,7 -166,7-40	$0,015 \cdot t$ 2,5
		2	-40-333,4 333,4-900	2,5 $0,0075 \cdot t$
		1	-40-375 375-800	1,5 $0,004 \cdot t$
ТПП	ПП (S)	2	0-600 600-1700	1,5 $0,025 \cdot t$
		1	1100-1600 0-1100	$1+0,003 \cdot (t-1100)$ 1,0
ТПР	ПР (B)	3	600-800 800-1800	4,0 $0,005 \cdot t$
		2	600-1800	$0,0025 \cdot t$
ТВР	ВР (A)	3	1000-2550	$0,007 \cdot t$
		2	1000-2550	$0,005 \cdot t$

Наприклад, для термоелектричного перетворювача ТПР класу допуску 3 під час вимірювання температури в межах 600–800 °С допустиме значення основної похибки становить 4 °С, а в межах 800–1000 °С – 4–9 °С. Водночас, під час вимірювання температури термоелектричним перетворювачем ТПП класу допуску 1 у межах 0...1100 °С, похибка становить 1 °С. Під час вимірювання указаної температури термопарою ТХА класу допуску 1, похибка також становитиме від 2,4 до 3,2 °С. Здебільшого економічні показники є вирішальними під час вибору типу перетворювача (табл. 2.9).

Таблиця 2.9

**Технічні характеристики  
деяких типів термоелектричних перетворювачів**

Тип перетворювача	НСХ	Клас допуску	Межі вимірювання, °С	Середовище або об'єкт вимірювання
ТПР-1888 ТХК-2288	ПР (В) ХК (L)	2, 3 2	300–1600 -40–600	Повітря та інертні гази, які не містять речовин, що взаємодіють з матеріалом перетворювача
ТПР-1988	ПР (В)	2, 3	300...1600	Водень, пари води, вищі вуглеводні
ТХА-0188 ТХК-0188	ХА (К) ХК (L)	1, 2 2, 3	-40–1000 -40–600	Атмосфера чистого повітря, газоподібних хімічно неагресивних середовищ з вологістю до 80 %
ТХКП-ХVІІІ	ХК (L)	2, 3	0–400	Поверхні твердих тіл
ТХК-2388 ТХК-0188	ХК (L)	2	-40–600	Рідкі і газоподібні хімічно неагресивні середовища
ТХК-2088 ТХК-2288	ХК (L)	2, 3	-40–600	Газоподібні і рідкі хімічно неагресивні і агресивні середовища, що не руйнують арматуру; тверді тіла
ТПР-1788 ТПР-1888	ПР (В)	2, 3	300–1600 600–1600	Окислювальне і нейтральне середовище
ТПП-1788	ПП (S)	2	0–1300	Те саме
ТПП-1888	ПП (S)	2	0–1300	Повітря і інертні гази, які не містять речовин, що взаємодіють з матеріалом арматури
ТХА-2088 ТХА-2188 ТХА-2288	ХА (К)	1, 2 2 2	-40–900 -40–900 -40–600	Газоподібні і рідкі хімічно неагресивні, а також агресивні середовища, що не руйнують арматуру; тверді тіла
ТХА-2388	ХА (К)	1, 2	-40–1000	Рідкі та газоподібні хімічно неагресивні середовища в різних галузях народного господарства
ТВР-0687	ВР (А)	2	0–2000	Високотемпературні печі з нагрівачами в середовищі аргону

Головними перевагами термоелектричних перетворювачів є можливість застосування для дистанційного і автоматичного вимірювання високих температур, мала інерційність, невеликі габарити і порівняно невисока вартість.

У деяких пристроях та установках, що експлуатуються на заводах будівельної індустрії, для вимірювання і контролю температури середовища використовують термоелектричні перетворювачі спеціальної конструкції. В обортових печах та сушильних барабанах контроль температури здійснюють за допомогою термоелектричних перетворювачів з НСХ ХК або ХА. Такі перетворювачі встановлюють у спеціальні самоочисні кишені (рис. 2.13). Під час обертання печі кишеня у нижньому положенні засипається матеріалом, а у верхньому – очищається від нього. Такий пристрій збільшує час контакту термоелектричного перетворювача 1 з матеріалом і зменшує вплив температури газового потоку на його сигнал, оскільки він безпосередньо не омиває перетворювач.

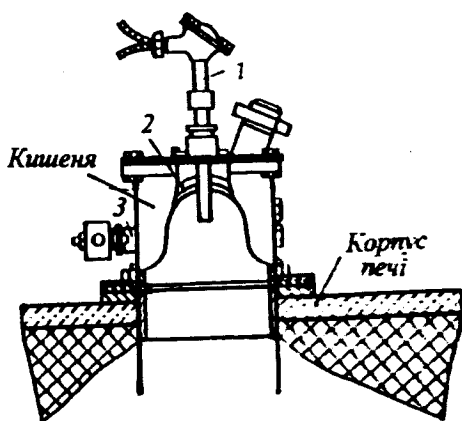


Рис. 2.13. Схема встановлення термоелектричного перетворювача в самоочисній кишени

Внутрішня поверхня кишени очищається спеціальними скребками у формі двох півдуг 2, що обертаються навколо осі і жорстко скріплені з важелем 3, який знаходиться ззовні кишени. На важелі

прикріплено вантаж і під час обертання печі важіль повертається щодо точки закріплення. Разом з важелем повертаються і дуги, очищаючи у такий спосіб стінки кишені від матеріалу.

Для знімання сигналу з термоелектричних перетворювачів, встановлених у обертовій печі, використовують струмознімальні пристрої. У разі встановлення цих пристроїв на печах, розташованих на відкритому повітрі, сигнал від термоелектричного перетворювача спотворюється за атмосферних опадів. Ці спотворення можна ліквідувати за допомогою постійного обдування стиснутим повітрям місць контакту щітки знімача з тролейним кільцем.

У деяких пристроях для вимірювання температури середовища термоперетворювач необхідно ізолювати від впливу випромінювання інших, більш нагрітих деталей конструкції. Це найбільше стосується різноманітних печей та колосникових холодильників, у яких необхідно контролювати температуру вторинного повітря. У цьому разі такий контроль здійснюють за допомогою спеціального відсмоктувального термоелектричного перетворювача (рис. 2.14). Принцип його роботи полягає в тому, що гаряче повітря просмоктується із швидкістю 50–70 м/с повз спай електродів, розташованих між екранами. Подвійне екранування спаю від випромінювання і висока швидкість просмоктування повітря практично виключають вплив променевого теплообміну потоку на сигнал термоелектричного перетворювача.

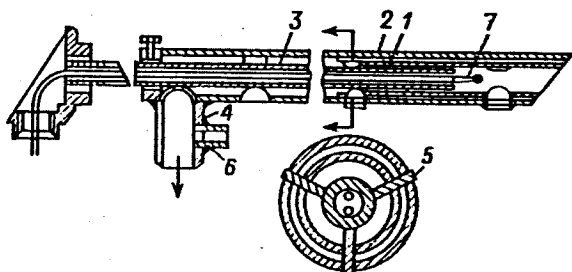


Рис. 2.14. Конструкція відсмоктувального термоелектричного перетворювача:  
 1 – перший екран; 2 – другий екран; 3 – захисна трубка; 4 – патрубок;  
 5 – з'єднувальні ребра; 6 – відгалуження для вимірювання розрідження;  
 7 – гарячий спай термоелектричного перетворювача

Для просмокування повітря повз спай зовнішня трубка термоелектричного перетворювача приєднана до джерела, що створює розрідження. Як джерело розрідження може бути використано всмоктуючий патрубок вентилятора “гострого” дугтя або спеціальний ежектор, що працює від стиснутого повітря.

## **2.5. Вимірювання температури термоперетворювачами опору**

Принцип роботи термоперетворювачів опору (ТО) ґрунтується на зміні електричного опору провідника або напівпровідника залежно від температури. Матеріал для виготовлення такого перетворювача повинен мати високий і стабільний температурний коефіцієнт із стійкими фізико-хімічними властивостями. Такими матеріалами в нашій країні є мідь і платина (див. розд. 1.7.2). Платинові ТО (ТОП) використовують для вимірювання температури від  $-260$  до  $1100$  °С; мідні (ТОМ) – від  $-200$  до  $200$  °С. Вони дають змогу вимірювати температуру з похибкою до  $0,02$  °С, а за вимірювання невеликої різниці температур – до  $0,0005$  °С.

ТО класифікують за матеріалом, з якого виготовлено чутливі елементи перетворювачів, та за початковим опором за температури  $0$  °С (табл. 2.10; 2.11). Вони доволі інерційні, оскільки стала часу термоперетворювачів звичайного виконання досягає 3–4 хв і більше. Крім того, вони мають великі габаритні розміри, які ускладнюють, а часом навіть роблять неможливим їхнє використання.

За конструкцією і використанням термоперетворювачі опору поділяють на такі види:

- за призначенням – занурювані, поверхневі, кімнатні;
- за умовами експлуатації – стаціонарні і переносні;
- за захищеністю від дії зовнішнього і вимірюваного середовищ – захищені і незахищені;
- за стійкістю до механічної дії – звичайні, вібротрясостійкі, удароміцні;



- за інерційністю – великої інерційності (>60 с), середньої інерційності (до 60 с) і малоінерційні (до 10 с);
- за точністю – А, В і С класів.

Вибір конкретного термоперетворювача опору здійснюють за його номінальною статичною характеристикою (НСХ), що визначають двома параметрами:  $R_0$  і  $W_{100}$  (див. 1.7.2.1).

Визначальними властивостями ТО є інерційність і клас допуску. Клас допуску термоперетворювача опору визначають межами допустимих основних і додаткових похибок, а також іншими властивостями, що впливають на точність вимірювання, значення яких встановлює стандарт.

Для термоперетворювачів опору допустиме значення основної похибки визначають залежно від класу допуску та діапазону вимірювання температури  $t$  (табл. 2.10 і 2.15).

Таблиця 2.10

**Допустимі значення основної похибки термоперетворювачів опору залежно від класу допуску**

Тип перетворювача	Клас допуску	Межі вимірювання, °С	Допустимі значення основної похибки, °С
Платиновий (ТОП)	А	-260–250	3,0
		-250–200	1,0
		-200–750	$0,15+0,002 \cdot t$
В	-200–1100	$0,3+0,005 \cdot t$	
	С	-100–1100	$0,6+0,008 \cdot t$
Мідний (ТОМ)	В	-200–200	$0,25+0,0035 \cdot t$
	С	-200–200	$0,5+0,0065 \cdot t$

Наприклад, для платинового термоперетворювача опору класу допуску А, для меж вимірювання температури -250–200 °С значення основної похибки становить 1 °С. Для меж вимірювання температури -200–750 °С:

$$\Delta_1 = 0,15 + 0,002 \cdot t = 0,15 + 0,002 \cdot (-200) = 0,25 \text{ °С};$$

$$\Delta_2 = 0,15 + 0,002 \cdot 750 = 1,65 \text{ °С}.$$

Для такого самого термоперетворювача класу С за меж вимірювання температури  $-100...1100\text{ }^{\circ}\text{C}$  значення основної допустимої похибки становитиме:

$$\Delta_1 = 0,6 + 0,008 \cdot (-100) = 0,2\text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$\Delta_2 = 0,6 + 0,008 \cdot 1100 = 9,4\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Усі технічні термоопорові перетворювачі випускають взаємозамінними. Типи, основні параметри і розміри перетворювачів, які виготовляють в Україні, регламентовані стандартами. В платинових ТО (ТОП) класу А допустимі відхилення значень опору за температури  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$   $R_0$  від номінальних становлять  $\pm 0,05\%$ ; ТОП В класу –  $\pm 0,1\%$ ; у мідних і ТОП С класу –  $\pm 0,2\%$ .

Вимірювання зміни величини вихідного сигналу термоперетворювачів опору здійснюють за допомогою зрівноважених і незрівноважених лабораторних мостів, логометрів і автоматичних мостів. В усіх приладах використовують мостові вимірювальні схеми, які також широко застосовують для вимірювання тих неелектричних величин, зміну яких можна перетворити в зміну опору. Лабораторні мости використовують для вимірювання температури в лабораторних умовах, а також для верифікації і налагодження логометрів та автоматичних мостів.

Найпростіша схема вимірювання температури зрівноваженим мостом показана на рис. 2.15. Термометр опору  $R_t$  за допомогою лінії зв'язку  $R_{л1}$  і  $R_{л2}$  приєднаний до плеча  $ab$  мостової схеми. Змінюючи величину опору  $R_3$ , домагаються рівності напруг в точках  $av$ , тобто щоб струм через гальванометр  $PA$  не протікав. За зміною  $R_3$  визначають величину опору  $R_t$  і за його значенням – температуру об'єкта.

Для ліквідації температурної похибки, зумовленої зміною температури опорів під'єднувальної лінії, використовують трипровідну схему вимірювання (рис. 2.16). Перенісши вершину  $z$  моста безпосередньо на клему термометра, домагаються того, що температурні прирости на опорах під'єднувальної лінії будуть в суміжних плечах моста і на вимірювання не впливатимуть.

На рис. 2.17 зображено схему вимірювання температури за допомогою незрівноваженого моста. У вимірювальну діагональ моста  $av$  увімкнено міліамперметр  $PA$ , шкала якого відградуєвана в оди-

ниці температури (або опору). Напругу живлення моста необхідно підтримувати постійною. Контроль її величини здійснюють перемикачем SA в положенні 2. При цьому до моста під'єднують опір  $R_k$ , а за допомогою опору  $R_p$  стрілку міліамперметра встановлюють на 0. Після цього, встановивши перемикач SA в положення 1, розпочинають вимірювання.

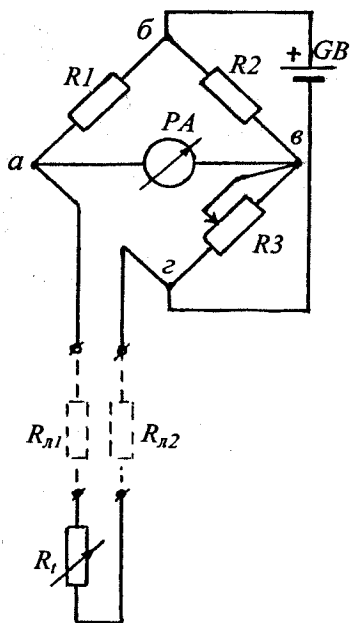


Рис. 2.15. Схема вимірювання температури зрівноваження мостом

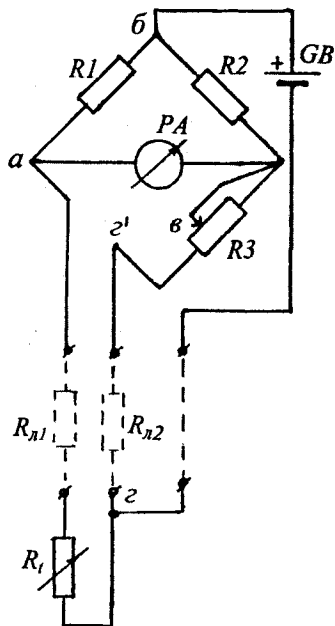


Рис. 2.16. Трипровідна схема приєднання термоопорного перетворювача до моста

Логометри належать до приладів магнітоелектричної системи. Їхня робота ґрунтується на принципі порівнювання сили струмів у колі термоопорного перетворювача і постійного опору. Прилад має дві рамкові котушки (рамки) (рис. 2.18), розташовані під кутом одна до одної і, жорстко з'єднані між собою, що знаходяться в полі постійного магніту. Рамки охоплюють нерухоме сталеве осердя і підвішені на кернових опорах. До рамок прикріплено стрілку

приладу. Усе це утворює систему, яка може легко повертатися під дією магнітоелектричного моменту рамок. Рамки живляться від джерела постійного струму GB.

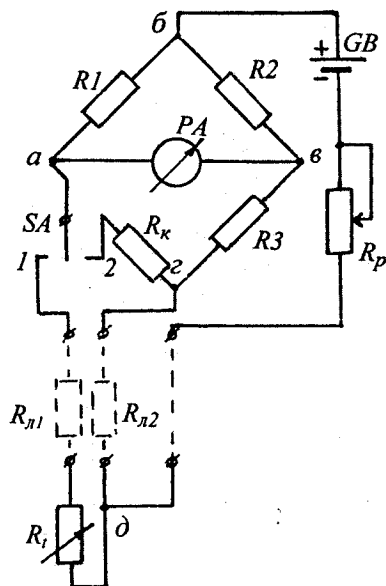


Рис. 2.17. Схема вимірювання температури за допомогою незрівноваженого моста

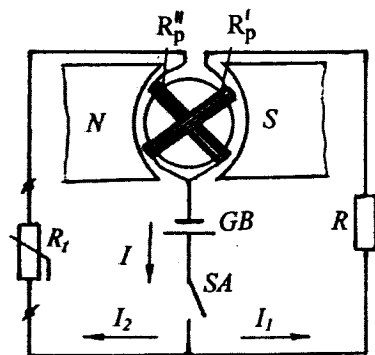


Рис. 2.18. Принципова електрична схема логометра

Постійний магніт має полюсні наконечники із зміщеними центрами, що утворюють нерівномірний повітряний проміжок між наконечниками і осердям. Це призводить до того, що магнітна індукція також нерівномірна: найбільше її значення в центрі, а найменше – на краях. Кут повертання рамок є функцією відношення сил струму  $I_1$  та  $I_2$ :  $\varphi = f(I_1 / I_2)$ . Напрямок струму в рамках є таким, що обертові моменти рамок спрямовані назустріч один одному, тому під час порушення рівноваги вони повертатимуться в бік більшого моменту. Якщо  $R_p^1 = R_p^{11}$ , і  $R_t = R$ , то  $I_1 = I_2$ , тоді обертові моменти рамок однакові, і рухома система знаходиться в середньому положенні.

За зміни опору термоопорового перетворююча  $R_t$  внаслідок нагрівання або охолодження через одну з рамок потече більший струм, рівність моментів порушиться і рухома система почне повертатися в бік більшого моменту. При цьому рамка із більшою силою струму потрапляє у проміжок з меншою магнітною індукцією, а рамка з меншим струмом – з більшою. Внаслідок цього обертові моменти знову зрівноважуються, і стрілка покаже встановлене значення температури.

Покази приладу не залежать від коливання напруги джерела живлення тільки в певних межах. Так, за коливання напруги живлення  $\pm 20\%$  виникає кутова похибка  $\Delta\varphi \approx 0,5-1,0\%$ . Це пояснюється тим, що за малої напруги збільшується похибка за рахунок механічних сил, які діють в приладі, а за збільшеної – рамки і термоопоровий перетворювач нагріваються і змінюють співвідношення струму в паралельних ланках логометра.

Чутливішими і точнішими є логометри з мостовою вимірною схемою. Термоперетворювач опору  $R_t$  приєднують в одне із плечей моста  $a$   $b$   $v$   $z$ , а котушки рамок  $R_p^1$  і  $R_p^{11}$  – у його вимірвальну діагональ. До вершин  $b$  і  $z$  приєднують джерело живленнями  $GB$  (рис. 2.19). Схема знаходиться у рівновазі, якщо напруга між точками  $a$  і  $v$  дорівнює нулю. У цьому разі струми в рамках однакові і спрямовані назустріч, тому стрілка знаходиться на нульовій позначці. За зміни опору перетворювача між точками  $a$  і  $v$  з'явиться напруга. Це викличе зміну струмів котушок рамок, і

стрілка переміщатиметься до нового стійкого положення. Опір  $R_6$  використовується для зміни кута відхилення рухомої системи, а  $R_5$  – для температурної компенсації.

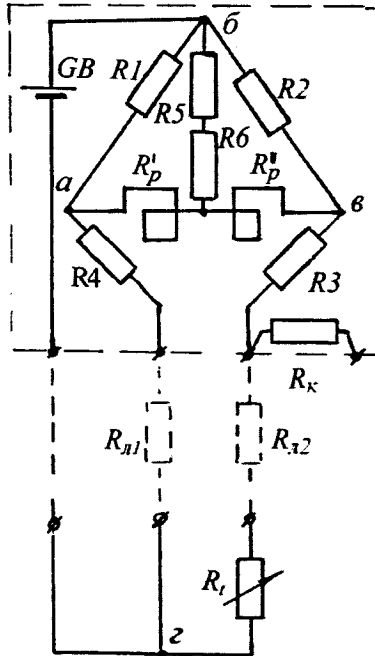


Рис. 2.19. Принципова електрична схема логометра з мостовою схемою

Промисловість налагодила випуск профільних і щитових логометрів у звичайному і вибухобезпечному виконанні, такі, що показують, та самописні. Крім того, їх можна комплектувати пристроями для дво- або трипозиційного регулювання.

В основу роботи автоматичних мостів покладено нульовий метод вимірювання мостовими схемами (див. розділ 1.8.1). Як первинні перетворювачі для роботи з мостами використовують перетворювачі, вихідною величиною яких є опір (табл. 2.11). Тому за допомогою автоматичних мостів можна вимірювати різні технологічні параметри (тиск,

масу, вологість, деформації тощо), перетворивши їх на зміну опору, про що буде сказано у відповідних розділах.

Таблиця 2.11

**Основні характеристики термоперетворювачів опору**

Тип термоперетворювача	Початковий опір за 0 °С, Ом	НСХ	Клас допуску	Межі вимірювання температури, °С
Платиновий ТО  Допустимі відхилення від номінального значення опору за температури 0 °С (R <sub>0</sub> ) для класу А – ± 0,05 %; В – ± 0,1 %; С – ± 0,2 %.	1	1П	В	0–1000
	10	10П	А	-200–750
			В	-50–1000
	50	50П	А	-260–750
			В	-200–1000
	100	100П	А	-260–750
			В	-200–1000
	500	500П	А	-260–300
В			-200–300	
Мідний ТО	10	10М	В,С	-50–200
	50	50М	В,С	-50–200
	100	100М	В,С	-200–200 (-50–200)

Автоматичні мости поділяють на: такі, що показують, з пласкою шкалою (КПМ1), з обертовою шкалою (КВМ1) і самописні (КСМ1, КСМ2, КСМ3, КСМ4) (табл. 2.12). Прилади відповідають сучасним вимогам технічної естетики. Нову якість мають багаточкові прилади комплексів КС2 і КС4, за їхньою допомогою можна здійснювати трипозиційне регулювання із роздільним завданням на кожну точку. Крім того, в приладах використовують вмонтовані вимірювальні перетворювачі з метою одержання на виході уніфікованих сигналів.

Автоматичні вимірювальні мости поступово замінюють автоматичними самописними приладами слідкуючого зрівноважування типу РП160М1 (одноканальні), РП160М (багатоканальні) та РП250Д (з дисковою шкалою). Основні технічні характеристики цих приладів наведено в табл. 2.13. Мініатюрні прилади КСМ1 повністю замінено приладами слідкуючого зрівноваження Р100. Для спеціаль-

них вимірювань широко застосовують автоматичні мости КМ140, що показують, із дисковою шкалою. Прилади оснащено трипозиційним регулюючим пристроєм та додатковим реостатним перетворювачем на виході.

Таблиця 2.12

**Основні технічні характеристики деяких типів автоматичних мостів**

№ з/п	Тип приладу	К-ть точок	Тип регулятора і сигнал. пристрою	Характеристика регулюючого пристрою	Додаткові пристрої і перетворювачі
1	КСМ2-004	1	Трипозиційний	З двома вказівниками завдання	—
2	КСМ2-028	3	Трипозиційний	З роздільним завданням на кожную точку	—
3	КСМ2-030	12	Те саме	Те саме	—
4	КСМ2-038	1	Те саме Реостатний задавач	Зона пропорційності 100 %	—
5	КСМ2-042	1	Трипозиційний	—	Реост. пристрій
6	КСМ2-052	1	Трипозиційний		
7	КСМ2-055	12	Сигналізуючий пристрій	Всі точки на одне задане значення	—
8	КСМ2-56	3	Сигналізуючий пристрій	Всі точки на одне задане значення	—
9	КСМ2-57		Сигналізувальний пристрій	Всі точки на одне задане значення	—
10	КСМ2-061	12	Те саме	Те саме	—
11	КСМ2-074	3	Чотириконтактний	Сигналізуючий	Обрив перетвор.
12	КСМ2-075	6	Те саме	Те саме	Те саме
13	КСМ2-091	1	Трипозиційний	Для вим. різниці температури	Норм. перетворювач 0–5 мА
14	КСМ2-092	12	Трипозиційний	З роздільним завд. на кожную точку	—



Таблиця 2.13

**Основні технічні характеристики автоматичних  
реєструючих приладів РП160М1, РП160М та РП 250Д**

№ з/п	Тип приладу	Тип первинного перетворювача	Сигналізація	Вихід 0–5 мА; 4–20 мА
1	РП160М1-12	ТОМ, ТОП	–	–
2	РП160М1-13	ТОМ, ТОП	+	–
3	РП160М1-14	ТОМ, ТОП	–	–
4	РП160М1-15	ТОМ, ТОП	+	–
5	РП160М1-20	ТОМ, ТОП, тензоперетворювач	–	+
6	РП160М1-21	ТОМ, ТОП, тензоперетворювач	+	+
7	РП160М1-22	ТОМ, ТОП, тензоперетворювач	–	+
8	РП160М1-23	ТОМ, ТОП, тензоперетворювач	+	+
9	РП160М-66	ТОМ, ТОП	–	–
10	РП160М-67	ТОМ, ТОП	+	–
11	РП160М-68	ТОМ, ТОП	–	–
12	РП160М-69	ТОМ, ТОП	+	–
13	РП160М1-77	ТОМ, ТОП	+	Сигнал. пристрій
14	РП160М1-78	ТОМ, ТОП	+	

У практиці автоматизації технологічних процесів найрозповсюдженішим є метод безпосереднього вимірювання опору термометра за допомогою логометрів або автоматичних мостів (табл. 2.14). Але ці прилади, крім опору перетворювача, вимірюють ще й опір з'єднувальних проводів (рис. 1.38 і 2.19). За значного віддалення перетворювача від вимірювальних приладів цей опір може бути доволі великими:

$$R = R_{\text{п}} + 2 \cdot R_{\text{л}}, \quad (2.7)$$

де  $R$  – опір, який вимірює вторинний прилад, Ом;  $R_{\text{п}}$  – опір перетворювача, Ом;  $R_{\text{л}}$  – опір з'єднувальної лінії, Ом.

Як зрозуміло із (2.7), чим далі розташований перетворювач від вторинного приладу, тим більшою є похибка вимірювання. Ліквідацію цієї похибки здійснюють в такий спосіб. У вимірювальній схемі вторинних приладів передбачають спеціальні вирівнювальні котушки. Опір цих котушок строго постійний і дорівнює 2,5 Ом. Вторинний прилад градуують з врахуванням опору цих котушок.

Пізніше, під час монтажу у виробничих умовах вимірюють опір з'єднувальної лінії, і від котушки відмотують таку кількість витків, щоб опір лінії і опір котушки, що залишився, разом становили 2,5 Ом. У багатоточкових мостах вирівнювальні котушки в комплект поставки не входять. Для ліквідації температурної похибки лінії первинні перетворювачі під'єднують до мостів за трипровідною схемою. Деякі модифікації приладів допускають двопровідне під'єднання.

Таблиця 2.14

**Межі вимірювання  
автоматичних мостів, логометрів, РП160 та РП250Д**

Тип термоперетворювача	НСХ	Межі вимірювання
ТОП (термометр опору платиновий)	10П	0–300; 0–400; 0–500; 0–650; 300–650; 0–100*; 0–150*; 0–200*; 200–500* Позначені * – для приладів, крім КСМ2
	50П	-200...-70; -120–30; -70–180; 0–100; 0–150; 0–200; 0–300; 0–400; 0–500; 200–500
	100П	-200...-70; -120–30; -90–50; -70–180; -25–25; -200–50; -175–150; 0–50; 0–100; 0–150; 0–200; 0–300; 0–400; 0–500; 200–500
ТОМ (термометр опору мідний)	50М	-50–0; -50–50; -50–100; 0–50; 0–100; 0–180; 50–100; 0–60,4; 0–150
	100М	-50–0; -50–50; -50–100; -25–25; 0–50; 0–100; 0–150; 0–180; 50–100

Первинні перетворювачі до приладів слідкуючого зрівноважування під'єднують за чотирипровідною схемою, що виключає появу температурної похибки за рахунок дротів та не вимагає вирівнювальних котушок (табл. 2.15).

Зарубіжні фірми, крім дротяних термоопорових перетворювачів, випускають мініатюрні плівкові платинові перетворювачі. Платинова плівка наноситься на підкладку з оксиду алюмінію, що є добрим діелектриком. Такі термометри мають значно більшу швидкість, малу індуктивність і високу стабільність у роботі.

**Технічні характеристики  
деяких типів термоопорових перетворювачів**

Тип	НСХ	Клас допуску	Межі вимірювання, °С	Середовище або об'єкт вимірювання
ТСП-1088	50П, 100П	А В	-50–600 -200–600	Рідкі і газоподібні середовища в різних галузях промисловості
ТСП-1388	50П, 100П	В, С	-50–120	Підшипники і тверді тіла
ТСП-1588	100П	В	0–150	Рідкі та газоподібні середовища
ТСП-8040Р ТСП-8041Р	50П, 100П 50П	В	-200–500 -50–300	Повітря, прісна і морська вода, вода в котлі, конденсат, пара, паливо тощо
ТСП-1390 ТСП-1790	50П, 100П	В	-50–400	Вода, бетон, метал, пари, повітря, луги, оливи, кислоти, теплоносії
ТСП-1188-01 ТСП-1287	50П, 100П	В А, В	50–500 -220–500	Рідкі і газоподібні середовища
ТСП-8042Р	50П, 100П	А, В	-50–400	Тверді, рідкі і газоподібні середовища
ТСМ-1088	50М, 100М	А В С	-50–120 -50–150 -50–150	Рідкі і газоподібні середовища
ТСМ-1188-01	50М, 100М	В, С	-50–150	Рідкі і газоподібні середовища в різних галузях промисловості
ТСМ-1388	50М	С	-50–120	Підшипники і тверді тіла
ТСМ-1288	50М, 100М	В, С	-50–150	Рідкі, газоподібні серед. і тверді тіла у різних ТП
ЕЧП-0083	1П, 10П, 100П, 300П, 500П	А, В, С	-200–1100	Тверді, сипкі і газоподібні середовища
ЕЧМ-0183	10М	В, С	-50–200	Те саме

## 2.6. Використання приладів з уніфікованими сигналами для вимірювання температури

Промисловість України освоїла виробництво приладів для вимірювання температури з уніфікованими вихідними та вхідними сигналами. Їх широко застосовують у системах вимірювання та регулювання, побудованих на сучасних засобах мікропроцесорної техніки.

Для перетворення термоелектрорушійної сили термопар в уніфікований електричний сигнал використовують спеціальні нормуючі (уніфікуючі) перетворювачі. Їх випускають як окремими блоками, так і разом з перетворювачем (табл. 2.16). Схема перетворювача, що перетворює сигнал термопари в уніфікований сигнал постійного струму 0–5 мА, зображена на рис. 2.20.

*Таблиця 2.16*

### Технічні характеристики термоперетворювачів з уніфікованим вихідним сигналом 0–5 і 4–20 мА для вимірювання температури газоподібних, рідких і сипких речовин у різних галузях промисловості

Тип приладу	НСХ і клас допуску	Межі вимірювання, °С	Основна похибка, ± %
1	2	3	4
ТХАУ-0288	ХА (К)	0–600; 0–800; 0–900	1,0
ТХАУ-0388	1, 2	400–800; 600–900	1,5
ТСПУ-0288	50П	-200–50; -100–50	0,4
ТСПУ-0388	В	-50–50	0,25
		-25–25; 0–50	0,5
		0–100; 0–200	0,25
		150–200; 200–300	0,4
		200–400	0,25
		200–600	0,4
ТСМУ-0288	50М,	-50–50	0,5
ТСМУ-0388	В, С	-25–25; 0–50	1,0
		0–100; 0–200	0,5
		50–100; 100–150	1,0

1	2	3	4
ТСПУ-0183	50П, 100П А, В	-200-0; -25-25; 0-600; -50-400; -50-100	1,0
		0-100; 0-200	0,5
		-100-50; 0-400	0,25
ТСМУ-0283	50М, В	0-50; -25-25; 50-100; 0-100	1,0
		0-200	0,5
ТХАУ-0383	ХА (К); 1, 2	-50-300	2,0
		-50-600; -50-800; -50-1000	1,5
ТППУ-0483	ПП (S); 1, 2	600-1300	1,0

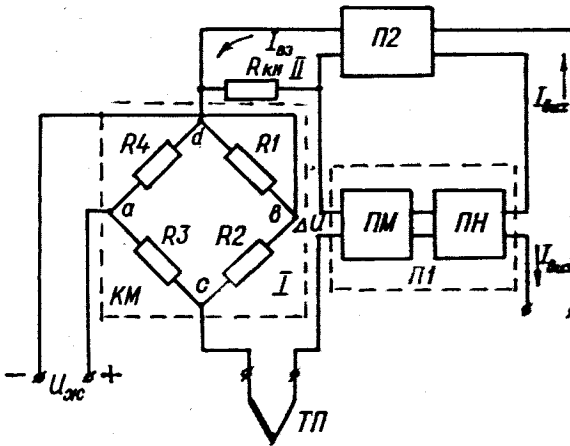


Рис. 2.20. Принципова електрична схема уніфікуючого перетворювача для роботи з термоелектричними перетворювачами

В основу роботи нормуючого перетворювача покладено компенсаційний метод вимірювання ЕРС з використанням потенціометра із змінною силою робочого струму. Схема складається із двох контурів: I – контур вимірювання; II – контур компенсації.

Контур I складається із коригуючого моста КМ, підсилювача П1 із струмовим виходом  $I_{\text{вих}}$  і опору  $R_{\text{кн}}$ . До контуру під'єднується термопара ТП. Коригуючий міст КМ призначено для введення автоматичної поправки на зміну температури вільних кінців термо-

пари, а також компенсації початкової ТЕРС в перетворювачах, нижня границя яких не дорівнює 0 °С. До діагоналі живлення моста *ав* підведено стабілізовану напругу постійного струму  $U_{\text{ж}}$ . Опори R1, R2, і R3 – манганінові, опір R4 – з мідного дроту. Підсилювач П1, що виконує функції нуль-індикатора, складається із двох каскадів: магнітного підсилювача ПМ і напівпровідникового підсилювача постійного струму ПН.

Контур компенсації II включає опір  $R_{\text{кн}}$  і підсилювач зворотного зв'язку П2. Цей підсилювач аналогічний до підсилювача П1, але включений з глибоким від'ємним зв'язком за вихідним струмом підсилювача. Вихідний струм  $I_{\text{вз}}$  підсилювача П2 є робочим струмом контуру II і під час проходження цього струму опором  $R_{\text{кн}}$  на ньому з боку контуру II створюється компенсуюча напруга  $U_{\text{кн}} = I_{\text{вз}} \cdot R_{\text{кн}}$ . З боку контуру I до опору  $R_{\text{кн}}$  підводиться сигнал термоперетворювача  $E_{\text{тп}(t)}$ , який додано до напруги  $U_{\text{cd}}$ , що створюється у вимірювальній діагоналі *cd* моста КМ. Ця напруга дорівнює поправці на температуру вільних кінців термопари, тобто  $U_{\text{cd}} = E_{\text{тп}(t_0)}$ .

Отже, цей сумарний сигнал, що дорівнює  $E_{\text{тп}(t^1)} = E_{\text{тп}(t)} + U_{\text{cd}}$ , порівнюється з напругою  $U_{\text{кн}}$ . Небаланс, що дорівнює  $\Delta U = E_{\text{кн}(t^1)} - U_{\text{кн}}$ , подається на підсилювач П1, де цей сигнал постійного струму  $\Delta U$  перетворюється спершу в магнітному підсилювачі ПМ у сигнал змінного струму, потім підсилюється і знову перетворюється в сигнал постійного струму, який додатково підсилюється у напівпровідниковому підсилювачі ПН. Вихідний сигнал підсилювача П1 створює струм  $I_{\text{вих}}$ , який надходить у зовнішнє коло і далі через подільник – у підсилювач зворотного зв'язку П2. Вихідний струм  $I_{\text{вз}}$  підсилювача П2 змінюється і змінює спад напруги  $U_{\text{кн}}$  до того часу, поки небаланс  $\Delta U$  не досягне деякої малої величини  $\delta U$ , яку називають статичною похибкою компенсації.

Наявність статичної похибки компенсації приводить до того, що в контурі вимірювання I проходить недокомпенсований струм. При цьому, чим більша вимірювана ТЕРС, тим більшим є цей струм. Виключити цю похибку в пристроях, виконаних за статичною автокомпенсаційною схемою, принципово неможливо, оскільки вихідний

струм. перетворювача  $I_{\text{вих.}}$  і струм контуру компенсації  $I_{\text{вз}}$  визначають наявністю цієї похибки і пропорційні до неї. Водночас статична похибка автокомпенсаційної схеми може бути значно зменшена, якщо використовувати підсилювач із великим коефіцієнтом підсилення.

Для перетворення сигналу термоопорних перетворювачів в уніфікований використовують аналогічні перетворювачі (рис. 2.21). Відмінність цієї схеми від попередньої полягає в тому, що в ній, замість коригуючого моста КМ, використовують вимірювальний незрівноважений міст ВМ, в одне з плечей якого за трипровідною схемою під'єднано термометр опору  $R_t$ . До діагоналі живлення моста  $ab$  підведено стабілізовану напругу постійного струму. Вихідний струм перетворювача  $I_{\text{вих.}}$  пропорційний до напруги  $U_{cd}$  у вимірювальній діагоналі моста, а співвідношення між ними становитиме  $I_{\text{вих.}} = k \cdot U_{cd}$ . Але оскільки напруга  $U_{cd}$  пропорційна до опору  $R_t$ , то і струмовий сигнал нормувального перетворювача пропорційний до опору термоперетворювача.

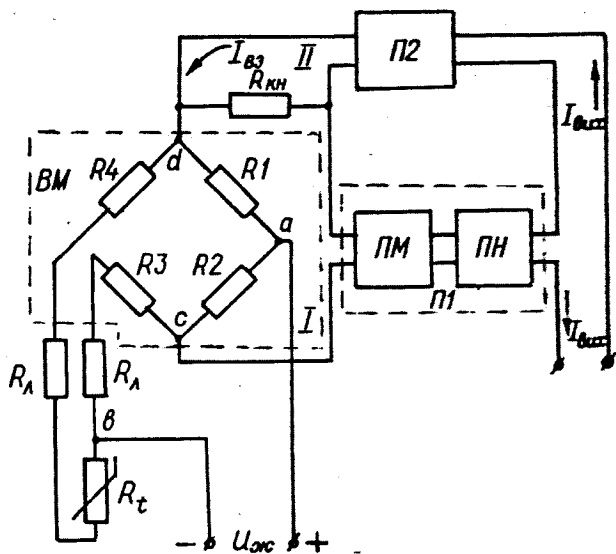


Рис. 2.21. Принципова електрична схема уніфікуючого перетворювача термометра опору

Залежно від величини вхідного сигналу, уніфікуючі перетворювачі мають класи точності 0,25–1,5.

Для вимірювання використовують прилади із уніфікованими вхідними сигналами типу КСУ, Р100, РП160 і РП250Д, розраховані на роботу з джерелами вхідних сигналів постійного струму 0–10 мВ, 0–20 мВ, 0–50 мВ, 0–10 В, 0–5 мА, 0–20 мА, 4–20 мА. Прилади реєструють вхідні сигнали частотою до 0,2 Гц із похибкою, що не перевищує  $\pm 1\%$  від нормувального значення (табл. 2.17, 2.18).

Таблиця 2.17

**Основні технічні характеристики  
приладів РП-160М1, РП160М і РП250Д**

№ з/п	Тип приладу	Вихідний сигнал первинного перетворювача	Сигналізація	Вихід 0–5 мА, 4–20 мА
1	РП160М1-04	$\approx 0-10$ В	–	–
2	РП160М1-05	$\approx 0-10$ В	+	–
3	РП160М1-058	0–5; 0–20; 4–20 мА	–	–
4	РП160М1-059	0–5; 0–20; 4–20 мА	+	–
5	РП160М1-28	0–5; 0–20; 4–20 мА	+	–
6	РП160М1-29	$\approx 0-10$ В	+	–
7	РП160М1-38	0–5; 0–20; 4–20 мА	+	–
8	РП160М1-39	$\approx 0-10$ В	–	–
9	РП160М-54	$\approx 0-10$ В	–	–
10	РП160М-55	$\approx 0-10$ В	+	–
11	РП160М-58	0–5; 0–20; 4–20 мА	–	–
12	РП160М-59	0–5; 0–20; 4–20 мА	+	–
13	РП160М-72	$\approx 0-10$ В	+	–
14	РП160М-73	0–5; 0–20; 4–20 мА	+	–
15	РП250Д-12	0–5; 0–20; 4–20 мА	–	–
16	РП250Д-13	0–5; 0–20; 4–20 мА	–	–
17	РП250Д-14	0–5; 0–20; 4–20 мА	ПІ-регулятор	–
18	РП250Д-15	$\approx 0-10$ В	–	–
19	РП250Д-16	$\approx 0-10$ В	–	–
20	РП250Д-17	$\approx 0-10$ В	ПІ-регулятор	–

Вибираючи вимірювальні перетворювачі з уніфікованим вихідним сигналом, необхідно враховувати, що останній відповідає певним



межам вимірювання, які необхідно знати і вказувати у замовленні. Ці межі відповідають стандартним шкалам приладів для вимірювання температури. У табл. 2.19 такі межі вказано для перетворювача Ш-78.

Таблиця 2.18

**Технічні характеристики  
перетворювачів з уніфікованим вихідним сигналом**

Тип приладу	Вихідний сигнал	НСХ	Межі вимірювання температури, °С	Допустима похибка, %
ПИ-С011	0-5; 4-20 мА; 0-10 В	50М, 100М, 50П, 100П,	-200-600	0,5
ПИ-Т012	Те саме	ХА, ХК, ПП, ПР, ВР	-50-2200	0,5
Ш-78	0-5 мА; 0-10 В	Те саме	-50-1800	0,4
Ш-79	Те саме	50 М, 100 М, 50 П, 100 П,	-200-600	0,4
БПО-32	0-5; 0-20; 4-20 мА	50 М; 100 М; гр.23	-50-200	0,25
БПО-42	Те саме	50 П; 100 П; гр.21	-200-600	0,25
БПТ-22	Те саме	ХК; ХА; ПП ПР; ВР	-260-2200	0,25

Крім наведених в розділах 2.4 і 2.5 приладів, підприємство “Львівприлад” виробляє автоматичні, реєструючі прилади слідкуючого зрівноваження Р100. Прилади призначено для вимірювання і неперервного запису на діаграмній стрічці завширшки 100 мм значень параметрів технологічних процесів. Їх розраховано для роботи з термоелектричними і термоопоровими перетворювачами та з перетворювачами з уніфікованими вихідними сигналами.

Прилади випускають одно-, дво- і триканальними в різних виконаннях та з імпульсним виходом на зовнішній лічильник. Крім того, кожний канал залежно від модифікації має:

- два двопозиційні регулюючі пристрої з контактними виходами, що уможливають комутувати навантаження напругою до 220 В і силою струму до 0,5 А;
- пристрій пропорційного перетворення вхідного сигналу від перетворювачів у вихідний неперервний електричний сигнал 0-5 або 4-20 мА за навантаження 10 Ом;

- інтегруючий пристрій (імпульсний вихід на зовнішній лічильник).

Ширина шкали приладу – 100 мм. Основна зведена похибка приладів за показами – 0,5 %, а за реєстрацією та позиційним регулюванням – 1 %. Номінальні середні швидкості руху діаграмної стрічки вибирають із ряду: 20, 40, 60, 120, 240, 600, 1200 і 2400 мм/год. Підприємство випускає 110 модифікацій цих приладів, деякі з них наведено в табл. 2.20. Крім того, підприємство налагодило випуск 15 модифікацій вибухобезпечних приладів. Межі вимірювання і умовне позначення номінальної статичної характеристики перетворювачів на кожний канал обумовлюються під час замовлення приладів.

Таблиця 2.19

**Технічна характеристика вимірювального перетворювача Ш-78**

Тип термоперетворювача	НСХ	Межі вимірювання, °С	Клас точності
ТХК	ХК (L)	-50-50; -50-100	1,0
		-50-150	0,6
		-50-200	0,4
		0-100; 0-150	1,0
		0-200	0,6
		0-300; 0-400; 0-600; 200-600; 0-800	0,4
		-200...50	0,6
ТХА	ХА (К)	0-400; 0-600; 0-800; 0-900; 0-1100; 0-1300; 200-600; 200-1200; 400-900; 600-1100; 700-1300	0,4
ТПП	ПП (S)	0-1300; 0-1600; 500-1300	0,4
		1000-1600	0,6
ТВР	ВР (А)	0-1800; 1000-1800	0,4
ТПР	ПР (В)	300-1000; 1000-1600	0,6
		300-1600; 1000-1800	0,4
Перетворювач напруги постійного струму		0-10 мВ; 0-20 мВ; 0,33,3 мВ; 0-50 мВ	0,25

Подібні уніфікуючі перетворювачі використовують у вимірювальних пристроях зарубіжних фірм. На рис. 2.22 показано структурну

схему перетворювача фірми *Fisher-Rosemount*, що працює з термоперетворювачем опору. Вихідний сигнал 4–20 мА використовують у системах автоматичного вимірювання чи регулювання, а сигнал 40–200 мВ подається на вимірювальний прилад, що знаходиться в одному корпусі з перетворювачем і чутливим елементом. Допускають під'єднання й інших вимірювальних приладів із таким вхідним сигналом.

Таблиця 2.20

**Основні технічні характеристики  
деяких модифікацій приладів Р 100**

Тип приладу	Тип вхідного перетворювача (вхідний сигнал)			Вихідний пристрій (імпульсний вихід)		
	1 канал	2 канал	3 канал	1 к.	2 к.	3 к.
1	2	3	4	5	6	7
Р 100-00	ТХК, ТХА, ТПП	ТХК, ТХА, ТПП	ТОМ, ТОП	–	–	–
Р 100-01	ТПР, ПН	ТХК, ТХА, ТПП	ТОМ, ТОП	–	–	–
Р 100-02	УСПН	ТХК, ТХА, ТПП	ТОМ, ТОП	–	–	–
Р 100-03	УСПН	ТХК, ТХА, ТПП	ТОМ, ТОП	+	–	–
Р 100-04	УСПС	ТХК, ТХА, ТПП	ТОМ, ТОП	–	–	–
Р 100-05	УСПС	ТХК, ТХА, ТПП	ТОМ, ТОП	+	–	–
Р 100-06	ТПР, ПН	ТПР, ПН	ТОМ, ТОП	–	–	–
Р 100-07	УСПН	ТПР, ПН	ТОМ, ТОП	–	–	–
Р 100-08	УСПН	ТПР, ПН	ТОМ, ТОП	+	–	–
Р 100-09	УСПС	ТПР, ПН	ТОМ, ТОП	–	–	–
Р 100-10	УСПС	ТПР, ПН	ТОМ, ТОП	+	–	–
Р 100-11	УСПН	УСПН	ТОМ, ТОП	–	–	–
Р 100-14	УСПС	УСПН	ТОМ, ТОП	–	–	–
Р 100-17	УСПС	УСПС	ТОМ, ТОП	–	–	–
Р 100-19	УСПС	УСПС	ТОМ, ТОП	+	+	–
Р 100-20	ТХК, ТХА, ТПП	ТХК, ТХА, ТПП	ТХК, ТХА, ТПП	–	–	–
Р 100-21	ТПР, ПН(мВ)	ТХК, ТХА, ТПП	ТХК, ТХА, ТПП	–	–	–
Р 100-22	УСПН	ТХК, ТХА, ТПП	ТХК, ТХА, ТПП	–	–	–
Р 100-23	УСПС	ТХК, ТХА, ТПП	ТХК, ТХА, ТПП	+	–	–
Р 100-26	УСПС	ТПР, ПН	ТХК, ТХА, ТПП	–	–	–
Р 100-31	УСПН	УСПН	ТХК, ТХА, ТПП	–	–	–
Р 100-34	УСПС	УСПС	ТХК, ТХА, ТПП	–	–	–
Р 100-41	ТПР, ПН	ТПР, ПН	ТПР, ПН	–	–	–

1	2	3	4	5	6	7
P 100-51	УСПС	УСПН	ТПР, ПН	+	+	-
P 100-59	УСПН	УСПН	УСПН	+	+	+
P 100-69	УСПС	УСПС	УСПС	+	+	+
P 100-75	УСПС	УСПС	УСПС	+	+	+
P 100-76	ТХК, ТХА, ТПП	ТОП, ТОМ	-	-	-	-
P 100-82	ТХК, ТХА, ТПП	ТХК, ТХА, ТПП	-	-	-	-
P 100-103	ТОП, ТОМ	-	-	-	+	-
P 100-109	УСПС	-	-	+	-	-

ПН – джерело постійної напруги; УСПН – уніфікований сигнал постійної напруги; УСПС – уніфікований сигнал постійного струму

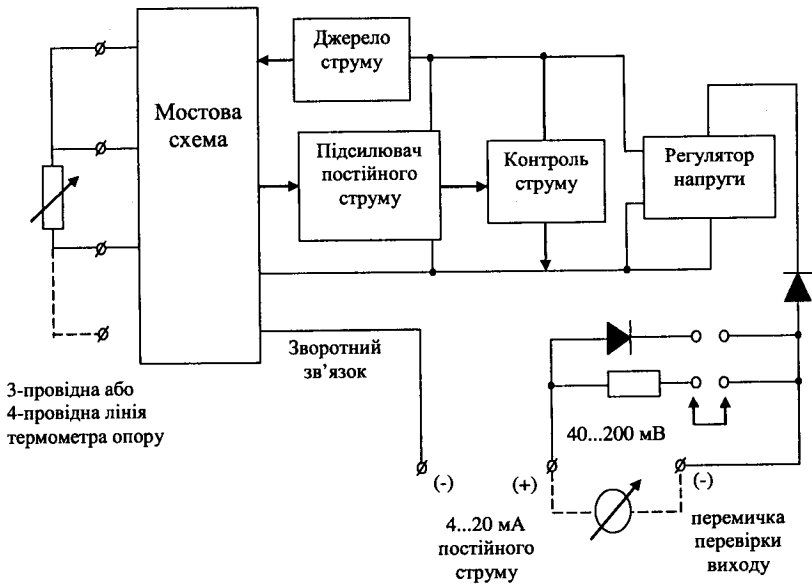


Рис. 2.22. Структурна схема уніфікуючого перетворювача термометра опоры

Подібна схема використовується і для вимірювання температури за допомогою термоелектричного перетворювача (рис. 2.23). Крім того, до нього можна під'єднувати і гальванічний перетворювач (наприклад, від рН-метра).

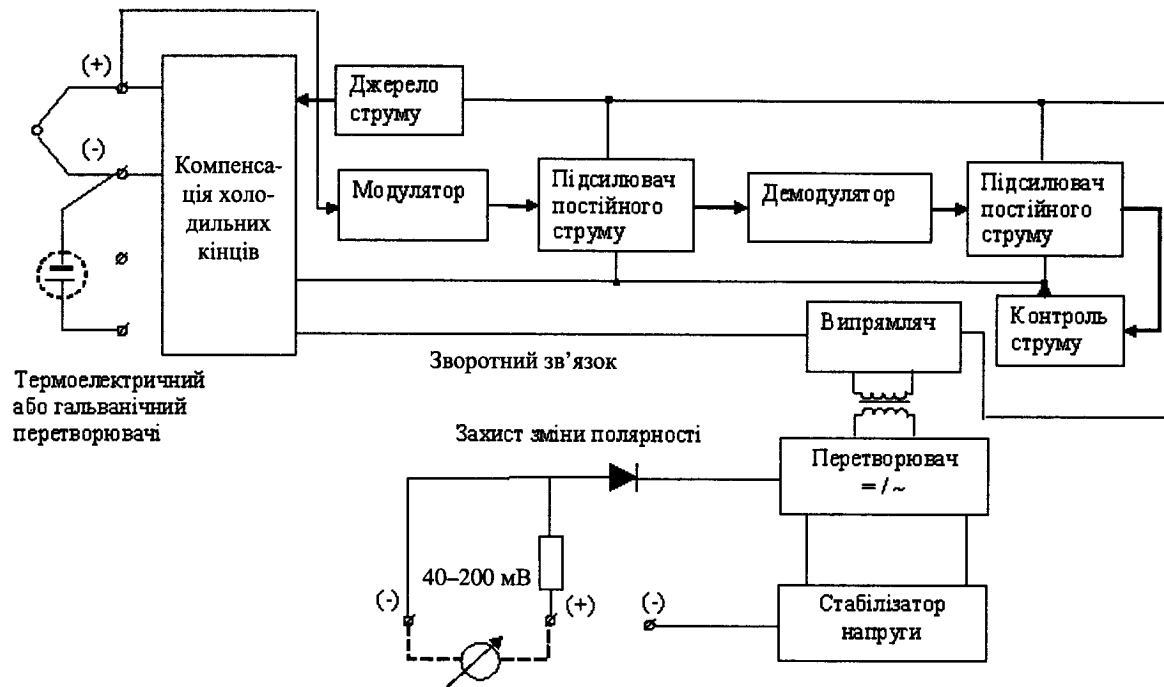


Рис. 2.23. Структурна схема уніфікуючого перетворювача термоелектричного термометра

Набагато складнішими є схеми інтелектуальних перетворювачів температури. Їхнє використання дає змогу значно збільшити точність вимірювання різних технологічних параметрів, похибка вимірювання становить 0,1–0,3 %. Перетворювачі побудовані на базі мікропроцесорної техніки і можуть бути під'єднані до ручних комунікаторів, комп'ютерів, вторинних приладів або регуляторів.

## 2.7. Вимірювання температури пірметрами випромінювання

Теплове випромінювання будь-якого тіла можна охарактеризувати кількістю енергії, що ним випромінюється з одиниці поверхні за одиницю часу, і яка припадає на одиницю діапазону довжин хвиль. Така характеристика являє собою спектральну щільність і називається інтенсивністю монохроматичного випромінювання. Закони температурного випромінювання визначені доволі точно лише для абсолютно чорного тіла. Для пірметрії вихідною залежністю, на основі якої розробляють методи вимірювань, є формула Планка, яка встановлює закон спектральної щільності величини випромінювання чорного тіла:

$$R_{\sigma\lambda} = c_1 \cdot \lambda^{-5} \cdot \left[ \exp\left(\frac{c_2}{\lambda \cdot T}\right) - 1 \right]^{-1}, \quad (2.11)$$

де  $R_{\sigma\lambda}$  – потік монохроматичного випромінювання за одиницю часу з одиниці поверхні тіла з довжинами хвиль від  $\lambda$  до  $\lambda+d\lambda$ ;  $T$  – абсолютна температура;  $c_1$  і  $c_2$  – сталі;  $\lambda$  – довжина хвилі;

$$c_1 = 2 \cdot \pi \cdot h \cdot c^2 = 3,7413 \cdot 10^{-16} \text{ Вт} \cdot \text{м}^2; \quad (2.12)$$

$$c_2 = h \cdot c / k = 1,438 \cdot 10^{-2}, \text{ м} \cdot \text{К}, \quad (2.13)$$

де  $h$  – стала Планка;  $k$  – стала Больцмана;  $c$  – швидкість світла у вакуумі.

Повне випромінювання за усією шкалою довжин хвиль знаходять інтегруванням, що приводить до відомого закону Стефана – Больцмана:

$$R_0 = \int_0^{\infty} R_{0\lambda} \cdot d\lambda = \sigma \cdot T^4 ; \quad (2.14)$$

$$\sigma = \frac{2 \cdot \pi^5 \cdot k^4}{15 \cdot h^3 \cdot c^2} = 5,6687 \cdot 10^{-8}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4). \quad (2.15)$$

Реальні фізичні тіла випромінюють енергію менш інтенсивно, ніж абсолютно чорне тіло. Тобто для всіх сірих тіл ступінь чорноти  $\epsilon_\lambda$  за конкретною довжиною хвилі дорівнюватиме

$$\epsilon_\lambda = R_\lambda / R_{0\lambda}, \quad (2.16)$$

де  $R_\lambda$  – спектральна енергетична яскравість сірого тіла (спектральна щільність величини випромінювання сірого тіла).

Ступінь чорноти сірих тіл становить  $0 < \epsilon < 1$ .

Наведені співвідношення показують, що температура абсолютно чорного тіла в ідеальному випадку (без врахування властивостей середовища, через яке проходить випромінювання) може бути знайдена за результатами вимірювань: інтенсивності сумарного за спектром потоку випромінювання  $R_0$  (радіаційні методи); інтенсивності квазіхроматичного випромінювання  $R_{0\lambda}$  у вузькому спектральному інтервалі  $\Delta\lambda$  (яскравісні методи); розподілення густини (щільності)  $R_{0\lambda}$  за різними довжинами хвиль  $\lambda$  (колірні методи).

Прилади для вимірювання температури, які ґрунтуються на використанні енергії випромінювання нагрітих тіл, називають пірометрами. Вони порівняно з іншими приладами мають такі переваги:

1) випромінювання здійснюється безконтактним способом – відповідно відсутнє спотворення температурного поля, зумовлене введенням перетворювача приладу у вимірюване середовище;

2) верхня межа вимірювання температури теоретично не обмежена ( $\sim 10^{12}$  К);

3) наявна можливість вимірювання високих температур газових потоків за високих швидкостей.

Промисловість випускає пірометри квазімонохроматичні (оптичні), повного випромінювання (радіаційні) та спектрального розподілення (колірні). Конструктивне виконання пірометрів дуже різноманітне. Деякі найтипівіші конструкції пірометрів розглядатимуться нижче.

Принцип дії квазімонохроматичних пірометрів ґрунтується на порівнянні яскравості монохроматичного випромінювання двох тіл: еталонного і тіла, температура якого вимірюється. Як еталонне тіло, переважно використовують нитку лампи розжарення, яскравість якої можна регулювати. На рис. 2.24 показана схема пірометра із зникаючою ниткою. У приладі яскравість досліджуваного тіла порівнюється з яскравістю нитки фотометричної лампи 4, яка вмонтована у телескоп 3, що має об'єктив 2 і окуляр 5.

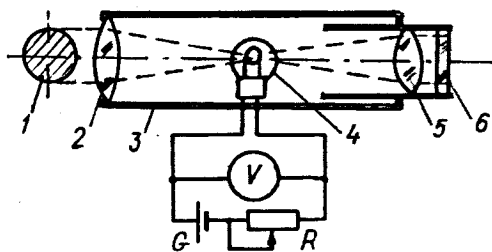


Рис. 2.24. Схема квазімонохроматичного (оптичного) пірометра із зникаючою ниткою

Під час вимірювання температури телескоп скеровують на досліджуване тіло 1 і домагаються чіткого зображення тіла і нитки розжарення лампи в одній площині. Потім, змінюючи яскравість нитки зміною струму через неї (або змінюючи яскравість зображення тіла за допомогою пересувного оптичного клина), домагаються однакової яскравості зображень нитки і досліджуваного об'єкта. Якщо яскравість тіла більша від яскравості нитки, то нитку видно як чорну лінію на яскравому фоні. У протилежному випадку видно свічення нитки на блідшому фоні. За рівності яскравостей нитку не видно, тому такі пірометри деколи називають пірометрами із зникаючою ниткою. Напруга розжарення нитки лампи характеризує температуру нагрітого тіла. Щоб інтенсивності випромінювання порівнювали у вузькому проміжку спектра, використовують світлофільтр 6.

У фотоелектричних квазімонохроматичних пірометрах як приймачі випромінювання застосовують фотодіоди і фоторезистори з яскраво вираженою спектральною чутливістю. Принцип дії таких



пірометрів ґрунтується на властивості фотоелемента змінювати фотострум залежно від інтенсивності світлового потоку, який на нього падає. Схема такого пірометра зображена на рис. 2.25.

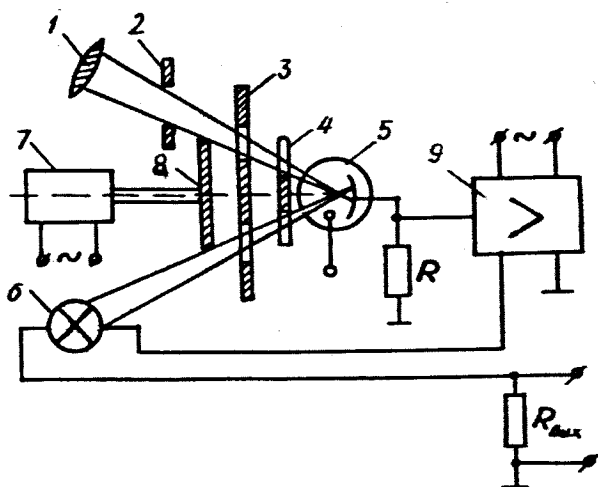


Рис. 2.25. Спрощена схема фотоелектричного пірометра

Процес вимірювання температури здійснюють автоматично. У цих пірометрах найчастіше використовують фотоелементи із зовнішнім фотоэффектом, у яких під дією світла виникає електричний струм (фотострум). Сам фотострум безпосередньо може бути мірою вимірюваної температури тіла, однак такі прилади не вирізняються високою точністю. Досконалішими є прилади, в яких фотоелемент використовують у нульовому режимі як пристрій для порівняння двох джерел випромінювання: вимірюваного тіла і регульованого джерела світла.

Зображення розпеченого тіла за допомогою об'єктива 1 і діафрагми 2 створюється в площині одного із отворів діафрагми 3, розташованої перед фотоелементом 5. Через другий отвір діафрагми 3 фотоелемент освітлюється регульованим джерелом світла – електричною лампою 6. Перед фотоелементом розташовано червоний світлофільтр 4.

Фотоелемент почергово з частотою у 50 Гц освітлюється то вимірюваним тілом, то лампою. Почерговість освітлення створюється заслінкою 8, що коливається, і модулятором світла 7 вібраційного типу. Обидва світлові потоки, які потрапляють на фотоелемент, змінюються в протифазі за синусоїдальним законом, що досягається спеціальним профілюванням заслінки і отворів.

На виході фотоелемента виникає фотострум, величина якого визначається освітленістю від лампи і тіла. За нерівності цих освітленостей у колі фотоелемента виникає змінна фотоструму, що збігається за фазою або з фотострумом тіла, або з фотострумом від лампи. Змінна складова фотоструму підсилюється електронним підсилювачем 9, що має фазочутливу систему. Вихідний сигнал підсилювача керує колом живлення лампи 6. Сила струму розжарення лампи змінюватиметься до того часу, доки освітленості від вимірюваного тіла і лампи не зрівняються, і змінна складова фотоструму не дорівнюватиме нулю. У такий спосіб, сила струму у лампі буде пов'язаною з яскравістю випромінювання вимірюваного тіла.

Сила струму, що живить лампу, вимірюється швидкодіючим автоматичним потенціометром за величиною спаду напруги на опорі  $R_{\text{вих}}$  у колі лампи. Потенціометр градуують у градусах яскравості температури. За вимірювання температури, вищої від допустимої для лампи 6 (1400–1500 °C), вводиться послаблюючий світлофільтр, який уможливає доведення границі вимірювання до 4000 °C. Пірометри типу ФЕП випускають одношкальними – для вимірювання температури від 600 до 2000 °C, і двошкальними – для вимірювання вищих температур.

У будівництві пірометри використовують для контролю температури нагрівання кінців арматурних стержнів на верстатах для видавлювання анкерних головок. На таких верстатах здебільшого використовують фотоелектричні пірометри. Кінець стержня нагрівають електричним струмом до температури 1000...1100 °C на проміжку, який дорівнює п'яти діаметрам арматури.

Конструктивно простішими є пірометри повного випромінювання (радіаційні). Вони вимірюють температуру за потужністю випромінювання нагрітого тіла, причому використовується не менше 90 % сумарного потоку випромінювання джерела. Схема такого приладу показана на рис. 2.26.

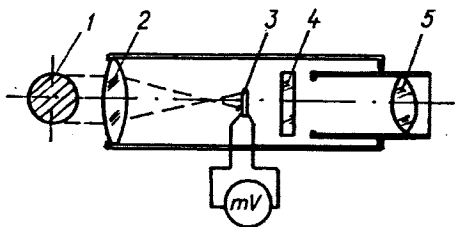


Рис. 2.26. Схема пірометра повного випромінювання (радіаційного)

Всередині телескопа, що має об'єктив 2 і окуляр 5, розташовано термопарею 3 із послідовно увімкнених термопар. Робочі кінці термопар знаходяться на платиновій пелюстці. Термопарея нагрівається, і в ній виникає ЕРС, пропорційна до значення повної енергії випромінювання. Для наведення різкості на об'єкт 1 використовують окуляр 5 з димчастим світлофільтром 4. Відліковим пристроєм є мілівольтметр, проградуїований в одиницях температури. Межі вимірювання таких пірометрів – 1000...2000 °С, похибка становить 1 %. Такі пірометри широко використовують як первинні перетворювачі в системах автоматичного регулювання різноманітних високотемпературних технологічних процесів і часто оснащують нормуючими перетворювачами вихідного сигналу.

Крім окремих пірометрів, промисловість налагодила випуск агрегатного комплексу стаціонарних пірометричних перетворювачів і пірометрів випромінювання АПІР-С, що являє собою сукупність пірометричних перетворювачів, вторинних вимірювальних перетворювачів, і необхідних для забезпечення їх роботи допоміжних пристроїв, які об'єднано в уніфіковані параметричні ряди перетворювачів (табл. 2.21).

Пірометричні перетворювачі комплексу АПІР-С належать до пристроїв одержання інформації, і призначені як для комплектування автоматизованих систем керування технологічними процесами, так і для створення локальних приладів і систем вимірювання, контролю та регулювання температури.

Номінальний діапазон вимірювання для комплексу з пірометричним термоелектричним перетворювачем повного випромінювання становить 300–2500 °С; з пірометричним перетворювачем часткового випромінювання фотодіодним – 450–2500 °С. Деякі прилади

мають лазерне наведення на об'єкт і можуть знаходитися від нього на відстані до 15 м.

Таблиця 2.21

**Технічні характеристики  
пірометричних перетворювачів і пірометрів**

Тип і модифікація приладу	Межі вимірювання, °С	Допустима похибка, %	Час встановлення показів, с	Коротка технічна характеристика
Смотрич-2-3-07 Смотрич-2-3-08 Смотрич-3-2	300–2200 300–2200 800–3500	1,0; 1,5; 2,0; 2,5 = « =	0,25 0,1; 1,0 0,01; 0,1	Функціональні особливості визначають складом окремих блоків
Смотрич-4ПМ1 Смотрич-5ПМ1 Смотрич-М6П	0–1400 800–2000 -35–1100	1,0; 1,5; 2 1,0 1,0	1,5 1,0 2,0	Переносні з цифровим відліком
Веселка 5-1 Веселка 5-2 Веселка 5-3	500–800 700–1100 900–1400	1,5 1,0 1,0	0,5 0,5 0,5	Спектрального відношення з вихідним сигналом 0–5 мА
Спектропир 10-001 = « = 10-002 = « = 10-003 Комплект-1	500–700 600–1000 900–1300 30–1100 300–2500	1,0; 1,5   1,0	0,05   ≥1,0	Стационарний перетвор. з уніфікованим вихідним сигналом 0–5 мА, 0–10 мВ; 0–10 В

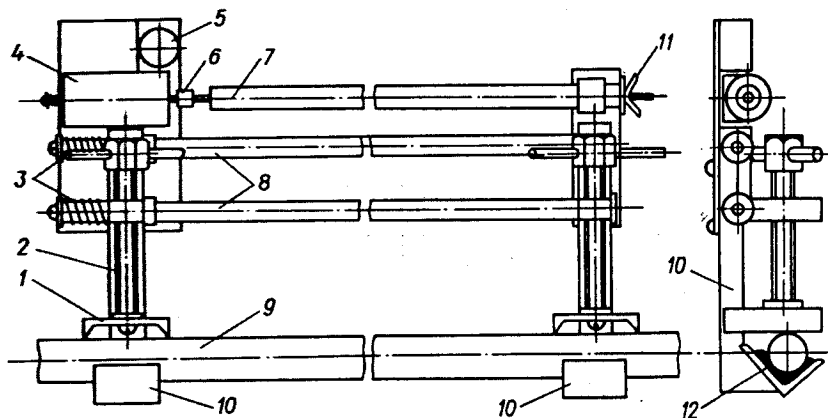
**2.8. Вимірювання і контроль температури арматури під час її електротермічного напруження**

Під час електротермічного напруження арматури контроль температури нагрівання арматури є обов'язковим. Максимальна температура нагрівання стержневої арматури залежить від марки сталі і знаходиться у межах 450–550 °С. За підвищення температури вище від допустимої знижуються механічні характеристики

арматурної сталі. Для контролю і вимірювання температури арматури застосовують прилади, які забезпечують похибку, не більшу за  $\pm 20^\circ\text{C}$ .

В розділі 2.4 описано спосіб контролю та вимірювання температури арматури за допомогою спеціальної поверхневої термопари. Але за нагрівання арматури великих діаметрів (25–36 мм) і високих швидкостей піднімання температури поверхнева термопара даватиме похибку вимірювання більшу за допустиму. Це зумовлено тим, що температура за поперечним перерізом стержня розподіляється нерівномірно – в центрі вона більша, ніж на поверхні.

Достатню точність у цьому випадку можна одержати, якщо контроль температури здійснювати за величиною температурних деформацій арматури. Під час нагрівання арматури в умовах будівельного майданчика використовують спеціальний перетворювач переміщення, який кріпиться безпосередньо на стержні. Конструкція перетворювача зображена на рис. 2.27.



*Рис. 2.27. Конструкція перетворювача переміщення:*

- 1 – верхня пластина затискача; 2 – затискний гвинт; 3 – пружини;*
- 4 – диференційно-трансформаторний перетворювач; 5 – контактний рознім;*
- 6 – осердя перетворювача; 7 – трубчаста тяга; 8 – напрямні тяги;*
- 9 – арматура; 10 – нижня частина затискача; 11 – коригуюча гайка;*
- 12 – термоізоляція*

Перетворювач переміщення складається із диференційно-трансформаторного перетворювача і двох затискачів, поєднаних тягами. Для його виготовлення диференційно-трансформаторний перетворювач беруть із відповідного блока приладу КСД2. На нього зовсім не впливає електромагнітне поле, що виникає навколо арматури під час проходження нею струму. Віддаль між затискачами – 0,5 м. До першого затискача прикріплено перетворювач, осердя якого з'єднане тягою із другим затискачем. Віддаль між затискачами витримують завжди постійною.

Під час нагрівання арматура видовжується і збільшує віддаль між затискачами. Це зумовлює переміщення осердя диференційно-трансформаторного перетворювача, в результаті чого у ньому виникає електричний сигнал, який надходить у вимірювальний блок пристрою для контролю і керування процесом нагрівання 10 (див. рис. 2.12). Далі схема працює так, як описано в розділі 2.4. Пристрій змонтовано в приладі типу КСД2.

Принципова схема устави для нагрівання стержневої арматури в умовах будівництва зображена на рис. 2.28. Згідно з вимогами до нагрівальних устав керування їхньою роботою необхідно здійснювати в ручному і автоматичному режимах. Вимірювальний блок пристрою керування використовують для вимірювання і контролю температури нагрівання арматури.

Перед нагріванням уставу і схему підготовляють до роботи. При цьому перемикачем SA1 встановлюють розраховану величину напруги на вторинній обмотці нагрівального трансформатора TV. На регуляторі пересувними контактами задавача SK<sub>мін</sub> і SK<sub>макс</sub> виставляють необхідні межі контролю і регулювання температури арматури і вибирають режим роботи уставу. В ручному режимі вимикачем SA4 подають напругу на магнітний пускач KM1, який спрацьовує, і замикаючими контактами під'єднує нагрівальний трансформатор до мережі. Величина температури нагрівання арматури відображається і реєструється на вимірювальному блоці пристрою керування, який у цьому режимі участі в керуванні не бере. Після досягнення заданої температури нагрівання арматури вимикачем SA4 розривають коло живлення магнітного пускача KM1.

Автоматичний вимикач QF використовують для під'єднання устави до мережі і захисту всієї схеми від струмів короткого замикання.

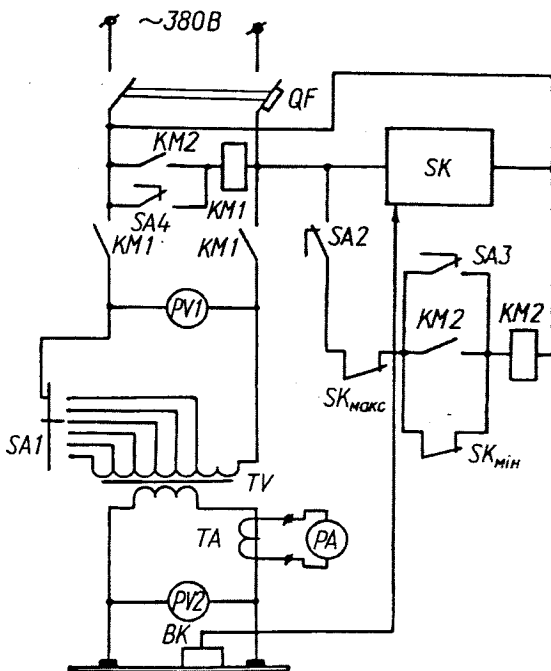


Рис. 2.28. Принципова електрична схема устави для нагрівання арматури в умовах будівництва:

SK – регулятор температури; BK – перетворювач температури;  
 TA – трансформатор струму; TV – нагрівальний трансформатор;  
 QF – автоматичний вимикач; KM1 – магнітний пускач;  
 KM2 – проміжне реле; SA1 – перемикач вторинної напруги;  
 PV1, PV2 – вольтметри; PA – амперметр

В автоматичному режимі керування роботою устави здійснює пристрій керування SK, який змонтований у вторинному приладі. Після закріплення перетворювача температури на арматурі і налагодження устави вимикачем SA2 вмикають нагрів. Оскільки температура арматури менша від заданої, то контакти блока керування пристроєм замкнуті, реле KM2 спрацьовує і замикає контакти у

власному колі живлення, блокуючи тим самим контакти  $SK_{\text{мін}}$  і SA3, та включає магнітний пускач KM1. Останній замикаючими контактами KM1 подає напругу на нагрівальний трансформатор TV.

У процесі нагрівання температура арматури підвищується. Під час досягнення заданої температури нагрівання арматури контакти  $SK_{\text{макс}}$  розмикаються, реле KM2 знеструмується і розмикає контакти в колі живлення магнітного пускача KM1, який відключає нагрівальний трансформатор TV від мережі. Вимикачем SA2 вмикають пристрій керування, після чого здійснюють вкладання і анкерування арматури.

Якщо вкладання і анкерування арматури затримується або ведуться роботи для її анкерування, то пристрій керування підтримуватиме температуру арматури на заданому рівні (здійснюватиме двопозиційне регулювання) в діапазоні, встановленому задавачем блока регулювання. Найменший діапазон становить 10 °C. Регулювання відбувається в такий спосіб. Після відключення трансформатора арматура охолоджуватиметься. Це приведе до зменшення сигналу перетворювача, що, своєю чергою, спричинить переміщення стрілки вторинного приладу і перемикання контактів блока керування в колі живлення реле KM2. Спочатку замикаються контакти  $SK_{\text{макс}}$ , а пізніше контакти  $SK_{\text{мін}}$ , і цикл нагрівання повториться. Він повторюватиметься до того часу, поки вимикачем SA2 не виключать схему керування.

За необхідності жорстко утримувати температуру арматури на заданому рівні вимикачем SA3 щунтують контакти  $SK_{\text{мін}}$  і KM2. Тоді керування нагріванням здійснюють контакти  $SK_{\text{макс}}$ , які уможливають вмикання нагрівання за зменшення температури арматури на 5 °C від заданої. Така сама схема використовується і під час контролю температури арматури за допомогою термоелектричного перетворювача. В цьому разі усю схему монтують в автоматичних потенціометрах або в приладах слідкуючого зрівноважування типу РП160.

На заводах залізобетонних виробів арматуру для попередньо напружених конструкцій нагрівають на спеціальних уставах. Температуру нагрівання контролюють також за величиною температурної деформації (видовження нагрітої частини) стержня. Для цього один контактний затискач (рис. 2.29) роблять рухомих на спеціальних



шарнірах. Арматура під час нагрівання видовжується і переміщає важіль кінцевого вимикача, який відключає нагрівальний трансформатор від мережі.

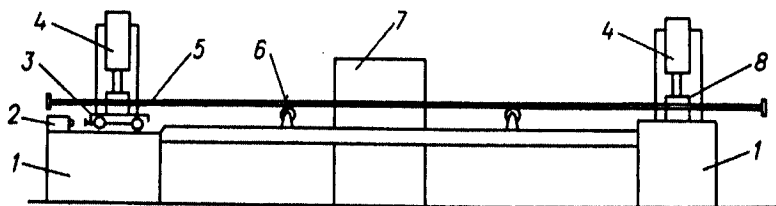


Рис. 2.29. Устава типу СМЖ-129Б для нагрівання арматури:  
 1 – опори; 2 – кінцевий вимикач; 3 – рухома контактна опора;  
 4 – пневмоциліндри для затискування контактів;  
 5 – арматурний стержень; 6 – опорний ролик; 7 – нагрівальний трансформатор; 8 – нерухома контактна опора

Електрична схема устави зображена на рис. 2.30. Автоматичним вимикачем SF схему приєднують до мережі напругою 380 В. Кнопкою SB2 вмикають проміжне реле КМ1, яке своїми замикаючими контактами блокує кнопку SB2 і вмикає реле часу КТ та електромагніт КМ2 пневмоклапана пневмоциліндрів. Уставка реле часу вибирається такою, щоб пневмоциліндри встигли привести в дію контактні затискачі і щільно затиснути арматуру. Після проходження цього часу реле часу своїми контактами вмикає магнітний пускач КМ3, який під'єднує нагрівальний трансформатор до мережі. Арматура, нагріваючись, видовжується і переміщає рухомий контактний затискач, який давить на важіль кінцевого вимикача SQ, і він розмикає контакти в колі проміжного реле КМ1. Схема знеструмується і підготовляється до повторного пуску. Вольтметри PV1 і PV2 та амперметри PA1 і PA2 реалізують вимірювання величин первинних і вторинних напруг та струмів.

Такий спосіб контролю має низку недоліків і вимагає точного розрахунку величини деформації арматури під час нагрівання. Значення фактичної температури арматури нічим не контролюється і не реєструється, тому часто на виробництві здійснюють повторне нагрівання, коли арматуру не встигли вкласти у форму або закріпити

іншим способом, що заборонено чинними нормативними документами. Повторне нагрівання арматури допускається тільки за повного охолодження арматури до температури довкілля.

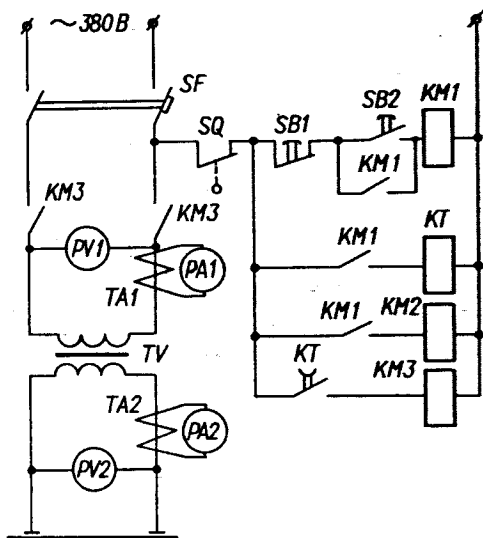
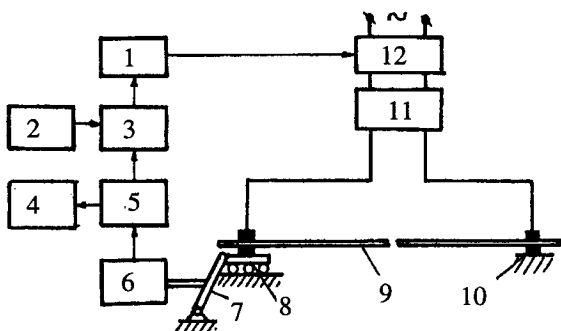


Рис. 2.30. Принципова електрична схема устатку для нагрівання арматури

Під час організації виробництва із застосуванням електро-термічного попереднього напруження залізобетонних конструкцій, усі технологічні операції повинні супроводжуватися систематичним поопераційним контролем якості виконання робіт (температури нагрівання арматури, якості зварювальних робіт, величини попереднього напруження тощо). Усі дані поопераційного контролю реєструють у спеціальному журналі. Тому нормативні документи рекомендують ширше використовувати сучасні засоби автоматизації та мікропроцесорної техніки, що уможливають документувати результати вимірювань і контролю.

Для ліквідації вказаних недоліків контроль температури арматури здійснюють за допомогою складніших пристроїв, перетворюючи переміщення рухомої опори у електричний сигнал (рис. 2.31).

Цей сигнал подається у вимірювальний блок і використовується для роботи схеми. Контакти реле блока керування увімкнуті в коло керування нагріванням замість контактів кінцевого вимикача. Така схема уже не допускає неконтрольованого повторного нагрівання арматури, оскільки температура фіксується реєструючим пристроєм вторинного приладу вимірювального блока.

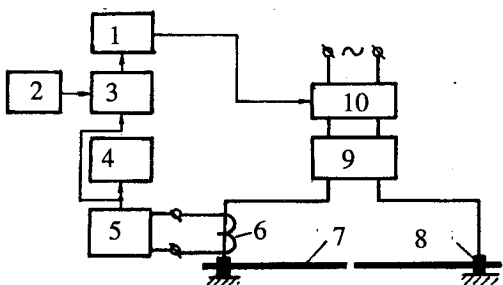


*Рис. 2.31. Структурна схема пристрою для контролю температури нагрівання стержневої арматури на спеціальній установі:*

- 1 – блок керування; 2 – задавач; 3 – блок порівнювання;*
- 4 – вимірювальний блок (вторинний прилад); 5 – уніфікуючий перетворювач;*
- 6 – первинний перетворювач переміщення; 7 – тяга із шарніром;*
- 8 – рухомий контактний затискач; 9 – арматура;*
- 10 – нерухомий контактний затискач; 11 – нагрівний трансформатор;*
- 12 – блок комутації і захисту*

Здебільшого під час нагрівання стержневої або гнучкої арматури в каналах або важкодоступних місцях контроль температури нагрівання доцільно здійснювати за величиною струму нагріву. Похибка вимірювань при цьому буде не більшою, ніж 3–4 %. Такою великою похибка є через складність розрахунку величини струму нагріву та збурень, які впливають на технологічний процес.

Для контролю використовують пристрій, який складається із перетворювача струму, вимірювального блока, нормуючого перетворювача, задавача, блока порівнювання і блока керування (рис. 2.32). Робота пристрою ґрунтується на вимірюванні зміни струму під час нагрівання арматури.



*Рис. 2.32. Структурна схема пристрою для контролю температури арматури, яку нагрівають у закритих каналах:*

- 1 – блок керування; 2 – задавач; 3 – блок порівняння;  
4 – вимірювальний блок; 5 – уніфікуючий перетворювач;  
6 – струмовий перетворювач; 7 – арматура; 8 – контактний затискач;  
9 – нагрівний трансформатор; 10 – блок комутації і захисту*

Перед нагріванням арматури задавач пристрою налагоджують на необхідну температуру, а потім вмикають струм. Сигнал із перетворювача надходить на вимірювальний блок. За величиною цього сигналу визначається температура арматури. Значення сигналу перетворюється в уніфікований сигнал, який надходить у блок порівняння і використовується для подальшої роботи схеми. Досягнувши заданої температури арматури, блок керування за допомогою блока комутації і захисту відключить нагрівальний трансформатор від мережі.

Первинним перетворювачем у такій системі керування є трансформатор струму, і в основу його роботи покладено залежність між струмом нагрівання арматури та її температурою. За збільшення температури арматури струм нагрівання зменшується, але не за лінійним законом, і це зумовлює підвищені похибки вимірювання. Використання реєструючих приладів дає змогу записувати процес нагрівання на діаграмній стрічці, що уможливило контролювати якість процесу та документувати його перебіг.

У технології електротермічного способу напруження стержневої арматури відомі й інші способи контролю температури нагрівання арматури (наприклад, за допомогою спеціальних фарб, що змінюють свій колір за певної температури), але усі вони з різних причин не знайшли широкого використання у технологічних процесах.

## Розділ 3

# ВИМІРЮВАННЯ І КОНТРОЛЬ ТИСКУ

### 3.1. Класифікація методів та приладів для вимірювання тиску

Під тиском розуміють відношення величини зусилля, яке рівномірно розподілене площиною, до площі, на яку діє це зусилля:

$$P = N/S, \quad (3.1)$$

де  $N$  – зусилля,  $N$ ;  $S$  – площа, на яку діє зусилля,  $m^2$ .

У міжнародній системі SI за одиницю тиску прийнято паскаль, тобто дію сили в 1 ньютон на площу в  $1 m^2$  –  $1 Pa = 1 N/m^2$ . Оскільки ця одиниця дуже мала, то для практичних вимірювань використовують похідні – кілопаскаль ( $kPa = 10^3 Pa$ ) і мегапаскаль ( $MPa = 10^3 kPa = 10^6 Pa$ ). В техніці вимірювань дуже часто використовують також позасистемні одиниці: технічну атмосферу ( $1 атм = 1 кгс/см^2$ ), міліметр водяного стовпа ( $1 мм вод. ст.$ ), міліметр ртутного стовпа ( $мм рт. ст.$ ), бар:

$$1 кгс/см^2 = 10^4 кгс/м^2 = 10^4 мм вод. ст. = 785,6 мм рт. ст. = 9,81 \cdot 10^4 Pa.$$

$$1 кгс/см^2 = 98066,5 Pa;$$

$$1 мм вод. ст. = 9,80665 Pa;$$

$$1 мм рт. ст. = 133,332 Pa;$$

$$1 бар = 10^5 Pa.$$

Розрізняють такі види тисків: барометричний – атмосферний тиск оточуючого повітря ( $P_{ат}$ ); надлишковий (манометричний) – тиск, який більший від атмосферного тиску всередині апарата ( $P_{н.}$ ); абсолютний – дійсний тиск всередині апарата ( $P_{абс}$ ). Тиск, який

менший від атмосферного, називають розрідженням, а глибоке розрідження – вакуумом:

$$P_{\text{абс}} = P_{\text{ат}} + P_{\text{н}}. \quad (3.2)$$

За принципом дії прилади для вимірювання тиску поділяють на:

- рідинні, які ґрунтуються на зрівноважуванні вимірюваного тиску тиском відповідного стовпа рідини;
- деформаційні, які виміряють тиск за величиною деформації різноманітних пружних елементів або розвинутою ними силою;
- вантажопоршневі, в яких вимірюваний тиск зрівноважується силою, що діє на поршень;
- електричні, які ґрунтуються або на перетворенні тиску в одну із електричних величин, або на вимірюванні електричних властивостей матеріалу під дією тиску.

За видом вимірюваної величини прилади для вимірювання тиску поділяють на:

- манометри – прилади для вимірювання абсолютного і надлишкового тисків;
- вакуумметри – прилади для вимірювання вакууму;
- мановакуумметри – прилади для вимірювання надлишкового тиску і вакууму;
- диференційні манометри – прилади для вимірювання різниці двох тисків, жоден з яких не є тиском оточуючого середовища;
- барометри – прилади для вимірювання атмосферного тиску;
- напороміри (мікроманометри) – прилади для вимірювання малих надлишкових тисків;
- тягоміри (мікроманометри) – прилади для вимірювання малих розріджень;
- тягонапороміри (мікроманометри) – прилади для вимірювання малих тисків і розріджень.

За призначенням прилади для вимірювання тиску поділяють на:

- робочі манометри, які використовуються для безпосереднього вимірювання тиску;
- контрольні, що слугують для верифікації робочих манометрів;

- взірцеві манометри, які використовують для верифікації контрольних і робочих манометрів;
- еталонні прилади, які зберігають розмір одиниці тиску, і використовуються лише для її відтворення.

Еталонами тиску є п'ять державних еталонів для таких меж вимірювань:

- малих абсолютних тисків  $10^{-3}$ – $10^3$  Па;
- середніх абсолютних тисків  $2,7 \cdot 10^2$ – $4 \cdot 10^5$  Па;
- середніх надлишкових тисків  $10^5$ – $2,5 \cdot 10^8$  Па;
- високих надлишкових тисків до  $4 \cdot 10^9$  Па;
- малих різниць тисків  $0,1$ – $4 \cdot 10^4$  Па.

У подальших розділах розглядатимуться конструкції та принципи роботи переважно тих приладів для вимірювання тиску, які широко застосовують для автоматизації цього процесу у виробництві будівельних матеріалів і конструкцій.

### 3.2. Рідинні манометри

Такі прилади використовують для вимірювання малих тисків (до  $20 \cdot 10^4$  Па). Їх поділяють на: з U-подібною трубкою, чашкові, з похилою трубкою, кільцеві, поплавкові та ковпакові. Ці прилади відрізняються простотою конструкції та порівняно високою точністю вимірювань.

Найпростіший рідинний манометр – це прилад з U-подібною трубкою (рис. 3.1). Вимірюваний тиск (розрідження)  $P_1$  в ньому зрівноважується гідростатичним тиском стовпа рідини згідно з рівнянням

$$P_1 = \gamma \cdot h . \quad (3.3)$$

Оскільки питома вага рідини  $\gamma = \text{const}$ , то мірою тиску є висота стовпа рідини  $h$ . Так само працюють чашкові і мікроманометри з похилою трубкою.

Поплавковий манометр (рис. 3.2) являє собою металевий U-подібний манометр, в одному з колін якого розміщено плаваючий поплавок. Переміщення поплавка, зумовлене зміною вимірю-

ваного тиску (розрідження), передається на записувальний механізм або на механізм, що показує.

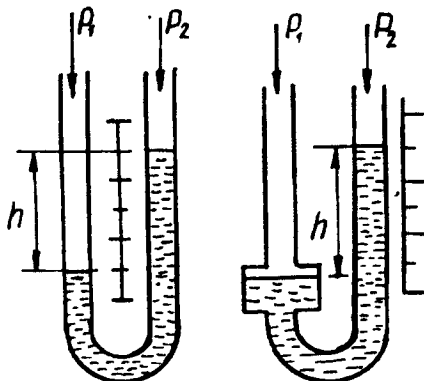


Рис. 3.1. U-подібний та чашковий рідинні манометри

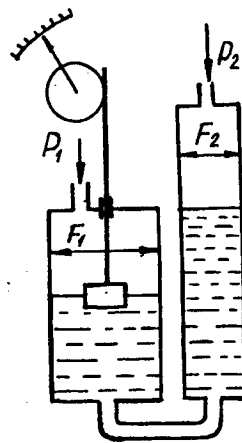


Рис. 3.2. Схема роботи поплавкового рідинного манометра

Залежність між вимірюваним тиском  $P_1$  і переміщенням поплавка  $h$  має такий вигляд:

$$P_1 = \gamma \cdot h \cdot (1 + F_1/F_2), \quad (3.4)$$

де  $F_1$  і  $F_2$  – площа поперечного перерізу поплавкового і другого колін манометра;  $\gamma$  – питома вага рідини.

Часто переміщення поплавка перетворюють в електричний сигнал за допомогою диференційно-трансформаторного або реостатного перетворювачів. Для вимірювання тиску в цих випадках застосовують автоматичні вторинні прилади.

У ковпаковому манометрі (рис. 3.3) чутливим елементом є посудина (ковпак), що плаває в рідині. Положення дна ковпака залежить від різниці тисків  $\Delta P$ , які діють над ковпаком і під ним. Рівняння залежності різниці тисків  $\Delta P$  і переміщення ковпака  $h$  виводять із умови рівноваги сил, які діють на ковпак:

$$\Delta P = \gamma \cdot h \cdot f/F, \quad (3.5)$$



де  $F$  – площа внутрішнього перерізу ковпака;  $f$  – площа поперечного перерізу стінок ковпака.

Величина  $f/F$ , як правило, невелика, що істотно підвищує чутливість приладу.

У кільцевому манометрі (рис. 3.4) основним елементом є зігнута в кільце трубка. Порожнина трубки знизу заповнюється водою або ртуттю. У верхній частині кільце розділено перетинкою. Кільце підвішене у своєму геометричному центрі і може повертатися на деякий кут під дією різниці вимірюваних тисків, що підводяться гнучкими трубками. Прикріплена знизу протизвага  $G$  створює необхідний протидійний момент.

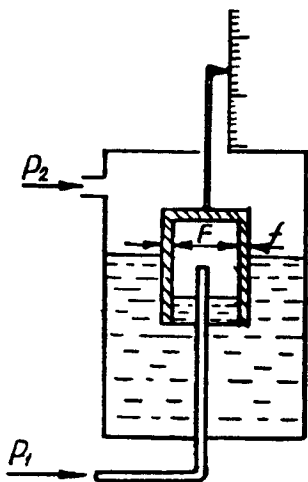


Рис. 3.3. Схема роботи ковпакового манометра

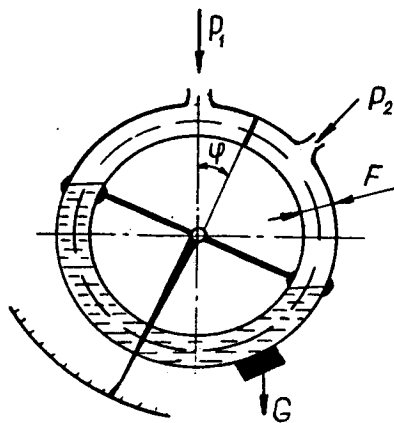


Рис. 3.4. Схема роботи кільцевого манометра

Залежність між вимірюваною різницею тисків  $\Delta P$  і кутом повертання кільця має такий вигляд:

$$\Delta P = \frac{(G \cdot \alpha) \cdot \sin \varphi}{F \cdot R}, \quad (3.6)$$

де  $F$  – площа поперечного перерізу кільця;  $R$  – середній радіус кільця;  $G$  – вага кільця разом із протизвагою (без рідини);  $\alpha$  –

віддаль від центра ваги противаги  $G$  до геометричного центра кільця;  $\varphi$  – кут повертання кільця.

Діапазон вимірювань кільцевого манометра обмежується розмірами кільця. В певних межах діапазон вимірювання може бути змінено за допомогою зміни противаги.

На відміну від ковпакових і поплавкових манометрів кільцевий манометр не має похибки, зумовленої зміною температури, оскільки кут повертання кільця не залежить від кількості і густини зрівноважувальної рідини

### 3.3. Деформаційні прилади для вимірювання тиску

Для вимірювання тиску або різниці тисків у будівництві найширше застосовують деформаційні (з пружним чутливим елементом) прилади. Принцип роботи цих приладів полягає у зрівноважуванні дії вимірюваного тиску дією сили, яка утворюється за рахунок пружної деформації спеціальних чутливих елементів. Ця деформація перетворюється передавальними механізмами в кутове або лінійне переміщення, яке легко можна перетворити в електричний сигнал за допомогою різноманітних перетворювачів.

Найчастіше застосовують манометри з трубчастою пружиною (рис. 3.5). Чутливим елементом таких приладів є зігнута дугою і запаяна з одного кінця трубка еліптичного або овального перерізу. Відкритим кінцем трубку через держак 2 і ніпель 1 приєднують до джерела вимірюваного тиску. Вільний (запаяний) кінець 8 трубки 7 через передавальний механізм з'єднаний із віссю 6 стрілки 4, яка переміщається щодо шкали манометра.

Трубки манометрів, розраховані на тиск до 500 кПа, виготовляють із міді, а для манометрів більшого тиску – із сталі. Межі вимірювання манометра вибирають із ряду: 1; 1,6; 2,5; 4 і  $6 \cdot 10^n$ , де  $n$  – будь-яке ціле додатне або від'ємне число.

Градування і верифікацію манометрів здійснюють за допомогою вантажопоршневого манометра (рис. 3.6). Він являє собою

гідравлічну систему, тиск у якій створюється поршнем 1 у циліндрі 2. Поршень завантажують важками 3. Тиск в цьому випадку можна визначити за формулою

$$P = G / S_1, \quad (3.7)$$

де  $P$  – тиск, що створюється поршнем;  $G$  – вага поршня з важками;  $S_1$  – площа поперечного перерізу поршня.

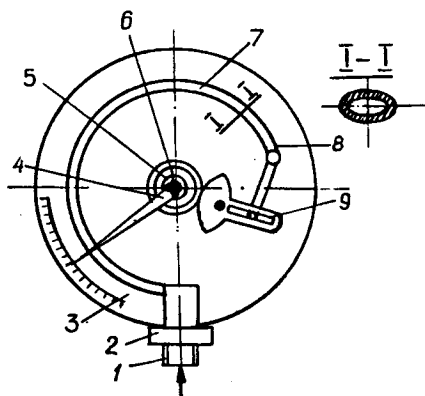


Рис. 3.5. Схема манометра з одновитковою трубчастою пружиною:  
1 – ніпель; 2 – держак; 3 – корпус; 4 – стрілка; 5 – передавальний механізм;  
6 – вісь; 7 – трубчаста пружина; 8 – запаяний кінець трубки; 9 – важіль

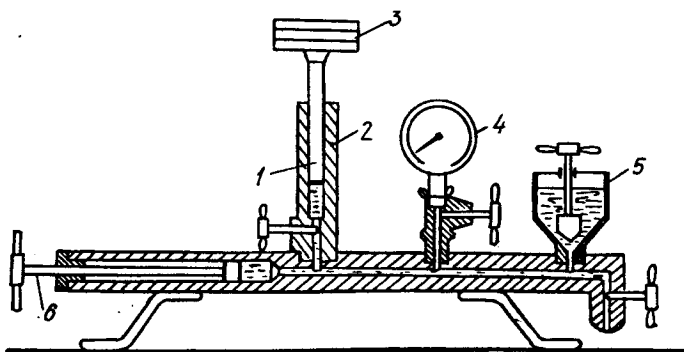


Рис. 3.6. Схема роботи вантажопоршневого манометра:  
1 – робочий поршень; 2 – циліндр; 3 – важки; 4 – верифікований манометр;  
5 – лійка; 6 – допоміжний поршень

Для регулювання висоти поршня з важками використовується допоміжний поршень 6, який витісняє оливу із свого циліндра у циліндр 2. Тиск передається на манометр 4, який верифікують. Для верифікації заданої точки шкали манометра 4 вираховують вагу  $G$  і кладуть на полицю поршня 1 відповідний цій вазі вантаж важками. При цьому поршень трохи опуститься, і його на задану висоту знову підіймають поршнем 6. Клас точності таких приладів – 0,05 і 0,2.

За принципом деформації трубчастої пружини працюють також вакуумметри і мановакуумметри. Такі прилади поділяють на робочі, контрольні і взірцеві.

Робочі прилади використовують для вимірювання тиску рідини, газу або пари у виробничих умовах. Клас точності цих приладів – 2,5 або 1,6.

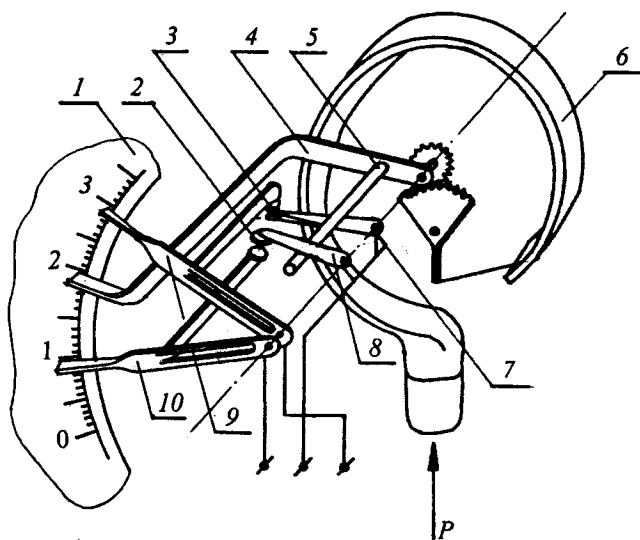
Контрольні манометри мають клас точності 0,6 або 1,0 і призначені для верифікації робочих манометрів і вакууметрів на місці їхнього встановлення.

Взірцеві манометри і вакуумметри призначено для верифікації робочих і контрольних манометрів у лабораторних умовах і для високоточних вимірювань тиску в спеціальних дослідженнях. Клас точності цих приладів – 0,16; 0,25; 0,4.

Промисловість налагодила виробництво пружинних манометрів з вмонтованими електроконтактними пристроями для позиційного регулювання або сигналізації (манометри типу ЕКМ – рис. 3.7). За досягнення заданого тиску електричне коло замикається внаслідок контактування стрілки приладу і двох пересувних вказівників (контактів). Ці вказівники на будь-які два значення тиску в межах шкали приладу встановлюють спеціальним ключем. Під час переходу стрілки приладу за більше або менше із встановлених значень тиску відповідний контакт замикається і залишається в замкнутому стані, а вказівна стрілка може рухатись далі. В діапазоні між установленими граничними значеннями тиску електричне коло буде розімкнено.

Деякі типи приладів дають змогу вимірювати і записувати виміряний параметр на дисковій діаграмі. Дискова діаграма приводиться в рух за допомогою синхронного мікродвигуна (манометри типу МТС-711, мановакуумметри МВТС-711, вакуумметри ВТС-711)

або годинникового механізму з восьмидобовим заведенням і часом одного повного оберту 12 чи 24 год (МТС-712, МВТС-712, ВТС-712).



*Рис. 3.7. Кінематична схема електроконтактного манометра:*

- 1 – шкала; 2 – нерухомий контакт мінімального значення; 3 – нерухомий контакт максимального значення; 4 – стрілка манометра; 5 – важіль; 6 – манометрична пружина; 7 – рухомий контакт максимального значення; 8 – рухомий контакт мінімального значення; 9 – стрілка вказівника задавача максимального значення; 10 – стрілка вказівника задавача мінімального значення*

У мембранних манометрах чутливим елементом є кругла гофрована пластина (мембрана), затиснута по колу між двома чашечками (рис. 3.8). Прогин центра мембрани пропорційний до величини вимірюваного тиску. Його з'єднано передавальним механізмом із стрілкою приладу. Мембранні манометри використовують для вимірювання тиску, не більшого за 300 кПа. Їх зручно використовувати для вимірювання тиску в'язких і агресивних середовищ.

У системах контролю і сигналізації використовується велика кількість різноманітних реле тиску, які перетворюють тиск у

механічне переміщення, що використовується для перемикання контактів. Як чутливі елементи в таких реле використовують мембрани, сильфони або трубчасті пружини. Конструкція такого реле з мембранною пружиною показана на рис. 3.9, а. Тиск, що сприймається мембраною 1, за допомогою штока 2 передається контактному пристрою 5. За допомогою регулюючої гайки 3 можна змінювати натяг пружини 4, тобто забезпечувати налагодження реле на необхідний тиск. Розширення меж контролю здійснюється змінюючи пружини 4 на більш жорстку, або навпаки. Статична характеристика реле показана на рис. 3.9, б. Межі налагодження ( $P_{нал.}$ ) таких реле можуть бути: 50–100 кПа; 100–400 кПа; 0,5–1 МПа тощо.

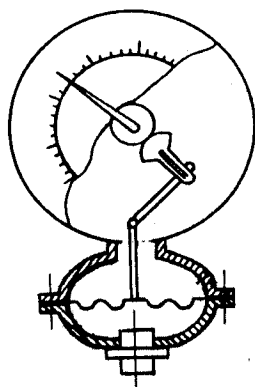


Рис. 3.8. Схема мембранного манометра

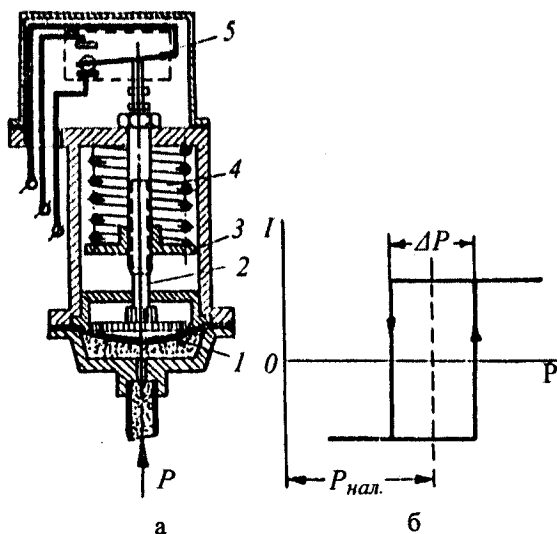


Рис. 3.9. Конструкція і характеристика реле тиску:  
а – конструкція реле; б – статична характеристика реле

Мембранні чутливі елементи широко використовують у тягомірах, напоромірах, тягонапоромірах та барометрах для вимірювання малих тисків і розріджень (рис. 3.10, а, б). Для вимірювання атмосферного тиску мембранні коробки запаюють з боку входу з початковим тиском  $P$ . Коли атмосферний тиск  $P_0$  буде більший від тиску у мембранній коробці, то це призведе до її сплюснення або прогину мембрани і стрілка переміститься вгору, показуючи збільшення тиску. За зменшення тиску мембранна коробка розшириться, і стрілка переміститься вниз, показуючи зменшення тиску.

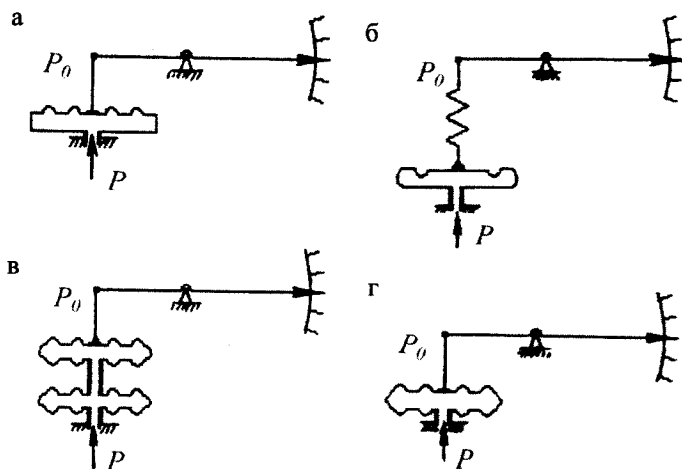


Рис. 3.10. Конструкції мембранних чутливих елементів для вимірювання малих тисків і розріджень

Для одержання стабільних характеристик мембранних приладів жорсткість мембрани повинна бути невеликою. Це досягається видавлюванням на них кільцевих гофр. За необхідності ще більшого зменшення жорсткості манометричної системи використовують з'єднання декількох мембран у мембранні коробки (рис. 3.10, з) або манометричні блоки (рис. 3.10, в).

Характеристики мембран не піддаються точному розрахунку. Це пов'язано з їхньою жорсткістю і наявністю невеликого внутрішнього тертя, тому їх одержують дослідним методом.

Переміщення мембран дуже зручно перетворювати в електричний сигнал за допомогою ємнісних або тензоперетворювачів, сигнали яких легко перетворюються в уніфіковані, про що буде сказано нижче у відповідних розділах. Перевагою таких перетворювачів є можливість роботи мембран з малим прогином, що забезпечує підвищену точність.

Як уже згадувалося вище, для автоматизації вимірювання, контролю і регулювання тиску, а також для дистанційного передавання показів на віддаль переміщення чутливого елемента манометра перетворюють в електричний сигнал. Найчастіше для цього використовують диференційно-трансформаторні перетворювачі (наприклад, прилади типу МЕД), які з'єднують з вторинними приладами з диференційно-трансформаторною системою передавання показів типу КСД або КВД (рис. 3.11), або приладами слідкуючого зрівноважування РП160М.

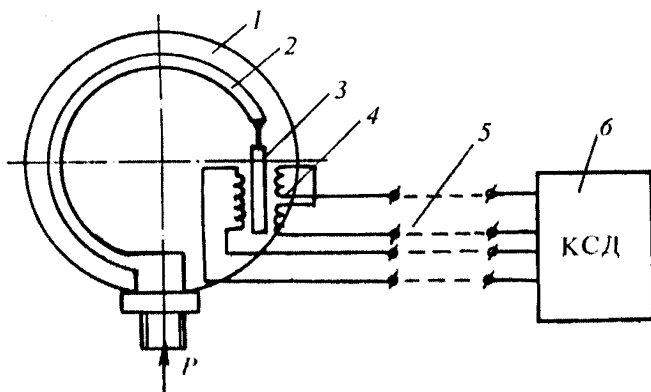


Рис. 3.11. Схема під'єднання манометра з диференційно-трансформаторним перетворювачем до вторинного приладу:  
 1 – корпус манометра; 2 – трубчаста пружина; 3 – осердя диференційно-трансформаторного перетворювача; 4 – диференційно-трансформаторний перетворювач; 5 – лінія зв'язку; 6 – вторинний прилад

Вітчизняна промисловість виготовляє прилади типу КСД2, КСД3, які є однокотковими, показуючими і записуючими. Детальніше систему цих приладів описано в розділі 1. Коротка технічна



характеристика приладів КСД2 наведена в табл. 3.1. Парні модифікації приладів мають ті самі технічні дані, але квадратичний кулачок. Тут же вказані кулачки з іншою степеневою залежністю.

Таблиця 3.1

**Основні технічні характеристики автоматичних приладів з диференційно-трансформаторною системою передавання показів**

Тип приладу	Характеристика кулачка	Тип регулюючого або сигналізуючого пристрою	Додаткові пристрої і перетворювачі
КСД2-003	Лінійна	Трипозиційний	–
КСД2-004	Квадратична	Трипозиційний	–
КСД2-023	Лінійна	Трипозиційний	0–5 мА
КСД2-024	Квадратична	Трипозиційний	0–5 мА
КСД2-043	Лінійна	Трипозиційний. Реостатний задавач	Реостатний пристрій на виході
КСД2-044	Квадратична	Те саме	Те саме
КСД2-051	Лінійна	Трипозиційний	Те саме. Реост. пристрій для роботи з прогр. РП
КСД2-052	Квадратична	Трипозиційний	Те саме
КСД2-055	Лінійна	Трипозиційний	Інтегруючий пристрій
КСД2-056	Квадратична	Трипозиційний	Інтегруючий пристрій
КСД2-067	Лінійна	Трипозиційний. Реостатний задавач	Реостатний пристрій на виході. Інтегруючий пристрій
КСД2-068	Квадратична	Трипозиційний. Реостатний задавач	Реостатний пристрій на виході. Інтегруючий пристрій
КСД2-075	Лінійна	Трипозиційний	Те саме. Реост. пристрій для роботи з прогр. РП
КСД2-076	Квадратична	Трипозиційний	Те саме
КСД2-078	Степенева $H^{1,5}$	Трипозиційний	Реостатний пристрій на виході. Інтегруючий пристрій
КСД2-080	Степенева $H^{1,5}$	Трипозиційний	Те саме

Перетворювач під'єднують до вторинного приладу за допомогою чотирьох проводів, двома з яких передають живлення на схему,

а двома іншими – сигнал. Зараз для вимірювання ширше застосовують автоматичні прилади слідкуючого зрівноваження РП160, де також використовується чотирипровідна схема під'єднання диференційно-трансформаторного перетворювача (табл. 3.3).

Таблиця 3.2

**Основні технічні характеристики  
автоматичних приладів РП250Д**

№ з/п	Тип приладу	ПІ регулятор	Вихід 0–5 мА, 4–20 мА	Вхідний сигнал
1	РП250Д-24	–	+	0–10 мГ
2	РП250Д-25	–	+	0–10 мГ
3	РП250Д-26	+	+	0–10 мГ
4	РП250Д-27	–	+	0–10 мГ √
5	РП250Д-28	–	+	0–10 мГ √
6	РП250Д-29	+	+	0–10 мГ √

Таблиця 3.3

**Основні технічні характеристики автоматичних приладів  
РП160М1 з вхідним сигналом 0–10 та 10–0–10 мГ**

№ з/п	Тип приладу	НСХ перетворювача	Сигналізація	Струм-вий вихід 0–5 мА, 4–20 мА	Інтегруючий пристрій	
					з лічильником	з імпульсним виходом на зовн. лічильник
1	РП160М1-30	$Y=M/M_n$	–	+	–	–
2	РП160М1-31	$Y=M/M_n$	+	+	–	–
3	РП160М1-32	$Y=M/M_n$	+	+	+	–
4	РП160М1-33	$Y=(M/M_n)^{0,5}$	–	+	–	–
5	РП160М1-34	$Y=(M/M_n)^{0,5}$	+	+	–	–
6	РП160М1-35	$Y=(M/M_n)^{0,5}$	+	+	+	–
7	РП160М1-36	$Y=M/M_n$	+	+	–	+
8	РП160М1-37	$Y=(M/M_n)^{0,5}$	+	+	–	+

М – інформативний параметр вхідного сигналу, мГ;  $M_n$  – діапазон вимірювання вхідного сигналу, мГ.

Сигнал із диференційно-трансформаторного перетворювача можна перетворити в уніфікований електричний сигнал за допомогою спеціальних уніфікуючих перетворювачів. Структурну схему такого модуля показано на рис. 3.12.

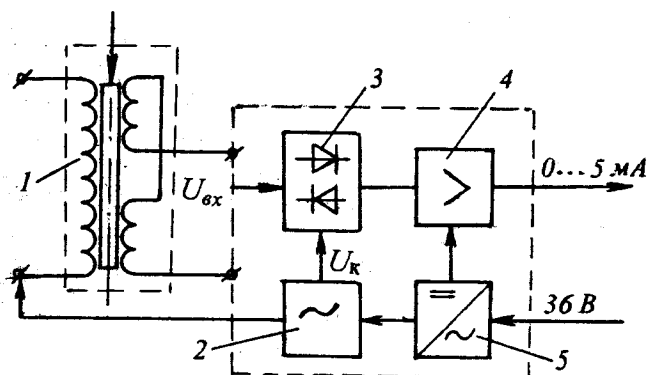


Рис. 3.12. Схема електронного блока для перетворення сигналу диференційно-трансформаторного перетворювача в уніфікований струмовий сигнал

Диференційно-трансформаторний перетворювач 1 живиться напругою прямокутної форми від електронного генератора 2. За доволі великої індуктивності обмоток перетворювача 1 та відповідної частоти напруги живлення струму в обмотках змінюються лінійно, а вихідна напруга перетворювача має форму, близьку до прямокутної.

Вихідна напруга перетворювача подається на фазочутливий керований випрямляч 3. Полярність випрямленої напруги залежить від збігу або незбігу фаз вхідної напруги  $U_{вх}$  і керуючої напруги  $U_{к}$ . Керуюча напруга подається від генератора 2 і має постійну фазу. Фаза вхідної напруги змінюється на  $180^\circ$  за зміни знака переміщення осердя перетворювача. Напруга на виході фазочутливого випрямляча пропорційна до переміщення осердя, і має полярність, що залежить від його напрямку. Ця напруга підсилюється підсилювачем 4 і перетворюється в уніфікований струмовий сигнал 0–5 мА. Для збільшення стабільності підсилювач має від’ємний зворотний

зв'язок. Зміною глибини зворотного зв'язку регулюють максимальне значення вихідного струму. Усі елементи схеми живляться від мережі змінного струму через джерело стабілізованої напруги 5. Клас точності таких перетворювачів – від 0,6 до 1,5. Опір лінії зв'язку може бути будь-яким у межах до 2,5 кОм.

Для перетворення сигналів диференційних манометрів, які працюють з диференційно-трансформаторними перетворювачами, в пропорційний уніфікований струмовий сигнал застосовують також перетворювачі типу БПЛ, які поділяють на одноканальні (БПЛ-1к) і двоканальні (БПЛ-2к).

Структурну схему такого перетворювача показано на рис. 3.13. Понижувальний трансформатор з випрямлячем і стабілізатором В видає для живлення елементів схеми постійну 15 В і опорну напругу 9 В. З випрямляча пульсуюча напруга подається на подільник частоти ПЧ, який формує імпульси з частотою 25 Гц для синхронного детектора Д і генератора Г, що разом з колом зворотного зв'язку формує синусоїдальну напругу з частотою 25 Гц. Після підсилення ця напруга подається в коло живлення первинної обмотки диференційно-трансформаторного перетворювача дифманометра. З вторинної обмотки перетворювача сигнал з частотою 25 Гц і амплітудою, пропорційною до вимірюваного параметра, подається на вимірювальний підсилювач ВП і фазочутливу ланку ФЗ. Після детектування в детекторі Д постійна складова сигналу підсилюється підсилювачем П і перетворюється в сигнал постійного струму перетворювачем ПНС. При цьому на ПНС надходить додатковий сигнал з коригувального пристрою К, який лінеаризує сигнал перетворювача в 4-х точках діапазону вимірювання.

Крім вищенаведених, для вимірювання тиску, різниці тисків і пов'язаних з цим інших неелектричних величин ДП “Львівприлад” виготовляє також автоматичні, реєструючі прилади РП250Д з дисковою шкалою та такі самі мініатюрні прилади КД140М, що показують. Короткі технічні характеристики приладів наведені в табл. 3.2–3.6.

Крім манометрів із одновитковою трубчастою пружиною, застосовують манометри із багатовитковою трубчастою пружиною.

Вони відрізняються формою робочого органа, який має вигляд циліндричної спіралі із шістьма-дев'ятьма витками, скрученими із плиткої пружини (рис. 3.14). Таку пружину можна розглядати як ряд одновиткових трубок, які з'єднані послідовно. Внаслідок цього переміщення вільного кінця трубки значно більше ніж в одновиткових пружин манометрів.

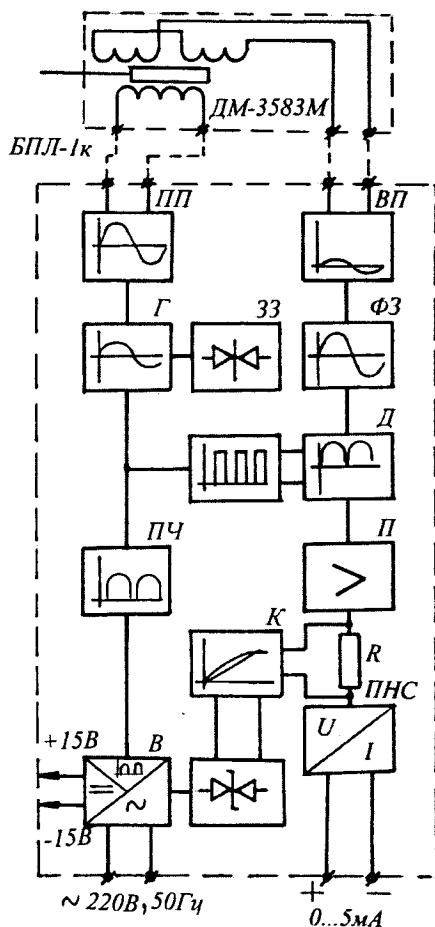


Рис. 3.13. Структурна схема уніфікуючого перетворювача БПЛ-1к

Таблиця 3.4

**Основні технічні характеристики приладів КД140М-ОМ4**

№ з/п	Тип приладу	Додатковий пристрій	НСХ перетворювача
1	КД140М-001-ОМ4	–	Лінійна
2	КД140М-002-ОМ4	–	Квадратична
3	КД140М-003-ОМ4	Реостатний	Лінійна
4	КД140М-004-ОМ4	–	Квадратична

Таблиця 3.5

**Технічні характеристики показуючих манометрів з трубчастою пружиною**

№ з/п	Тип приладу	Верхні межі вимірювання, МПа	Клас точності
1	М1Д	0,16; 0,2; 0,25; 0,4; 0,6; 1,0; 1,6; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25	2,5
2	МТ	Ті самі	4
3	МТП-1; 2; 3; 4	Ті самі	2,5; 4
4	МПЗ-У	0,06; 0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,6; 1,0; 1,6; 2,5; 4; 6	1,5
5	МО	10; 16; 25; 40; 60	2,5
6	МП4-У	10; 16; 25; 40; 60; 100; 160	1,5
7	СВ	250; 400; 600; 1000	1,0
8	МТП-100/1-ВУ	0,6; 1,0; 1,6; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 40; 60	2,5
9	ОБМ-1	Ті самі	1,5

Таблиця 3.6

**Технічні характеристики сильфонних манометрів із електричним струмовим виходом**

Тип приладу	Назва приладу	Верхні межі вимірювання, МПа
МАС-61	Манометр	0,025; 0,04; 0,06; 0,1; 0,16
МС-Э1	Манометр	0,25; 0,4; 0,63; 1,0; 1,6; 2,5
ВС-Э1	Вакуумметр	Від -0,025 до 0
МВС-Э1	Мановакуумметр	-0,1; 0,06; 0,14; 0,15
ТС-Э1, ТС-Э2	Тягомір	Від $4 \cdot 10^{-9}$ до $4 \cdot 10^{-2}$
НС-Э1, НС-Э2	Напоромір	Ті самі

Манометри з багатовитковими пружинами застосовують, здебільшого, як самописні і для передавання показів на віддаль. У них найчастіше використовують електричні системи перетворення.

Для одержання великих переміщень робочого органа в приладах для вимірювання тиску використовують також сільфони. Їх виконано у вигляді тонкостінної трубки із кільцевими складками (гофрами). За дії осьового навантаження (зовнішнього або внутрішнього) довжина сільфона змінюється – збільшується або зменшується (рис. 3.15). В межах робочого діапазону тисків деформація сільфона приблизно пропорційна до діючої сили, тобто характеристика сільфона близька до лінійної.

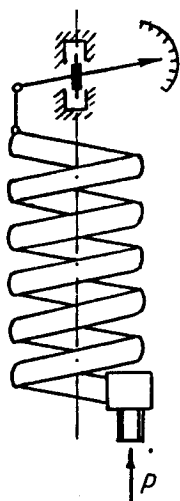


Рис. 3.14. Багатовиткова трубчаста пружина манометра

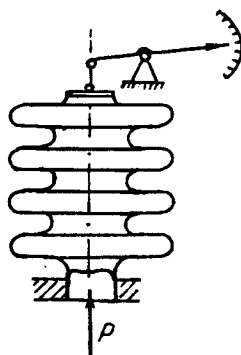


Рис. 3.15. Сільфонний чутливий елемент манометра

Крім диференційно-трансформаторних перетворювачів, у приладах для вимірювання тиску широко застосовують і інші перетворювачі лінійного переміщення в пропорційний електричний сигнал.

У вимірювальних перетворювачах типу “Сапфір” тензорезисторні перетворювачі забезпечують безперервне перетворення тиску в уніфікований електричний струмовий сигнал. Чутливим елементом є пластина, на якій нанесено монокристалічну плівку напівпровідника.

Дія вимірюваного параметра, що перетворюється в зусилля, створює напруження в тензорезисторі, який жорстко з'єднаний з чутливим елементом тензомодуля, який розміщено всередині вимірювального блока первинного перетворювача. Зміна опору тензорезисторів, пропорційна до зміни величини вимірюваного параметра, перетворюється вмонтованим електронним пристроєм у струмовий вихідний сигнал (4–20 мА) первинного перетворювача. Одержаний сигнал передається двопровідною лінією до блока живлення БПЗ-24 (цими самими провідниками передається живлення), де перетворюється в уніфікований струмовий сигнал (0–5, 0–20 або 4–20 мА), залежний від конструктивного виконання приладу.

Вимірювальні блоки приладів “Сапфир”, залежно від границь вимірювання, виконують двох типів: важільно-мембранного і мембранного. Схему вимірювального блока різниці тисків з тензомодулем важільно-мембранного типу зображено на рис. 3.16. Тензомодуль важільно-мембранного типу 4 розташований всередині основи 2 у заповненій поліметилсилоксановою рідиною замкнутій порожнині і відокремлений від вимірюваного середовища металевими гофрованими мембранами 1 і 8. Мембрани по зовнішньому контуру приварено до основи і з'єднано між собою центральним щитком 3, який пов'язаний з кінцем важеля тензомодуля. Різниця тисків зумовлює прогин мембрани 1 і 8 тензомодуля, а також зміну опору тензорезисторів 5. Електричний сигнал з тензомодуля передається із порожнини високого тиску у вмонтований електронний пристрій 6 провідниками через герметичний вивід 7.

За одностороннього перевантаження робочим тиском мембрана 1 після додаткового переміщення лягає на профільовану подушку, тому вимірювальний блок витримує це перевантаження не руйнуючись.

Схема вимірювального блока приладу “Сапфир” мембранного типу показана на рис. 3.17. Надмембранна порожнина у приладі заповнена поліметилсилоксановою рідиною. Під час подавання тиску  $P$  у прилад, він через рідину і гофровану мембрану б діє на жорстку мембрану, яка прогинається, і її деформація перетворюється тензоперетворювачами в електричний сигнал, що надходить у електронний блок, де перетворюється в уніфікований струмовий сигнал в 0–5 мА (табл. 3.7).



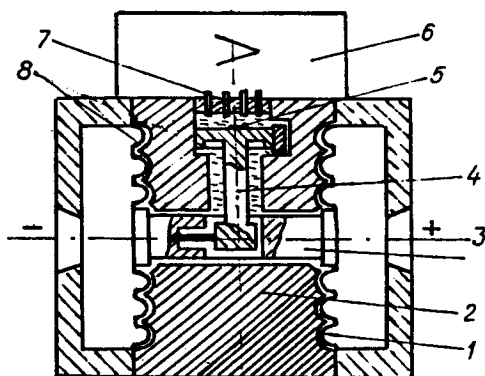


Рис. 3.16. Схема вимірювального блоку приладу "Сапфир-22ДИВ":  
 1, 8 – гофровані мембрани; 2 – основа; 3 – центральний щиток;  
 4 – тензомодуль важільно-мембранного типу; 5 – тензорезистор;  
 6 – електронний пристій; 7 – герметичний вивід

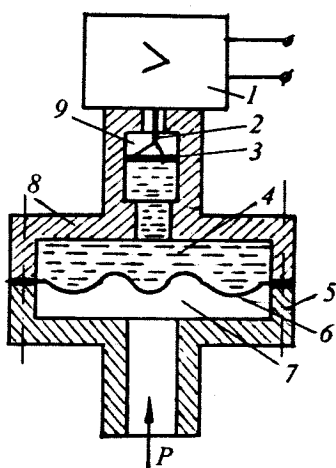


Рис. 3.17. Схема мембранного вимірювального блоку приладу "Сапфир":  
 1 – електронний блок; 2 – герметизовані виводи; 3 – жорстка мембрана  
 з тензоперетворювачами; 4 – надмембранна порожнина; 5 – штуцер;  
 6 – еластична гофрована мембрана; 7 – вимірювальна порожнина;  
 8 – корпус; 9 – порожнина, з'єднана з атмосферою

**Технічні характеристики  
вимірювальних перетворювачів тиску типу “Сапфир-22”**

Тип і модель приладу	Вимірювальний перетворювач	Верхні межі або межі вимірювання, кПА МПа	Допустима похибка, %
1	2	3	4
“Сапфир-22ДА” 2020 2030 2040 2050 2060	Абсолютного тиску	2,5; 4; 6; 10 Від 6 до 40 Від 40 до 250  Від 0,4 до 2,5 Від 2,5 до 16	1,0 0,5 0,5 0,25 0,5
“Сапфир-22ДИ” 2110  2120 2130 2140 2150 2160 2170	Надлишкового тиску	0,25; 0,4 Від 0,6 до 1,6 Від 2,5 до 6 6; 10; 16; 25; 40 Від 40 до 250  Від 0,4 до 2,5 Від 2,5 до 16 Від 16 до 100	1,0; 0,5 0,25; 0,5 0,5 0,5 0,25; 0,5 0,25 0,5 0,5
“Сапфир-22ДВ” 2210  2220 2230 2240	Розрідження	-0,25 Від -0,4 до -1,6 Від -2,5 до -10 Від -6 до -40 Від -40 до -100	1,0 0,5 0,5 0,5 0,5
“Сапфир-22ДД” 2410  2420 2430 2440 2450 2460	Різниці тисків	0,25 Від 0,4 до 16 Від 1,0 до 10 Від 6,3 до 40  Від 0,04 до 0,25 Від 0,4 до 2,5 Від 2,5 до 16	0,5 1,0 0,25 0,5 0,5 0,5 0,5
“Сапфир-22ДГ” 2520 2530 2540	Гідростатичного тиску	Від 2,5 до 10 Від 6 до 40 Від 40 до 250	0,25 0,5 0,5

Продовження табл. 3.7

1	2	3	4
“Сапфир-22ДИВ”	Тиску – розрідження	-0,125...0,125	1,0
2310		-0,2...0,2; -0,3...0,3	0,5
		-1,25...1,25	0,25
2320		-2,0...2,0; -3...3	0,5
2330		-5...5; -8...8; -12,5...12,5; -20...20	0,5
2340		-30...30; -50...50; -100...60;	0,5
		-100...150	
2350		-100...300; -100...500; -100...900;	0,5
		-100...1500; -100...240	

Крім опорних, добре зарекомендували себе п'єзоелектричні, індуктивні та ємнісні перетворювачі тиску із жорстко закріпленою мембраною. На рис. 3.18 показано конструкцію індуктивного перетворювача тиску типу ДД-10. Під тиском рідини або газу мембрана прогинається і змінює індуктивність робочої котушки. Сигнал через штепсельний рознім подається на вторинний прилад. Такі перетворювачі забезпечують вимірювання тисків у межах від  $(5-10) \cdot 10^5$  до  $(2-3) \cdot 10^7$  Па.

В індуктивному мембранному вимірювальному перетворювачі, конструкцію якого показано на рис. 3.19, мембрана 1, що сприймає тиск, з'єднана рухомим якорем 2 електромагніту 3 з обмоткою 4. Під дією тиску мембрана прогинається і переміщає якорь магнітопроводу, що зумовлює зміну індуктивного опору перетворювача.

Вимірювання індуктивності здійснюють мостом змінного струму або резонансними LC-контурми. За тисків 0,5–1,0 МПа, товщина мембрани – 0,1–0,3 мм, а за тисків 20–30 МПа – 1,3 мм. Основна похибка індуктивних перетворювачів тиску  $\pm(0,2-5) \%$ .

У ємнісних мембранних перетворювачах (рис. 3.20) вимірюваний тиск також сприймається металевою мембраною 1, яка одночасно є рухомим електродом ємнісного перетворювача. Нерухомий електрод 2 ізольований від корпусу за допомогою кварцового ізолятора 3. Під дією тиску мембрана прогинається і переміщає рухомий електрод ємнісного перетворювача, що призводить до зміни ємності, яка вимірюється мостами змінного струму або LC-кон-

турами. Такі перетворювачі використовують для вимірювання тиску, що швидко змінюється. Основна похибка –  $\pm(0,2-5) \%$  (табл. 3.8, 3.9).

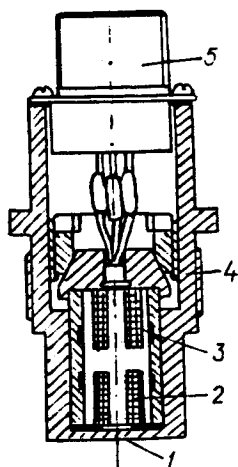


Рис. 3.18. Індуктивний перетворювач тиску типу ДД-10:

- 1 – мембрана; 2 – робоча котушка;
- 3 – компенсаційна котушка;
- 4 – компенсаційна муфта;
- 5 – штепсельний рознім

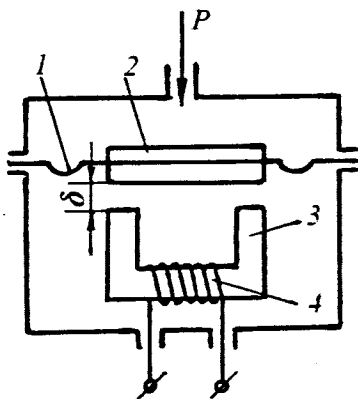


Рис. 3.19. Індуктивний мембранний вимірювальний перетворювач

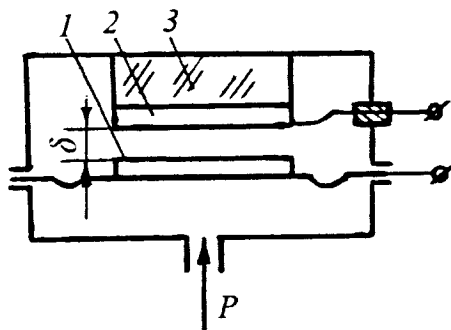


Рис. 3.20. Ємнісний вимірювальний перетворювач тиску

Таблиця 3.8

## Технічні характеристики перетворювачів "АГАТ"

Тип перетворювача	Клас точності, %	Температура середовища, °С	Вихідний сигнал, мА	Межі вимірювання, МПа
АГАТ-ДИ-01	0,5; 1,0	-40-80	4-20; 0-5	0-0,16; 0-0,25; 0-0,4; 0-0,6; 0-1,0; 0-1,6;
АГАТ-ДИ-01-Ех			4-20	
АГАТ-ТН-02-АС	0,25; 0,5	5-50	0-5; 4-20	0-2,5; 0-4,0; 0-6,0;
АГАТ-ТН-02-01	0,15; 0,25; 0,5	-40-80	0-5; 4-20	0-10; 0-16; 0-25;
АГАТ-ТН02-Вн				0-40; 0-60; 0-100; 0-160

Таблиця 3.9

## Технічні характеристики окремих перетворювачів тиску

Тип і модель перетворювача	Назва приладу	Межі вимірювання, МПа	Доп. похибка, %	Вихідний сигнал
1	2	3	4	5
МПЭ-МИ	Манометр	Від 0-0,1 до 0-60	0,6; 1; 1,5	0-5, 0-20 і 4-20 мА
ИПД, 89006	Манометр	0-0,006 0-0,01 Від 0-0,025 до 0-16	0,25 0,15 0,06; 0,1	Той самий, але може змінюватися
ДДЧ	Манометр	Від 0-0,1 до 0-60	2,5	2000-3000 Гц
ДД-1 ДД-2,5	Диференціатор тиску для вим. швидкості спаду тиску	0-0,1 МПа/с 0-0,25 МПа/с	1,0	0-5, 0-20, 4-20 мА
ДД-1Н ДД-2,5	Те саме для наростання тиску	0-0,1 МПа/с 0-0,25 МПа/с	1,0	Ті самі
ДТ-2-50 ДТ-2-100 ДТ-2-200 ДТ-2-300	Диференційний тягомір	0-0,5 кПа 0-1,0 кПа 0-2,0 кПа 0-3,0 кПа	-	0-10 МГц
13ДИ13 13ДИ30-К 13ДИ14	Манометр	Від 0-0,01 до 0-6 Від 0-0,6 до 0-6 Від 0-10 до 0-100	0,6; 1,0	0,02-0,1 МПа

1	2	3	4	5
13ДА10 13ДА30	Манометр абсолютного тиску	Від 0–0,0025 до 0–0,04	1,0; 1,5	Той самий
13ДИВ10 13ДИВ30	Мано- вакуумметр	Від -0,005–0,005 до -0,1–2,4	0,6; 1,0; 1,5	Той самий
МИДА-ДИ- 01П	Перетворювач тиску	0–0,16; 0,25; 0,4; 0,6; 1; 1,6; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 40; 60; 100; 160	0,25; 0,5	0–5 мА; 4–20 мА; 0–5 В

Якщо середовище хімічно активне до матеріалу вимірювального приладу, його захищають за допомогою розділювальних посудин або мембранних розділювачів, які не взаємодіють із контролюваною речовиною.

Конденсаторні чутливі елементи широко застосовують для вимірювання тиску і різниці тисків в інших країнах. В електричних перетворювачах фірми *Fischer-Rosemount* (США) тиск процесу передається із двох сторін через розділюючі діафрагми і силіконову оливу на чутливу мембрану, розташовану в центрі. Обкладки конденсатора з обидвох сторін мембрани визначають її положення. Ємність у стані спокою між чутливою мембраною і будь-якою обкладкою конденсатора – 150 пФ. Сигнал з конденсатора далі надходить на перетворювач і вимірювальний прилад. Електрична схема вимірювання тиску такими приладами показана на рис. 3.21. Використання інтелектуальних перетворювачів дає змогу значно збільшити точність вимірювання різних параметрів (0,1–0,3 %).

Сигнал ємнісного перетворювача (сенсора) надходить на осцилятор і демодулятор, а з нього через аналого-цифровий перетворювач на мікропроцесор, куди також надходять сигнали від програмованого постійного запам'ятовуючого пристрою, який може електрично стиратися і перепрограмуватися. Цей пристрій складається із 14- і 16-бітних регістрів з обсягом пам'яті у 128 байт. З мікропроцесора сигнал через цифро-аналоговий перетворювач надходить на вимірювальний пристрій, ручний комунікатор чи мікроЕОМ.

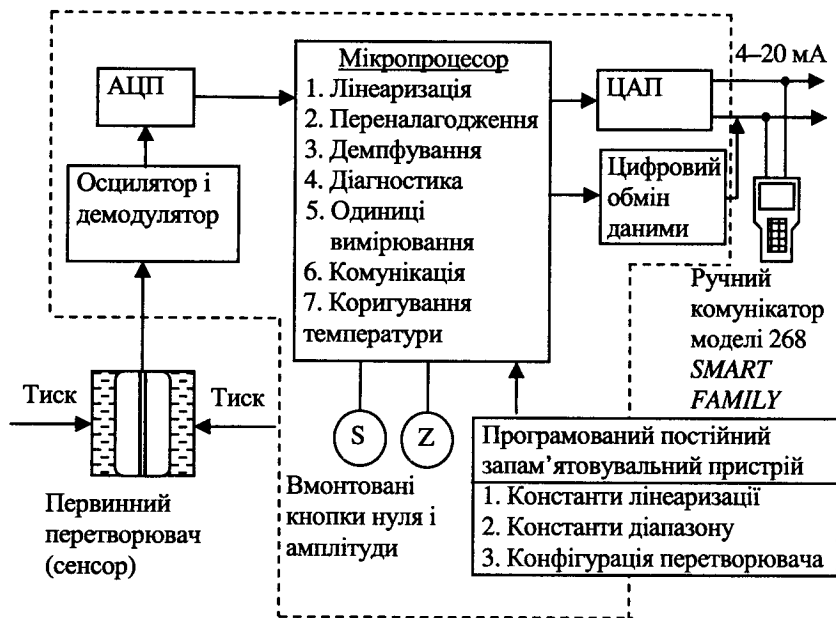


Рис. 3.21. Структурна схема вимірювання тиску за допомогою інтелектуального перетворювача

Структурна схема дещо простішого ємнісного перетворювача показана на рис. 3.22. Такі пристрої застосовують для вимірювання не тільки тиску, але й інших параметрів, що можуть бути перетворені в електричний сигнал за допомогою ємнісних перетворювачів. Для контролю тиску безпосередньо на місці вимірювання до приладу можна під'єднувати ручний комунікатор.

### 3.4. Електричні манометри

В електричних манометрах використовують властивість провідників і напівпровідників змінювати свій опір під дією тиску.

На рис. 3.23 показано схему перетворювача, яким можна вимірювати тиск до  $3 \cdot 10^5$  кПа з похибкою  $\pm 1,0$  %. Корпус приладу ви-

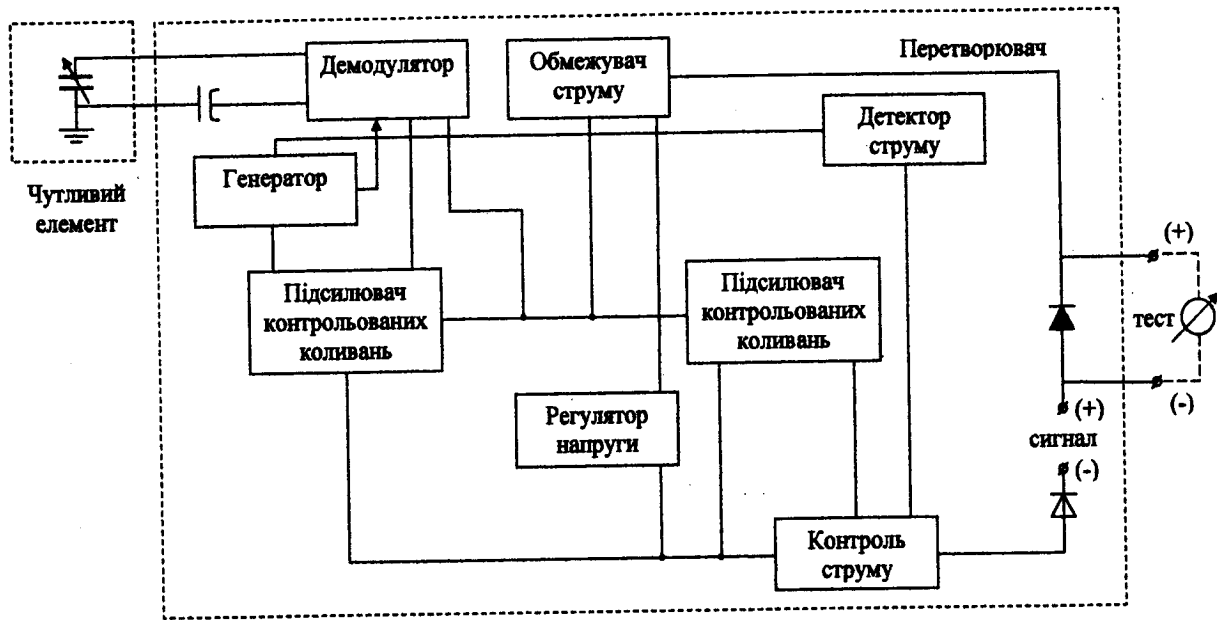


Рис. 3.22. Структурна схема ємнісного перетворювача тиску з уніфікованим вихідним сигналом



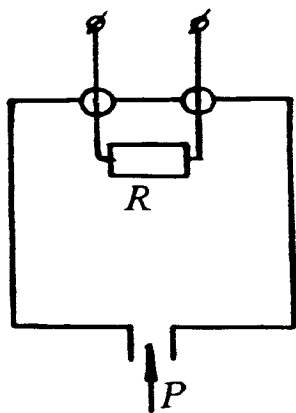


Рис. 3.23. Схема електричного перетворювача тиску

готовляють з високоміцної сталі. В середині знаходиться котушка, намотана з манганінового дроту, опір якого майже не змінюється від температури. Зміна опору перетворювача залежить від площі провідника, який включають в одне із плечей моста, зібраного у вторинному приладі, шкалу якого відградувано в одиницях тиску.

Значно чутливішими електричними перетворювачами тиску є напівпровідникові тензодіоди, вольт-амперна характеристика яких змінюється під дією тиску на їх-

ньому p-p-переході. Чутливість таких приладів надзвичайно висока – у сотні і навіть тисячі разів більша від металевих перетворювачів. Однак їм властиві також і всі недоліки напівпровідникових приладів – температурна залежність, нестабільність характеристик в часі, нелінійність характеристик тощо.

### 3.5. Вимірювання різниці тисків

Для вимірювання різниці тисків, жоден із яких не є атмосферним, використовують диференційні манометри. Вище уже було показано конструкцію і описано роботу кільцевого, поплавкового і ковпакового манометрів, які використовують також і як диференційні манометри. Крім них, широко застосовують також мембранні дифманометри, чутливим елементом яких є мембранний блок, що складається із двох мембранних коробок (рис. 3.24). Кожна мембранна коробка зварена із двох мембран, профілі яких збігаються. Внутрішні порожнини коробок заповнені дистильованою водою і з'єднані каналом. З центром верхньої мембрани пов'язане осердя 2

диференційно-трансформаторного перетворювача 1. Мембранні коробки розміщені в герметичних камерах 3 і 4, на які через штуцери передаються тиски (в нижню – більший,  $P_1$ , у верхню – менший,  $P_2$ ). Під дією різниці тисків рідина із мембранної коробки 6 витісняється в мембранну коробку 5, зумовлюючи переміщення осердя перетворювача.

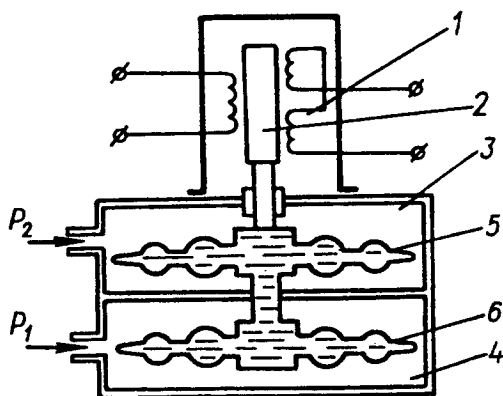


Рис. 3.24. Схема мембранного дифманометра

Мембранні дифманометри деяких модифікацій працюють у комплекті з приладами феродинамічної системи. Межі вимірювання різниці тисків дифманометрами – 0,04–250 МПа. Клас точності – 1,0 і 1,5 (табл. 3.10).

У диференційних манометрах для вимірювання невеликих тисків чутливим елементом є два сільфони, виконані із пружного металу (рис. 3.25). Чутливість сільфонних перетворювачів залежить від кількості гофрів.

Такі прилади широко використовують для вимірювання витрати, рівнів, перепадів тиску тощо. Їхня робота у таких схемах розглядатиметься у відповідних розділах.

Залежно від типу приладу переміщення сільфона під дією перепаду тисків перетворюється в електричний або уніфікований струмовий чи пневматичний сигнал. У комплект приладу входять

відповідні підсилювач і перетворювач. Клас точності таких приладів – 0,6; 1,0; 1,5.

Таблиця 3.10

**Технічні характеристики  
дифманометрів з електричним вихідним сигналом**

Дифманометр	Тип приладу	Верхні межі вимірювання перепаду тиску, МПа	Робочий тиск, МПа	Вихідний сигнал
Витратомір Перепадомір Напоромір Тягомір	ДСЭР-М ДСЭ-МИ ДСЭН-МИ ДСЭТ-МИ	1; 1,6; 2,5; 4 кПа	0,1	0–5 мА 0–5 мА 0–20 мА 4–20 мА
Витратомір	ДМЭР-М	4; 6,3; 10; 16; 25 кПа 0,04; 0,063; 0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,63; 1; 1,6 МПа	16; 40	0–5 мА
Рівнемір	ДМЭУ-МИ	4; 6,3; 10; 16; 25 кПа 0,04; 0,063; 0,1; 0,16; 0,25 МПа	16; 40	0–5 мА
Взаємозамінні дифманометри	ДМ мод. 3583М ДтХ-01 ДМ-П1 ДМ-П2	1,6; 2,5; 4; 6,3; 10; 16; 25 кПа; 0,04; 0,063; 0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,63 МПа 0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,63; 1; 1,6; 2,5; 4; 6,3 МПа	16  0,25 1,0	0–10 МГц – –
Перепадомір	ДМЭ-МИ	4; 6,3; 10; 16; 25 кПа; 0,04; 0,063; 0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,63; 1; 1,6 МПа	16; 40	0–5 мА
Рівнемір	ДМЭУ-МИ	4; 6,3; 10; 16; 25 кПа; 0,04; 0,063; 0,1; 0,16; 0,25 МПа	16; 40	0–5 мА
Диференційний тягомір	ДТ-2	0,5; 1; 2; 3 кПа	0,05	ДТП

Сильфонні диференційні манометри поділяють на такі, що показують (типу ДСП), і самописні (типу ДСС). Їх можна обладнати сигнальним пристроєм, механо пневматичним перетворювачем, інтегратором, ізодромним регульовальним пристроєм тощо. Верхні межі вимірювань дифманометрів-витратомірів вибирають із ряду (3.8):

$$A = a \cdot 10^n, \quad (3.8)$$

де  $a$  – одне із чисел: 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,2; 4; 5; 6,3; 8;  $n$  – ціле (додатне або від'ємне) число або нуль.

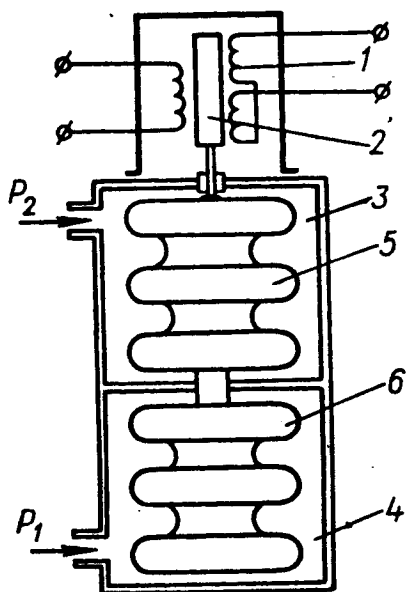


Рис. 3.25. Конструктивна схема сильфонного дифманометра:  
 1 – диференційно-трансформаторний перетворювач; 2 – осердя перетворювача; 3, 4 – камери; 5, 6 – сильфони

Верхні межі вимірювання перепаду тисків дифманометрами відповідають номінальним перепадам тисків. Верхні межі вимірювання дифманометрами-рівнемірами вибирають із ряду: 63; 100; 160; 250; 400; 630; 1000; 1600; 2500; 4000; 6300 см висоти стовпа рідини, рівень якої вимірюється. Граничні номінальні перепади тиску дифманометрів-рівнемірів відповідають верхнім межах вимірювань з врахуванням густини вимірюваної рідини. Нижні межі вимірювань таких дифманометрів становлять 30 % від верхніх меж вимірювань.

## Розділ 4

# ВИМІРЮВАННЯ РІВНЯ

### 4.1. Класифікація методів і приладів для вимірювання рівня

Вимірювання рівнів рідких і сипких матеріалів, що знаходяться в бункерах, силосах, баках тощо, необхідне для визначення їхньої кількості та обліку, а також для підтримування заданого рівня і нормального перебігу технологічного процесу. Крім того, вимірюванням рівня можна одержувати інформацію про масу речовини в ємності.

Рівнем називають висоту заповнення технологічного апарата робочим середовищем – рідиною або сипкою речовиною. Рівень робочого середовища є технологічним параметром, інформація про який необхідна для контролю режиму роботи технологічного обладнання та для керування технологічним процесом.

Прилади, які використовують для вимірювання рівнів, поділяють на дві основні групи: вказівники граничного рівня і рівнеміри. Своєю чергою, рівнеміри поділяють на прилади вузького і широкого діапазону вимірювання. Рівнеміри вузького діапазону вимірювання мають нульову відмітку всередині шкали, що відповідає потрібній висоті рівня, і поділки, які показують відхилення від нормального рівня по обидва боки від нуля. Границі вимірювання, як правило, становлять від  $\pm 100$  до  $\pm 150$  мм. Рівнеміри другої групи мають односторонню шкалу і вимірюють рівень у межах 0,5–20 м. Поділки шкали в цьому випадку показують висоту рівня над дном посудини.

Прилади для вимірювання рівнів рідин можна поділити на:

- візуальні;
- поплавкові;
- гідростатичні;
- електричні;
- ультразвукові;
- акустичні;
- оптичні;
- радіоізотопні.

Вимірювання рівнів сипких матеріалів має свої особливості. Одна із найважливіших – це непропорційність передавання тиску на дно і стінки залежно від рівня. Крім того, в звичайних умовах сипкі матеріали обмежені зверху нерівною горизонтальною поверхнею, вони поглинають ультразвукові коливання, мають нерівномірну щільність, пористі, гігроскопічні тощо.

Із перелічених вище приладів деякі можна застосовувати і для вимірювання рівнів сипких матеріалів. Вони будуються за тим самим принципом, що й рідинні, але мають додаткові пристрої для кращого заповнення і спороження бункера та руйнування склепінь, наприклад: вібратори, віброрейки.

## **4.2. Вимірювання рівнів рідин**

### **4.2.1. Візуальні рівнеміри**

Найпростішим пристроєм для вимірювання рівня рідини в ємностях є вимірювальне скло (рис. 4.1). Робота цього приладу ґрунтується на принципі сполучених посудин. Вимірювальне скло з'єднують із посудиною нижнім кінцем (для відкритих посудин) або двома кінцями (для посудин із надлишковим тиском або розрідженням). Спостерігаючи за положенням рівня рідини в скляній трубці, можна міркувати про зміну рівня рідини в посудині.

Вимірювальні скла оснащують вентилями або кранами для від'єднання їх від посудини і продуву системи. В арматуру вимірювального скла, що працює під тиском, вводять також запобіжні пристрої, які автоматично закривають канали в головках під час випадкового руйнування скла. Плaskі вимірювальні скла розраховано на тиск до 3 МПа і температуру – до 300 °С.

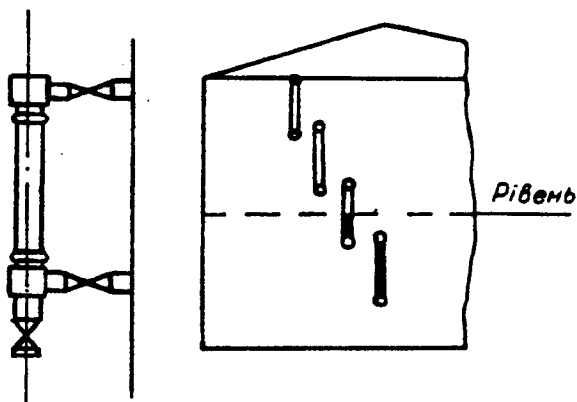


Рис. 4.1. Вимірювання рівня рідин за допомогою вимірювального скла

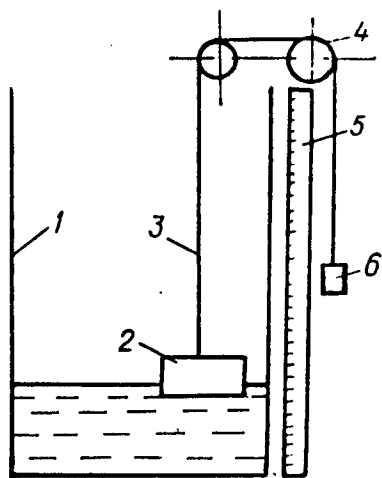
Вимірювальне скло не рекомендують робити більшим, ніж 0,5 м, тому для контролю рівня, який може бути більшим, ніж 0,5 м, встановлюють декілька приладів, але так, щоб верх попереднього перекривав низ наступного.

#### 4.2.2. Поплавкові рівнеміри

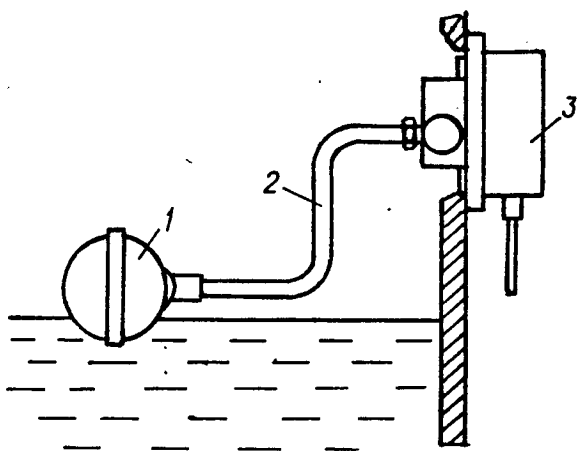
У поплавкових рівнемірах для вимірювання рівня використовують поплавок або інше тіло, що знаходиться на поверхні рідини (плаває або частково занурене).

Рівнеміри з плаваючим поплавком можуть вимірювати рівень рідини в посудині, підтримувати або регулювати його. Поплавок рівнеміра, зображеного на рис. 4.2, зрівноважується вантажем, що зв'язаний з ним гнучкою ланкою. Положення вантажу щодо шкали визначає рівень рідини. Межі вимірювання встановлюють відповідно до прийнятих значень верхнього і нижнього рівнів.

У деяких рівнемірах під час досягнення верхнього або нижнього рівнів поплавки за допомогою перемикача замикає електричні сигнальні кола (рис. 4.3).



*Рис. 4.2. Найпростіший поплавковий рівнемір:  
1 – посудина; 2 – поплавок; 3 – гнучка лінва; 4 – шківви;  
5 – шкала; 6 – противага*



*Рис. 4.3. Поплавковий сигналізуючий, або регулюючий рівнемір:  
1 – поплавок; 2 – важіль; 3 – перемикаючий пристрій*



За зміни рівня рідини на величину  $\Delta h$  сила  $F$ , яка створюється поплавком, визначається за формулою

$$F = \gamma \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \Delta h, \quad (4.1)$$

де  $\gamma$  – питома вага рідини,  $\text{Н/м}^3$ ;  $D$  – діаметр поплавка, м.

Конструкція реле рівня з дистанційним передаванням показів зображена на рис. 4.4. У литому алюмінієвому корпусі 1 змонтований сельсин-перетворювач 2. За вертикального переміщення поплавка 12 під дією зміни рівня рідини переміщатиметься перекинута через ролик 4 гнучка линва, приводячи ролик в обертний рух. Для забезпечення необхідного натягу линви на її протилежному кінці підвішено вантаж 13. Обертаючись, ролик 4 через редуктор 3 повертає ротор сельсина-перетворювача 2, який електрично поєднаний з сельсин-приймачем, встановленим на вказівнику рівня і змонтованим на щиті керування. Кожному положенню поплавка відповідає певне положення сельсина-приймача і пов'язаної з ним стрілки вторинного приладу.

Таке реле, крім функцій контролю, може здійснювати сигналізацію і позиційне регулювання рівня. Для цього в приладі передбачено мікроперемикач 10, що приводиться в дію поплавком 12. За вертикального переміщення поплавка під дією зміни рівня рідини закріплені на линві рухомі опори 11 повертають коромисло 7, переводячи його із одного фіксованого положення в інше. Рух коромисла через вісь 6 передається пружинному механізму 8, що має важіль із штифтом 9, жорстко закріпленим на осі, за допомогою якого дублюється положення коромисла та приводиться в рух кулачок. Останній діє на штифт мікроперемикача і перемикає в ньому контактну групу.

Надійнішими є поплачкові рівнеміри з поплавками, що занурені, – масивні буйки. За зміни рівня рідини за законом Архімеда змінюється виштовхувальна сила, яка діє на буйок. Це приводить до зміни моменту сил, які діють на важіль, на якому закріплено буйок. Переміщення важеля використовують для створення сигналу керування або сигналізації.

Буйкові рівнеміри виготовляють двох різновидів: електричні типу УБ-Э з уніфікованим вихідним сигналом 0–20 і 0–5 мА постій-

ного струму і пневматичні типу УБ-П з уніфікованим пневматичним вихідним сигналом тиску повітря  $2 \cdot 10^4$ – $10 \cdot 10^4$  Па.

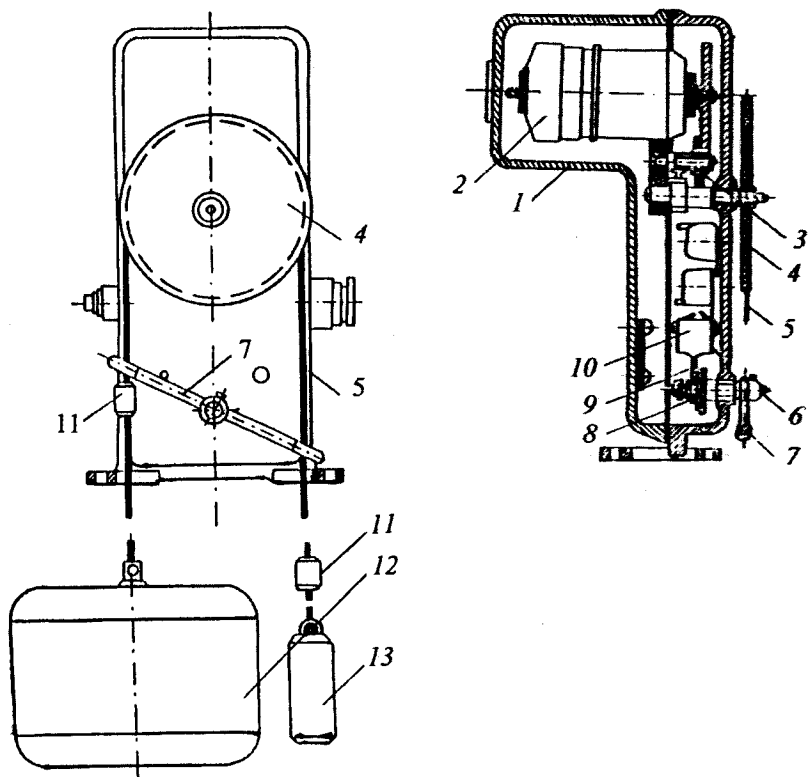


Рис. 4.4. Конструкція поплавкового реле

На рис. 4.5 показано принципову схему буйкового пневматичного рівнеміра типу УБ-П, який призначено для безперервного перетворення рівня рідини, що знаходиться під атмосферним, вакуумним чи надлишковим тиском, у пневматичний сигнал дистанційного передавання.

Рівнемір складається із уніфікованого пневмосилового перетворювача і вимірювального блока. Вимірювальний блок являє собою важливу систему з чутливим елементом у вигляді буйка 10, який

підвішено до важеля виводу 9 через призму. Вивід важеля 9 із порожнини робочого тиску ущільнено гофрованою металевою мембраною. Початкова вага буйка зрівноважується спеціальним вантажем, який накручується на плече додаткового важеля. Основа має фланець, який використовується для кріплення перетворювача до об'єкта. Буйкові рівнеміри використовують найчастіше як пристрої інформації в системах автоматичного регулювання, захисту і сигналізації.

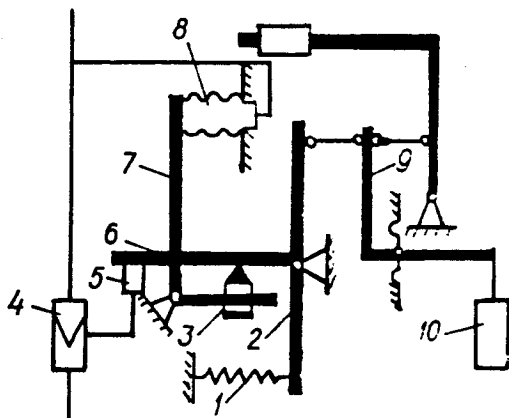


Рис. 4.5. Принципова схема буйкового рівнеміра:

- 1 – пружина коректора нуля; 2 – T-подібний важіль; 3 – рухома опора;  
4 – пневмореле; 5 – сопло; 6 – заслінка; 7 – Г-подібний важіль; 8 – сиффон зворотного зв'язку; 9 – важіль; 10 – чутливий елемент (буйок)

Зміна рівня рідини перетворюється на чутливому елементі в пропорційне зусилля, яке зрівноважується зусиллям, що розвивається тиском у сиффоні зворотного зв'язку 8. Цей тиск є одночасно вихідним сигналом рівнеміра. Зусилля, з яким вимірювальний блок діє на перетворювач, створює момент, який зумовлює незначне переміщення важільної системи і пов'язаної з важелем 6 заслінки стосовно сопла 5. Сигнал, який виникає в лінії сопла, передається у пневмореле 4, вихідний сигнал якого діє в сиффоні зворотного зв'язку 8 і вимірюється вторинним приладом.

Інтервал вимірювання поплавкових і буйкових рівнемірів вибирають із ряду: від 0 до 0,25; 0,4; 0,6; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,0; 10,0;

16,0; 20 м. Клас точності може становити 0,6; 1,0; 1,6; 2,5. Для обліково-розрахункових операцій рівнеміри виготовляють із основними похибками від  $\pm 1,0$  до 10,0 мм (табл. 4.3).

Поплавкові рівнеміри класифікують залежно від типу резервуара, меж вимірювання і кількості обертів вихідного вала на один метр рівня. Основна похибка вимірювання за температури 20 °С –  $\pm 4$  мм. Швидкість вимірювання рівня – не більше 1,0 м/год.

Для дистанційного контролю рівня рівнемір УДУ-10 (табл. 4.1) використовують у комплекті з потенціометричною приставкою УДУ-16 та пультом контролю і сигналізації ПКС-2М. Принцип дистанційного вимірювання ґрунтується на перетворенні потенціометричною приставкою кута повертання вала мірного шківів в електричний сигнал. У приставці є електроконтактні пристрої для сигналізації крайніх рівнів.

Таблиця 4.1

#### Технічні характеристики поплавкового рівнеміра типу УДУ-10

Тип рівнеміра і модифікація	Тип резервуара	Межі вимірювань, м	Кількість обертів вихідного вала на 1 м рівня
УДУ-10 111	Наземний вертикальний і горизонтальний	0–12	5
112			0,5
113			1,0
121		0–20	5
122			0,5
123			1,0
211	Заглиблений підземний	0–20	5
212			0,5
213			1,0
311	З плаваючою накривкою	0–12	5,0
312			0,5
313			1,0
321		0–20	5,0
322			0,5
323			1,0

На пульті ПКС-2М розташовано вторинний прилад відліку рівня рідини, лампочки сигналізації крайніх положень і ключі керування.

Таблиця 4.2

## Технічні характеристики пристроїв УМ-2-3

Тип пристрою	Призначення	Назва і тип виробу	К-ть
УМ2-31-ОНБТ-111	Слідкування за зміною рівня	Перетворювач ДСУ-ІМУХЛЗ Приймач ДСУ-ІМУХЛУ	1
УМ2-31-ОНБТ-112	Спостереження за різницею рівнів (напору)	Ті самі пристрої	2

Таблиця 4.3

## Технічні характеристики буйкових рівнемірів

Тип рівнеміра	Межі вимірювання, м	Параметри вимірюваного середовища	
		Температура, °С	Тиск, МПа
УБ-Э	0-0,02; 0-0,04; 0-0,06; 0-0,08; 0-0,1; 0-0,25; 0-0,4; 0-0,6; 0-0,8; 0-1,0; 0-1,6; 0-2,0; 0-2,5; 0-3,0; 0-4,0; 0-6,0; 0-8,0; 0-10; 0-16;	-40-100	10; 16
УБ-П		100-400	6,4
УБ-ЭА			
УБ-ПА			
УБ-ЭБ			
УБ-ПБ		-40-200	4
УБ-ЭВ			
УБ-ПГ			
УБ-ПМ			

Для дистанційного спостереження за рівнем і напором неагресивних рідин використовують пристрої УМ2-3 (табл. 4.2). Принцип роботи цих пристроїв ґрунтується на способі слідкування за рівнем за допомогою поплавка, який знаходиться на поверхні рідини і переміщається разом з нею. Пристрій працює за принципом синхронного передавання з використанням сельсинів. Сельсини-приймачі виготовляють в декількох модифікаціях: УСП-1М – для вимірювання рівня в межах 1,25; 2,5; 5,0; 7,5; 10; 15; 20 м; для вимірювання напору в межах 1,25; 2,5; 5,0; 7,5; 10; 20; 30; 40 м.

### 4.2.3. Гідростатичні рівнеміри

Дія гідростатичних рівнемірів ґрунтується на вимірюванні тиску  $P$  стовпа рідини або її ваги  $G_p$  у ємності. Для циліндричної посудини

$$G_p = \gamma \cdot S \cdot H, \quad (4.2)$$

де  $S$  – площа поперечного перерізу посудини,  $m^2$ ;  $H$  – висота рідини в посудині,  $m$ .

Тиск, створюваний стовпом рідини, дорівнює

$$P = \gamma \cdot H. \quad (4.3)$$

Співвідношення (4.2) і (4.3) характеризують роботу гідростатичних рівнемірів. Такі пристрої фактично реагують не на рівень рідини, а на її вагу. За вимірювання рівня цим методом можуть виникати похибки від зміни температури або складу рідини.

4.2.3.1. М е м б р а н н і р і в н е м і р и. Такі рівнеміри призначено для вимірювання рівня у резервуарах. Принцип роботи цих приладів ґрунтується на зрівноваженні гідростатичного тиску стовпа рідини силою пружної деформації мембрани. Тиск рідини (рис. 4.6) передається мембрані 1, яка деформується (прогинається), а разом з нею деформується і пружина 2. Мембрана з'єднана із стрілкою 3, яка закріплена на осі 4. В такий спосіб переміщення мембрани зумовлює переміщення стрілки. Рівень визначають за шкалою 5. Прогин пружини легко перетворити в електричний сигнал, який використовують для дистанційного вимірювання, контролю, регулювання, сигналізації або передавання показів.

4.2.3.2. Д и ф м а н о м е т р и ч н і р і в н е м і р и. У цих рівнемірах рівень рідини в резервуарі виміряють диференційними манометрами (рис. 4.7). Ними можна вимірювати рівні рідин у ємностях, які знаходяться під тиском і без нього. Діапазон вимірювання дуже широкий – від міліметрів до декількох метрів. Крім того, електричні перетворювачі, вмонтовані в диференційні манометри, уможливають передавання результатів вимірювань на віддаль, вмикання в схеми сигналізації і регулювання.

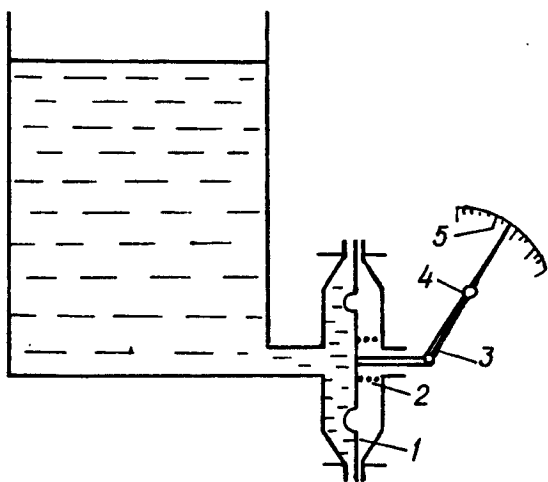


Рис. 4.6. Схема мембранного рівнеміра

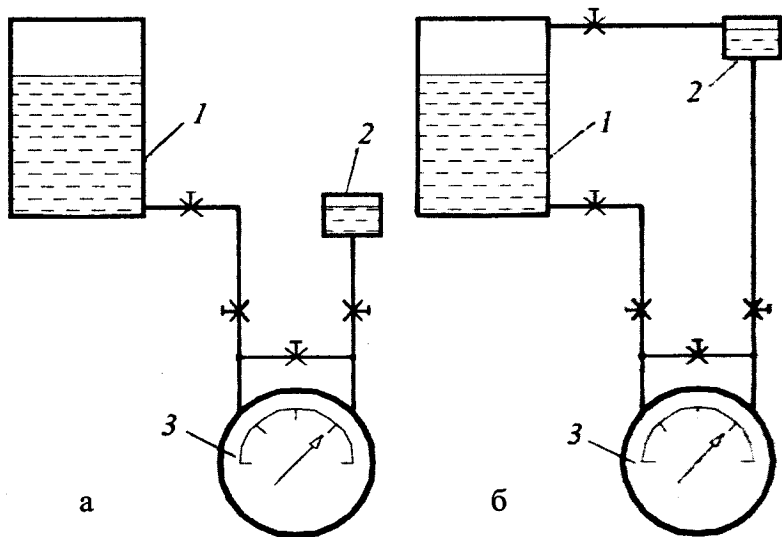


Рис. 4.7. Вимірювання рівня гідростатичними рівнемірами:  
 а – для відкритих резервуарів; б – для закритих резервуарів;  
 1 – резервуар; 2 – зрівноважувальна посудина; 3 – дифманометр

Під час використання дифманометрів для вимірювання рівнів обов'язково встановлюють зрівноважувальну посудину, яку наповнюють до певного рівня тією самою рідиною, що і в резервуарі. Призначення зрівноважувальної посудини – це забезпечення постійного стовпа рідини в одному із колін дифманометра. Висота стовпа рідини у другому коліні дифманометра змінюється із зміною рівня рідини в резервуарі. Кожному значенню рівня в резервуарі відповідає певний перепад тиску, який вимірюється дифманометром, що дає змогу визначати рівень.

Як правило, дифманометр встановлюють нижче від дна резервуара. Під час вимірювання рівня у відкритому резервуарі зрівноважувальну посудину встановлюють на відмітці мінімального рівня і з'єднують у верхній частині з атмосферою, а для підтримання постійності рівня рідини в зрівноважувальній посудині її оснащують зливом у дренаж через запірний вентиль (рис. 4.7, а). Під час контролю рівня рідини в резервуарі, який знаходиться під тиском, зрівноважувальну посудину також з'єднують з резервуаром у верхній частині для вирівнювання тисків (рис. 4.7, б), оскільки інакше він впливатиме на вимірювання.

Якщо зрівноважувальна посудина приєднується до плюсової камери дифманометра, прилад показуватиме пониження рівня рідини щодо верхньої межі. Якщо зрівноважувальна посудина приєднується до мінусової камери, то прилад показуватиме підвищення рівня щодо нижньої межі.

4.2.3.3. П'єзометричні рівнеміри працюють за принципом гідравлічного замка. Для вимірювання рівня використовують повітря або інертний газ, який продувають через шар рідини. Кількість повітря, що продувають, обмежують діафрагмою або ротаметром так, щоб швидкість його руху в трубопроводі була мінімально можливою. Це наближає до нуля втрати на тертя в трубопроводі після діафрагми.

В основу цього методу вимірювання рівня рідини покладено закономірність: тиск повітря біля кінця трубки дорівнює довжині зануреної частини трубки, помножений на питому вагу рідини:

$$P - P_x = H \cdot \gamma \cdot g, \quad (4.4)$$



звідки

$$H = \frac{(P - P_x)}{\gamma \cdot g}, \quad (4.5)$$

де  $P$  – тиск повітря в системі, Па;  $P_x$  – тиск повітря в резервуарі, Па;  $H$  – висота рідини в посудині, м;  $g$  – прискорення сили земного тяжіння,  $m/s^2$ .

Тиск вимірюється манометром (рис. 4.8), шкала якого відградунована в одиницях рівня. Пониження або підвищення рівня рідини приводить до зменшення або збільшення тиску в трубці через зменшення опору стовпа рідини. Зміну тиску можна легко перетворити в електричний сигнал.

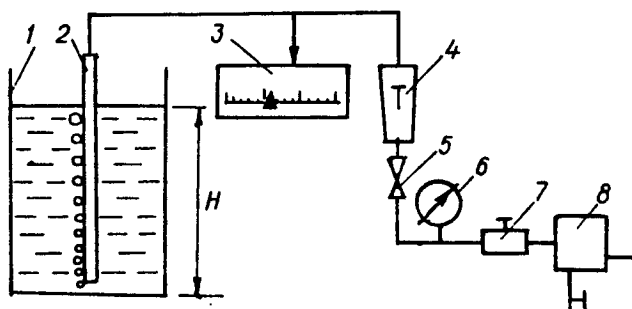


Рис. 4.8. Схема п'єзометричного рівнеміра:

- 1 – резервуар; 2 – п'єзометрична трубка; 3 – манометр; 4 – ротаметр;  
5 – вентиль; 6 – контрольний манометр; 7 – редуктор; 8 – компресор

Такі рівнеміри широко використовують для вимірювання рівня в резервуарах, розташованих нижче від місця встановлення рівнеміра, наприклад, у підземних резервуарах для води.

#### 4.2.4. Електричні рівнеміри

В електричних рівнемірах використовують зміну будь-яких електричних параметрів рідин під час зміни рівня. Найчастіше використовують зміну опору, ємності та індуктивності. Останній

метод використовують лише зрідка через нагрівання феромагнітних частин конструкцій вихровими струмами. Щоб запобігти розкладу електролітів, електролізу води і поляризації електродів, такі пристрої живляться змінним струмом і часто підвищеної частоти.

4.2.4.1. Є м н і с н і р і в н е м і р и. У ємнісних рівнемірах використовують діелектричні властивості контрольованих середовищ. Ними можуть бути рідкі, гранульовані, дрібнокускові та інші матеріали. Тобто такими рівнемірами можна контролювати, крім рівня води і рідких добавок для бетону в сховищах, ще й рівень цементу та піску у силосних складах.

Перетворювачем ємнісного рівнеміра є електричний конденсатор, ємність якого залежить від рівня рідини. У загальному випадку ємність плиткового конденсатора визначають за формулою

$$C = \frac{\epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot S}{\delta}, \quad (4.6)$$

де  $\epsilon$  – діелектрична проникність речовини між пластинами (електродами) конденсатора;  $\epsilon_0$  – діелектрична проникність повітря;  $\delta$  – віддаль між пластинами;  $S$  – площа перекриття пластин.

Перетворювачі в ємнісних рівнемірах виготовляють у вигляді коаксіальних циліндрів, паралельних пластин або жорсткого стержня.

Ємність коаксіального циліндричного перетворювача (у пФ) можна визначити із формули

$$C = 0,24 \cdot \frac{\epsilon_p \cdot h + \epsilon_0 \cdot (H - h)}{\lg(D/d)}, \quad (4.7)$$

де  $\epsilon_p$  – діелектрична проникність рідини;  $h$  – висота рівня рідини, см;  $H$  – довжина активної частини перетворювача, см;  $D$  – внутрішній діаметр зовнішнього коаксіального циліндра, см;  $d$  – діаметр внутрішнього коаксіального циліндра, см.

Ємність пластинчастого перетворювача за паралельного розташування пластин (у пФ) можна визначити із формули

$$C = \frac{0,088 \cdot b}{a} \left[ \epsilon_p \cdot h + \epsilon_0 \cdot (H - h) \right], \quad (4.8)$$

де  $b$  – ширина пластини перетворювача, см.

Схема ємнісного рівнеміра з циліндричними перетворювачами показана на рис. 4.9, а. Ємнісний перетворювач виконано у вигляді двох тонкостінних циліндрів, вставлених один в одного, і приєднаних до електричного блока.

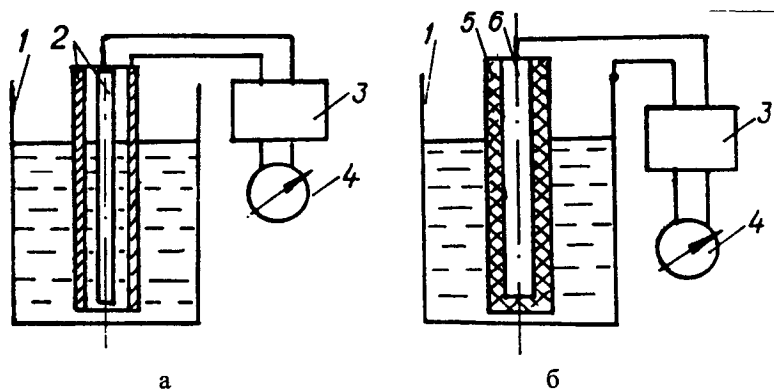


Рис. 4.9. Схеми ємнісних рівнемірів:

- а* – із трубчастим електродом; *б* – із стержневим електродом;  
 1 – ємність; 2 – електроди; 3 – електронний блок; 4 – вимірювальний прилад;  
 5 – діелектрична ізоляція; 6 – стержневий електрод

За невеликого діаметра резервуара або за вимірювання рівнів сипких матеріалів стінка металевої посудини виконує функцію однієї із пластин конденсатора, а друга – виконана у вигляді стержневого електрода. Поверхня перетворювача покривається діелектриком (рис. 4.9, б).

У приладах, призначених для вимірювання рівня агресивних, але неелектропровідних рідин, діелектричне покриття перетворювача виконують із фторопласту або тонкої антикорозійної плівки. Використання тонких плівок, які мають високі ізолювальні властивості, дає змогу вимірювати рівень і в електропровідних рідинах.

Електрод разом із стінкою резервуара утворює циліндричний конденсатор, ємність якого залежить від рівня рідини. Електрична ємність цього конденсатора вимірюється вторинним приладом.

В електронних блоках використовують резонансні і мостові вимірювальні схеми. Під час вимірювання за резонансною схе-

мою ємнісний перетворювач разом з індуктивністю утворюють резонансний контур, який налаштовують на резонанс частот живлення за певного рівня, якому відповідає резонансне значення ємності перетворювача. Зміна рівня призводить до зміни ємності перетворювача, що змінює власну частоту контуру і призводить до зриву резонансних коливань. Цей метод використовують для сигналізації зміни рівня.

За використання мостової схеми ємнісний перетворювач рівня вмикають в одне із плечей, складених із конденсаторів. За зміни рівня змінюється ємність перетворювача, що зумовлює розбалансування мостової схеми. Сигнал розбалансування через підсилювач подається на вимірювальний прилад, шкала якого відградуєвана в одиницях рівня. Мостова схема вимірювання використовується у більшості ємнісних рівнемірів для рідин.

Вимірювальні схеми приладів працюють на змінному струмі. Робоча частота повинна бути якомога більшою, щоб забезпечити необхідну чутливість схеми. Однак використання високих частот призводить до збільшення втрат у з'єднувальних кабелях та інших паразитних ємностях елементів схеми.

Схема рівнеміра, показаного на рис. 4.10, складається із ємнісного перетворювача  $C_{\Pi}$ , електронного блока і вторинного приладу. Перетворювач під'єднується до електронного блока за допомогою спеціальних коаксіальних кабелів. За зміни контрольованого рівня змінюється ємність перетворювача  $C_{\Pi}$  в індуктивно-трансформаторному мості, який складається із індуктивностей обмоток  $L_2$  і  $L_3$  трансформатора  $Tr1$  та конденсаторів  $C_1 - C_5$ . При цьому порушується рівновага моста, у вимірювальній діагоналі якого виникає напруга небалансу, і подається на підсилювач. Вихідний сигнал підсилювача вимірюється місцевим міліамперметром, а спад напруги на резисторі  $R_H$  – вторинним приладом 8. Шкала приладів проградуєвана в одиницях рівня (табл. 4.4).

Конденсатором  $C_1$  міст зрівноважується у початковий момент, коли рівень контрольованого середовища  $\epsilon$  на нижній границі ("Встановлення нуля"). Змінний резистор  $R_K$  використовується для встановлення максимального вихідного сигналу ("100 %") за верхнього рівня. Перемикачем 4 і конденсаторами  $C_2 - C_5$  вибирають діапазон вимірювання.

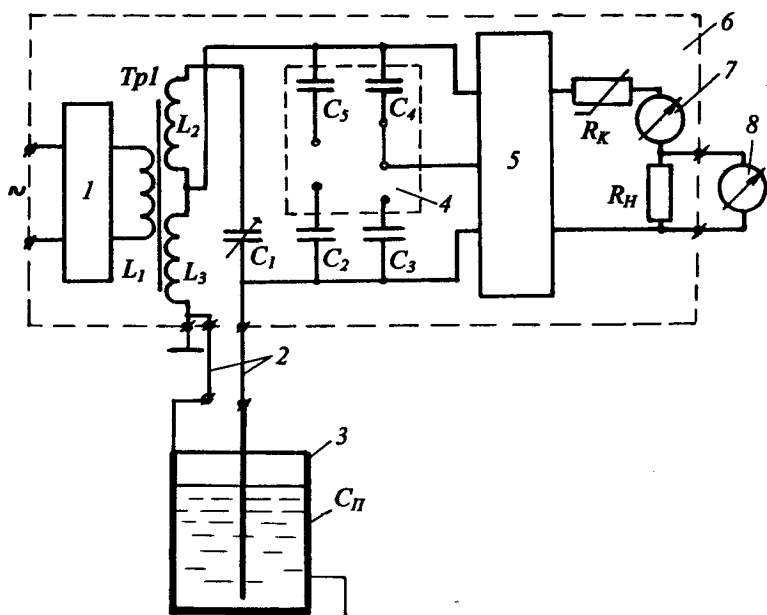


Рис. 4.10. Принципова електрична схема ємнісного рівнеміра:  
 1 – генератор високочастотних коливань; 2 – з’єднувальні кабелі;  
 3 – ємність з рідиною; 4 – перемикач діапазонів вимірювання; 5 – підсилювач;  
 6 – електронний блок; 7 – місцевий показчик рівня; 8 – вторинний прилад

Таблиця 4.4

### Основні технічні характеристики ємнісних перетворювачів рівня

Модифікація перетворювача	Межі вимірювання, м	Параметри вимірюваного середовища		Вимірюване середовище
		тиск, МПа	температура, °С	
1	2	3	4	5
Перетворювач рівня типу ДУЕ-1				
ПП-0-111 ПП-0-112 ПП-0-211	Від 0–0,4 до 0–4	2,5	-60–100 5–250	Гас, бензин, олива і речовини з $\epsilon=1,6\dots5$
Коаксіальні труби. Линзовий	Від 0–2,5 до 0–25	До 10	-60–100 5–250	Те саме з $\epsilon=2,5\dots8$

Продовження табл. 4.4

1	2	3	4	5
Стержневий	Від 0–0,4 до 0–2,5	До 10	Те саме	Вода, водні розчини, спирти тощо, малоагресивні речовини
U-подібний	0–1, від 0–2,5 до 0–20	До 10	-10–40 5–25	Те саме
Індикатор рівня ЗИУ-2				
Стержневий	1; 1,6; 2; 2,5	2,5	0–50	Електропровідні рідини
Пластинчастий	1; 1,6; 2,5	2,5	-40–200	Неелектропровідні рідини або сипкі матеріали, $\epsilon=2-20$
Сигналізатор рівня СУС				
СУС-11, плиткий	–	–	-30–100	Сипкі неелектропровідні матеріали
СУС-13, стержневий	0,1; 0,25; 0,6; 1,0; 2	2,5	-100–250	Електропровідні рідини
СУС-15, пластинчастий	0,25; 0,5; 1; 1,6; 2	0,25	0–100	Неелектропровідні рідини і сипкі матеріали
СУС-16, трисекційний	0,1; 0,25; 0,6	6,4	-100–250	Неелектропровідні рідини

Аналогічно до ємнісного працюють індуктивні та кондуктометричні рівнеміри, в яких, замість вертикального конденсатора, встановлюється котушка індуктивності або вимірюється електричний опір вертикального стовпа рідини.

4.2.4.2. Електроконтактні рівнеміри. Принцип роботи електроконтактних рівнемірів ґрунтується на замиканні електричного кола джерела живлення через контрольоване середовище, що являє собою ділянку електричного кола, яке має певний електричний опір. Практично електроконтактні рівнеміри (сигналізатори рівня) можна використовувати для рідин із провідністю від  $2 \cdot 10^{-3}$  См і вище.

Прилад являє собою електромагнітне реле, яке вмикається в коло, що утворюється між електродом і контрольованим матеріалом

(рис. 4.11). Схеми вмикання релейного сигналізатора рівня можуть бути різноманітними, залежно від конструкції об'єкта і кількості контрольованих рівнів.

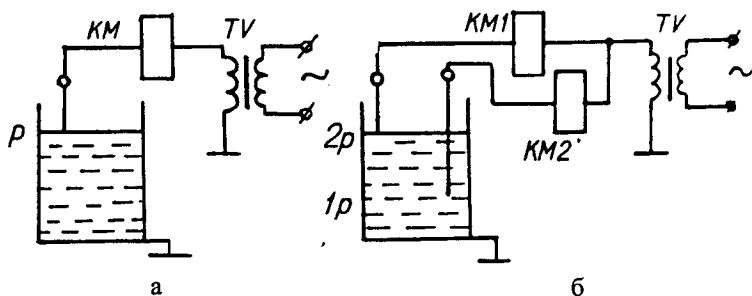


Рис. 4.11. Схеми одноелектродного (а) і двоелектродного (б) рівнемірів

На рис. 4.11, а показано сигналізатор верхнього рівня із одним реле. За досягнення рідиною електрода через неї замикається електричне коло і реле КМ спрацьовує, вмикаючи кола сигналізації та регулювання.

На рис. 4.11, б показано сигналізатор двох рівнів – верхнього і нижнього. Реле КМ2 спрацьовує або вимикається під час контролю нижнього рівня, а реле КМ1 – під час контролю верхнього рівня.

Кількість контрольованих рівнів залежить від кількості електродів і реле. Як правило, контролюють три рівні: нижній, середній і верхній. Багатоелектродні рівнеміри використовують як об'ємні дозатори рідин. Такі самі рівнеміри широко використовують і для вимірювання та контролю рівня сипких матеріалів.

#### 4.2.5. Ультразвукові рівнеміри

В ультразвукових рівнемірах використовується принцип відбивання звукових хвиль від границі розділення “рідина – газ” (повітря). На рис. 4.12 показано схему такого рівнеміра. Прилад складається із

електронного блока, п'єзоелектричного випромінювача (перетворювача) і вторинного приладу (автоматичного потенціометра).

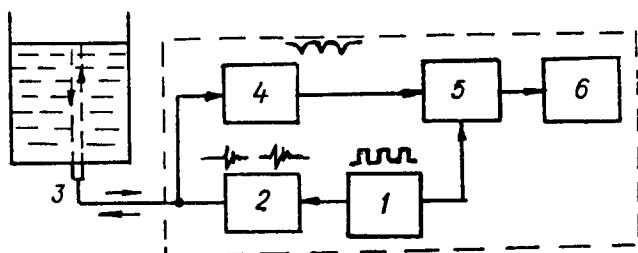


Рис. 4.12. Структурна схема ультразвукового рівнеміра

Електронний блок складається із генератора 1, який задає частоту повторення імпульсів; генератора імпульсів 2, що посиляються у вимірюване середовище; приймального підсилювача 4 і вимірювача часу 5. Генератор 1 керує роботою генератора 2 і схемою вимірювання часу. Частота імпульсів – 300 Гц. Генератор 2 формує короткі імпульси для збудження п'єзоелектричного випромінювача 3. Електричний імпульс, перетворений в ультразвуковий у п'єзоелектричному випромінювачі, розповсюджується в рідині. Досягнувши границі розділення “рідина–газ”, він відбивається, і повертається назад, діючи через деякий час на той самий випромінювач, де знову перетворюється в електричні коливання. Обидва імпульси – посланий і відбитий – розділені в часі, надходять на підсилювач. Час  $\tau$  між моментом підсилення імпульсу і моментом надходження відбитого імпульсу є функцією висоти вимірюваного рівня:

$$\tau = \frac{2 \cdot H}{V_3}, \quad (4.9)$$

де  $V_3$  – швидкість розповсюдження ультразвуку у вимірюваному середовищі.

Для будь-якої температури води швидкість розповсюдження ультразвуку становитиме

$$V_3 = 1557 - 0,0245 \cdot (74 - t)^2. \quad (4.10)$$



Постійна напруга, пропорційна до часу запізнення відбитого сигналу (рівня), одержувана у вимірювачі часу, подається на вторинний прилад 6.

На подібному принципі ґрунтується робота акустичного рівнеміра. Мірою рівня є час розповсюдження звукових коливань від джерела випромінювання до контрольованої границі розділення середовищ, і назад до приймача:

$$\tau = 2 \cdot (H_p - h) / V_{з.г.}, \quad (4.11)$$

де  $H_p$  – висота стінки резервуара, м;  $V_{з.г.}$  – швидкість розповсюдження звуку в газовому середовищі, м/с;  $h$  – висота рідини в резервуарі, м.

Промисловість виробляє також акустичні рівнеміри, призначені для безконтактного автоматичного дистанційного вимірювання рівня рідких середовищ, зокрема в'язких, липких, що випадають в осад, і вибухонебезпечних, а також сипких і кускових матеріалів з діаметром гранул від 2 до 200 мм.

Прилад складається із акустичного рівнеміра (АП) і передавального та вимірювального перетворювачів. Залежно від умов експлуатації та виконання АП виготовляють п'яти різних модифікацій: АП-3 – для рідин і сипких матеріалів; АП-4 – для кускових і сипких середовищ нехарчової промисловості; АП-5В і АП-6В – для вибухонебезпечних середовищ; АП-7 – для рідин, що дуже піняться.

Структурна схема акустичного рівнеміра показана на рис. 4.13. Блок синхронізації 3 через задані проміжки часу виробляє короткотривалі синхронізуючі імпульси, які надходять до генератора 4 і вимірювача часу 5. Генератор 4 виробляє потужні електричні імпульси і надсилає їх у акустичний перетворювач 1, який під їхньою дією збуджується і виробляє пакети звукових коливань, що спрямовані в бік поверхні матеріалу в резервуарі. Одночасно синхронізуючий імпульс від генератора 3 запускає блок відліку часу 5. Відбитий акустичний сигнал, повернувшись до перетворювача 1, знову перетворюється в електричний, підсилюється підсилювачем 2, і своїм переднім фронтом зупиняє блок вимірювання часу 5. Дискретний сигнал, що відповідає вимірюваному інтервалові часу, в перетворювачі “час – напруга” 6 перетворюється в аналоговий і надходить у нормувальний перетворювач 7. Уніфікований сигнал відповідної

величини надходить у вторинний прилад 8 або використовується в системі регулювання рівня.

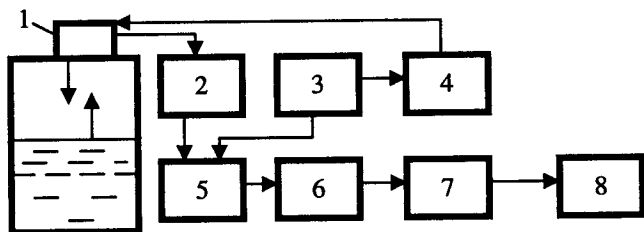


Рис. 4.13. Структурна схема акустичного рівнеміра

Діапазон вимірювання рівнів такими приладами: від 0 до 30 м (АП-3, 0–6 м; АП-4, 0–30 м; АП-5В, 0–6 м; АП-6В, 0–4 м; АП-7, 0–4 м).

#### 4.2.6. Світлові рівнеміри

Світлові, або лазерні рівнеміри застосовують у скловарному виробництві для вимірювання, контролю і регулювання рівня скломаси у ванні скловарної печі. Прилад являє собою інформаційно-вимірювальну і регулювальну систему для вимірювання, оцінки і стабілізації коливань рівня скломаси у ванні печі. Він складається із лазерного випромінювача, матричного фотоприймача, блока контролю і регулятора. Випромінювач надсилає через вузьку діафрагму когерентний пучок світла через вікно бокової стінки печі. Відбившись від дзеркала скломаси, промінь через вхідне вікно потрапляє на центр матричного фотоприймача, який виконано у вигляді просторового дискримінатора, сигнал на виході якого пропорційний до зміщення рівня скломаси. Контроль здійснюється порівнюванням із заданим рівнем. Блок контролю сигналізує про зниження рівня скломаси нижче від порогового значення.

Як бачимо із вищенаведеного, такі прилади мають дуже вузьку сферу застосування і для вимірювань у інших галузях не придатні, хоча подібні пристрої застосовують у будівництві для контролю роботи деяких механізмів.

#### 4.2.7. Радіоізотопні рівнеміри

Рівнеміри з радіоізотопними випромінювачами поділяють на дві групи:

- 1) із слідкуючою системою для безперервного вимірювання рівня;
- 2) сигналізатори (індикатори) відхилення рівня від заданого значення.

Принцип роботи радіоізотопних рівнемірів ґрунтується на тому, що під час проходження радіоактивних променів через речовину інтенсивність їх зменшується. Принципова схема слідкуючого рівнеміра показана на рис. 4.14. Дія приладу ґрунтується на порівнянні інтенсивності потоку  $\gamma$ -променів, які проходять вище або нижче від рівня розділення двох середовищ різної густини.

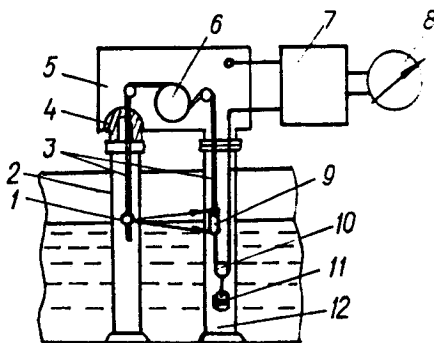


Рис. 4.14. Принципова схема слідкуючого радіоізотопного рівнеміра:  
 1 – джерело випромінювання; 2 – вертикальні трубки; 3 – сталевая стрічка;  
 4 – свинцевий контейнер; 5 – перетворювач; 6 – електродвигун з механічним передаванням; 7 – електронний блок; 8 – вимірювальний прилад;  
 9 – приймач випромінювання; 10 – шкві; 11 – вантаж; 12 – основа

Перетворювач з'єднаний з вертикальними трубками, які встановлені всередині об'єкта вимірювання. Розміщений всередині перетворювача реверсивний двигун через черв'ячне передавання крутить барабан, на якому закріплено сталеву стрічку. На кінцях стрічки вільно висять джерело випромінювання і приймач випромінювання. Електричний сигнал від приймача випромінювання через гнучкий кабель передається в електронний блок. Під час переміщення приймача кабель фіксується в певному положенні за допомогою ролика з вантажем. Стрічка проходить через зубчастий ролик, на осі якого розміщено первинний сельсин. Вторинний сельсин знаходиться в показуючому приладі. Вісь вторинного сельсина через редуктор пов'язана із стрілками показуючого приладу, який має дві шкали, відградувані у метрах і сантиметрах. У показуючому приладі є перетворювач, який перетворює кутове переміщення осі вторинного сельсина, що пропорційне до фактичного рівня, в стандартний пневматичний сигнал.

Для забезпечення радіаційного захисту обслуговуючого персоналу під час транспортування, монтажу і ремонтів, джерело випромінювання автоматично ховається у спеціальний контейнер. Діапазон вимірювання приладом – до 10 м, основна похибка вимірювань – не більше 1 см. Під час експлуатації такі прилади вимагають біологічного захисту і використовуються там, де інші методи вимірювань непридатні.

### 4.3. Вимірювання рівнів сипких матеріалів

Вимірювання рівнів сипких і кускових матеріалів пов'язане із значними труднощами, найголовнішими з яких є:

- а) сипкі та кускові матеріали під час заповнювання і випорожнювання ємностей не утворюють горизонтальних поверхонь рівня; їхня зовнішня поверхня може бути розташована під кутом до 30–50° до горизонталі (кут природного відкосу);
- б) під час випорожнювання ємностей можливе налипання матеріалу на стінках;

- в) ультразвукові коливання не проходять через товщину кускових і сипких матеріалів;
- г) порошкоподібні сипкі матеріали часто в ємностях утворюють склепіння;
- д) під час завантаження матеріалів чутливі елементи перетворювачів може бути пошкоджено.

Зазначені вище труднощі обмежують коло можливих методів вимірювання рівнів сипких матеріалів. Багато із вищенаведених рівнемірів рідин придатні також і для сипких матеріалів (див. табл. 4.1–4.4), і навпаки, – ті, що наводитимуться нижче, можна використовувати для рідин. Рекомендується для вимірювання і контролю рівня сипких матеріалів у силосах встановлювати два різні рівнеміри для контролю верхнього і нижнього рівнів.

### ***4.3.1. Лотові рівнеміри***

Робота лотових рівнемірів побудована на періодичному підніманні і опусканні на поверхню сипкого матеріалу в силосі зонда. Схема роботи лотового рівнеміра показана на рис. 4.15. У цьому рівнемірі зонд 6 і вантаж 8 підвішені на блоці храпового колеса 4. Періодично зонд підтягується за допомогою пневматичного мембранного приводу 2, що живиться від компресора 1. Привід діє на храпове колесо через собачку 3. Зонд 6 опускається на поверхню сипкого матеріалу під дією сили земного тяжіння.

Якщо рівень не змінюється, то зонд піднімається і опускається на одну і ту саму віддаль. За зменшення рівня матеріалу зонд опускається на більшу віддаль, ніж піднімається, і навпаки. При цьому храпове колесо з віссю 5 в одному напрямку повертається на більший кут, ніж під час обертання у зворотному напрямку. Вісь 5 через муфту 10 і поводок 11 з'єднана з пневмоперетворювачем 12. Конструкція приладу розрахована так, що за зміни рівня в заданих межах тиск стиснутого повітря на виході приладу змінюється від 20 до 100 кПа. Стиснуте повітря з виходу пневмоперетворювача 12 подається на вторинний прилад (манометр) 9, шкала якого програ-

дуйована в одиницях висоти рівня. Такий рівнемір дає змогу вимірювати рівень до 20 м з похибкою  $\pm 10$  см.

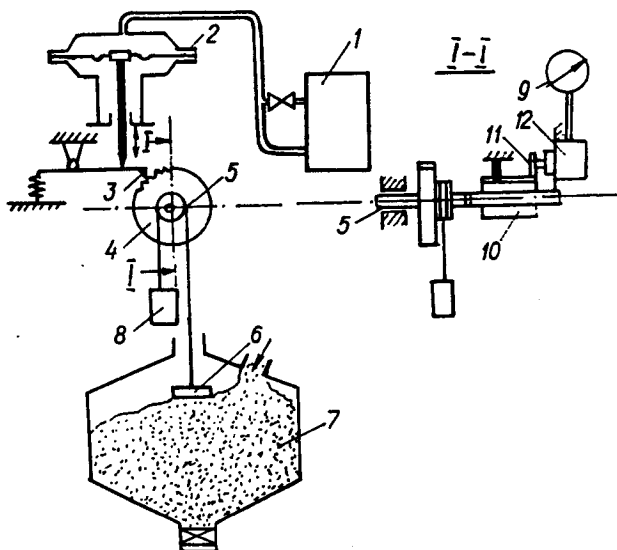


Рис. 4.15. Схема роботи лотового рівнеміра

Часто лотові рівнеміри виконують з електричним приводом, вимірювальним перетворювачем та вторинним приладом. Крім вищеописаного, відомі рівнеміри з вібруючим поплавком, який відрізняється від звичайного тим, що в ньому розміщено вібратор, який створює прискорення по вертикалі дає можливість поплавкові “впливати” на поверхню сипкого середовища.

#### 4.3.2. Вагові рівнеміри

У вагових рівнемірах рівень матеріалу визначають за значенням тиску, який створюється заповненням бункером на одиницю площі. Як первинний перетворювач використовують месдозу, що

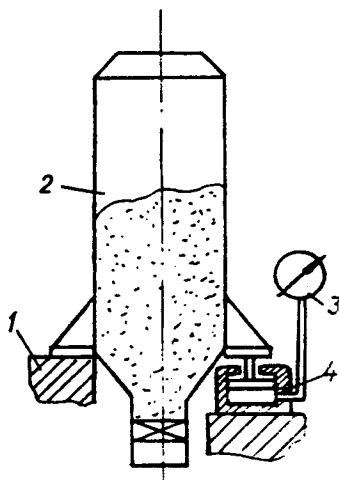


Рис. 4.16. Вимірювання рівня ваговим рівнеміром:  
 1 – нерухома опора; 2 – силос;  
 3 – манометр; 4 – месдоза

являє собою металевий корпус із закріпленою в ньому мембраною (рис. 4.16). Нижня частина месдозы заповнена рідиною, яка сполучається з манометром через імпульсну трубку. Під час зміни ваги матеріалу в бункері змінюється тиск в системі месдоза – манометр. Недоліком такого принципу вимірювання є необхідність в деякому переміщенні однієї опори бункера (від 1 до 3 мм). Похибка вимірювання досягає  $\pm 10$  мм.

Вагові рівнеміри є різновидом гідростатичних рівнемірів (див. розділ 4.2.3), і їх застосовують також для вимірювання рівнів рідин. Відомі такі рівнеміри, в яких вага матеріалу в бункері перетворюється в електричний сигнал за допомогою магнітопружних або тензометричних перетворювачів (див. розділ 4.4).

### 4.3.3. Електроконтактні та електромеханічні рівнеміри

Дистанційний контроль за наповненням бункерів сипким матеріалом можна здійснювати приладами з контактною системою (див. розділ 4.2.4.2). Відомі різноманітні конструкції таких рівнемірів. На рис. 4.17 показано схему одного із типів електроконтактного сигналізатора рівня.

На різній висоті в стіні бункера послідовно встановлюють контактні пристрої 1, до яких приєднано сигнальні лампочки, що знаходяться на диспетчерському пульті. Контакти замикаються за тиску на них сипкого матеріалу. Кількість лампочок, які світяться, сигналізує про ступінь наповнення бункера.

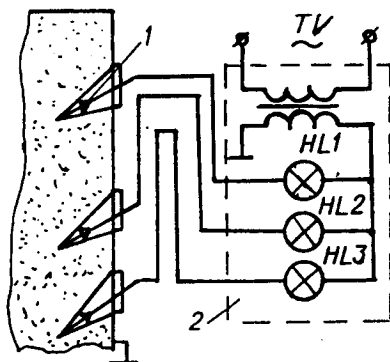


Рис. 4.17. Схема електроконтактного сигналізатора рівня:  
1 – контактні пристрої; 2 – сигналізуючий пристрій

На рис. 4.18 показано вказівник рівня з металевою мембраною. Він складається із металевої мембрани 1 із закріпленим посередині штоком 2. Під час прогину мембрани шток діє на контактний пристрій 3. На кронштейні 4 закріплено зворотну пружину 5.

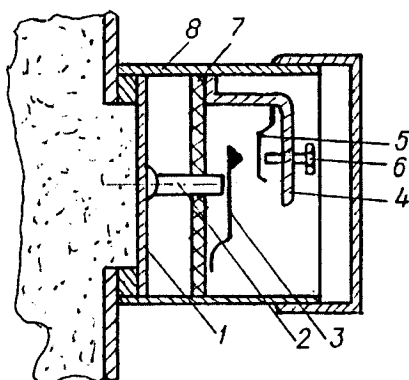


Рис. 4.18. Вказівник рівня з металевою мембраною:  
1 – металева мембрана; 2 – шток; 3 – контактний пристрій; 4 – кронштейн;  
5 – зворотна пружина; 6 – гвинт; 7 – ізолятор; 8 – сигналізатор

Для регулювання натягу зворотної пружини використовується гвинт 6. Ізолятор 7 кріпиться в корпусі сигналізатора 8. За пони-



ження рівня зворотна пружина 5 повертає мембрану і контактний пристрій у вихідне положення. Таких сигналізаторів ставлять за висотою бункера декілька.

У деяких рівнемірах чутливим елементом є маятник, що замикає контакти сигналізуючого пристрою за досягнення матеріалом в бункері певного рівня (рис. 4.19). Крім маятників, в аналогічних пристроях широке застосування знайшли: лопатеві вертлюги, що загальмовуються під час зіткнення з поверхнею матеріалу; сталева стрічка або дротяний гнучкий щуп, що замикають контакти під час їхнього вивільнення з матеріалу в бункері.

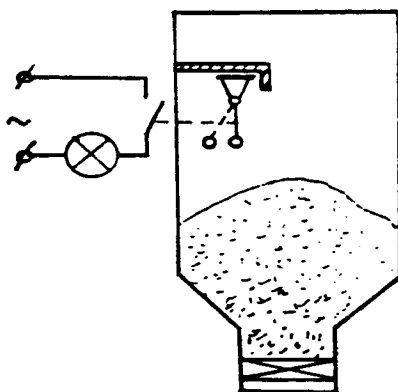
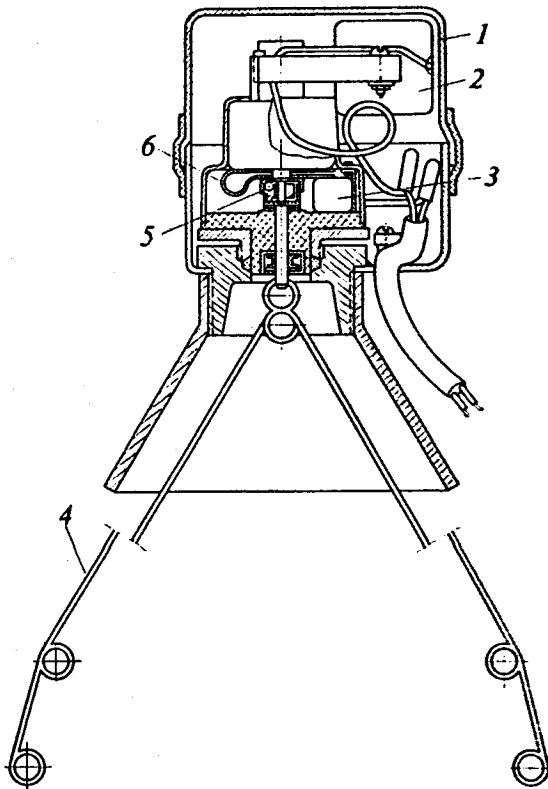


Рис. 4.19. Маятниковий сигналізатор рівня

В електромеханічних рівнемірах для роботи використовують різноманітні електромагнітні та електродвигунні пристрої.

Під час роботи приладу обертовий щуп приводиться в рух електродвигуном (рис. 4.20). Коли рівень сипкого матеріалу доходить до його кінців, обертання затримується. У цей час підіймається чашечка кулькової муфти, яка через пружину керує роботою мікроперемикача, який подає сигнал у коло керування або сигналізації. Якщо матеріал відсутній, гнучкий щуп знову починає обертатися, муфта і кнопка мікроперемикача повертаються пружиною знову у вихідне положення, подаючи сигнал у відповідні кола.



*Рис. 4.20. Конструкція перетворювача рівня з обертовим щупом:  
 1 – корпус; 2 – електродвигун; 3 – мікроперемикач; 4 – обертовий щуп;  
 5 – кулькова муфта; 6 – пружина*

Перетворювач рівня з обертовою лопаттю призначений для контролю граничних рівнів заповнення силосів дрібнокусковим матеріалом і може використовуватися для контролю рівнів цементу, піску, щебеню з величиною фракцій до 30 мм та інших подібних матеріалів (рис. 4.21).

Прилад встановлюють на накривці або стінці силосу, нагромаджувального чи витратного бункерів, а трубу опускають всередину до заданого рівня. Обертання лопаті здійснюється від електро-

двигуна через шнекову передачу. Коли матеріал у бункері підійметься до рівня лопаті і почне з нею стикатися, то він перешкоджатиме її обертанню. Через те, що двигун ще працює, а шнекове колесо загальмоване, то шнековий вал нагвинчуватиметься на колесо і переміщатиметься в осьовому напрямку валом електродвигуна, доки не натисне на штовхач кнопки мікроперемикача. Останній вимкне електродвигун і подасть сигнал у відповідні кола керування чи сигналізації.

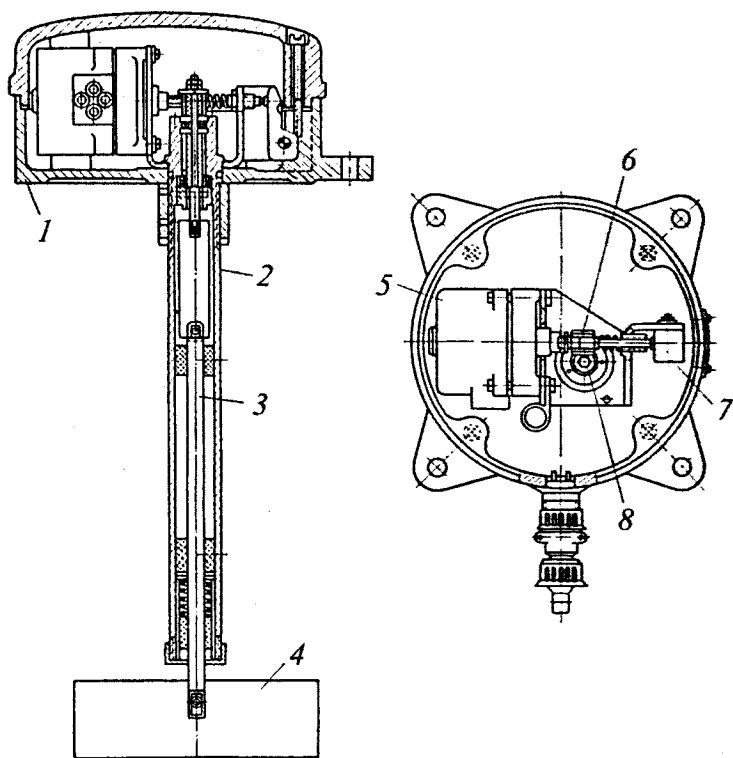


Рис. 4.21. Конструкція перетворювача рівня з обертвовою лопаттю (УКМ):

1 – корпус; 2 – напрямна трубка; 3 – вал; 4 – лопать;

5 – електродвигун; 6 – шнекова передача; 7 – мікроперемикач

#### 4.4. Автоматизація вимірювання рівня цементу в силосних складах

Вимірювання рівня цементу на заводах-виготовлювачах і заводах залізобетонних виробів має дуже важливе значення, а його складування має багато особливостей. Досвід експлуатації складів цементу засвідчує, що цемент із силосів вивантажують, як правило, не повністю унаслідок утворених зависань на стінках і в нижній частині, склепінь тощо. Об'єм завислого матеріалу може становити 10–30 % загальної ємності силосу, що приводить до неповного використання корисної його ємності, зумовлює перевитрату і втрати дефіцитного матеріалу через пониження його активності на 20–30 %.

Вимірювання рівня цементу в силосах здійснюють описаними вже пристроями (табл. 4.5 і 4.6). Для контролю наявності цементу в силосах, які обслуговують мобільні бетонозмішувальні установки, широко використовують системи із застосуванням тензометричних перетворювачів (рис. 4.22).

Таблиця 4.5

##### Технічні характеристики сигналізаторів рівня сипких і кускових матеріалів

Тип приладу	Принцип роботи	Вихід приладу	Чутливість
МДУ-2С	Діафрагмове реле	Контакти мікрореле, струм 2 А	0,7–0,8 Н
МДУ-2М			
СУ-1Ф	Реле рівня маятникове		5,5 Н
УКМ	Реле рівня із обертовими лопатями		
С-609М	Реле рівня із обертовим щупом		
УЭМ 1180	Електромеханічний лотовий рівнемір	Лічильник імпульсів	100 мм
СУС-11	Високочастотний резонансний рівнемір	Контакти реле	20 мм

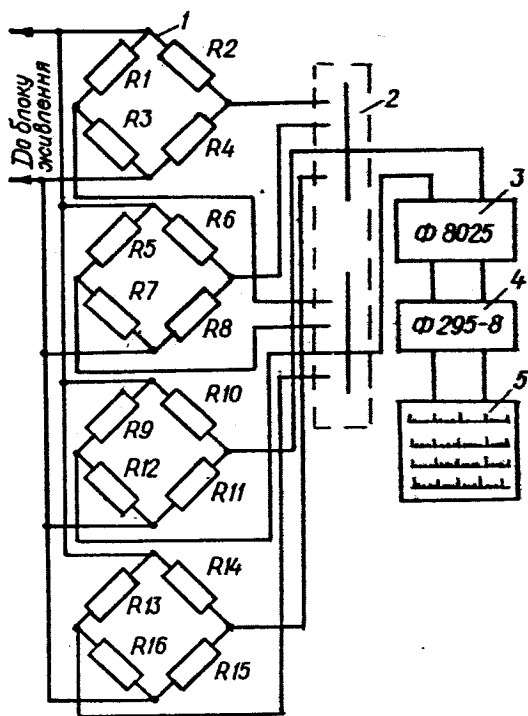


Рис. 4.22. Схема вимірювання рівня цементу у силосах за допомогою тензометричних перетворювачів:

1 – тензоперетворювачі; 2 – перемикачі; 3 – підсилювач постійного струму;  
4 – цифровий вольтметр; 5 – цифрове табло

На опорах кожного силосу встановлено чотири тензоперетворювачі, які з'єднано в мостову схему. Тензорезистори є первинними приладами, які сприймають деформацію опори під дією ваги цементу, що заповнює силос і перетворює її в електричний сигнал. Останній підсилюється швидкодіючим підсилювачем постійного струму (Φ8025) і подається на цифровий вольтметр типу Φ295-8. За допомогою перемикача відбувається опитування показань рівнів заповнення силосних бункерів цементом. Результат вимірювання висвічується на цифровому табло на пульті.

Таблиця 4.6

## Технічні характеристики деяких рівнемірів

Тип рівнеміра	Вимірюване середовище	Межі вимірювання, м	%, доп. похибка
Руда-Лот	Дрібнодисперсні сипкі матеріали (до 5 мм) та рідини	6; 10; 16; 20; 25; 35; 40	0,5
Акустичний рівнемір "ЭХО-5"	Сипкі матеріали від 5 до 300 мм та рідини	0,4; 0,6; 1; 4; 6; 10; 16; 20; 30	1,5
Сигналізатор рівня "ЭХО-5С"	Те саме	1-2,5; 2,5-4; 4-6; 6-10; 10-16; 16-20	1,5
Радіоізотопний слідкуючий рівнемір УР-8М	Рідини у відкритих і закритих резервуарах	0-2; 0-4; 0-6; 0-8; 0-10	1,5
Гамма-реле ГР-6; ГР-7	Для сигналізації рівня рідких і сипких матеріалів	-	-

Аналогічні системи і пристрої широко використовують і за кордоном. Фірма випускають велику кількість тензорезисторних вимірювачів із межами вимірювання від 20 кг до 100 тонн і більше.

## Розділ 5

# ВИМІРЮВАННЯ КІЛЬКОСТІ ТА ВИТРАТИ РЕЧОВИН

### 5.1. Класифікація методів і приладів для вимірювання витрати

Одними із найнеобхідніших вимірювань, які здійснюють на підприємствах із виробництва будівельних матеріалів та виробів, є вимірювання кількості та витрати. Причому такі вимірювання реалізують для усіх трьох станів речовин – рідких, газоподібних і сипких.

Кількість речовини виражають в одиницях об'єму або маси. В системі СІ за одиницю об'єму прийнято кубічний метр ( $\text{м}^3$ ), за одиницю маси – кілограм (кг). Кількість рідини з однаковою точністю можна вимірювати об'ємним і масовим методами, оскільки густина рідини за певної температури є величиною постійною для цієї рідини. Під час переходу від об'ємних одиниць до масових необхідно враховувати температуру рідини.

Залежність густини від температури виражається формулою

$$\rho_t = \rho_{20} \cdot [1 - \beta \cdot (20 - t_2)], \quad (5.1)$$

де  $\rho_{20}$  – густина рідини за температури  $20^\circ\text{C}$ ;  $\beta$  – температурний коефіцієнт об'ємного розширення рідини,  $1/^\circ\text{C}$ ;  $t_2$  – температура рідини,  $^\circ\text{C}$ .

Кількість газу вимірюють винятково об'ємним методом. Для одержання добрих результатів вимірювань необхідно об'єм газу

привести до нормальних умов: температура – 20 °С (293,15 К), тиск – 101325 Па (760 мм рт. ст.), відносна вологість  $\varphi=0$ . Для перерахування об'єму сухого газу  $V$  до об'єму  $V_n$  в нормальних умовах використовують формулу

$$V_n = V \cdot \frac{P}{P_n} \cdot \frac{T_n}{T \cdot K}, \quad (5.2)$$

де  $P$  – абсолютний тиск газу в робочому стані;  $P_n$  – тиск газу за нормальних умов;  $T$  – абсолютна температура газу в робочому стані,  $K$ ;  $T_n=293,15$  К – абсолютна температура, що відповідає стану газу за нормальних умов;  $K$  – коефіцієнт, що враховує відхилення реального газу від ідеального, тобто коефіцієнт стискуваності газу (за температури, меншої від 50 °С, і тиску, меншого від 0,49 МПа, коефіцієнт  $K$  практично дорівнює одиниці для усіх газів).

Під час переходу від об'ємних одиниць до масових необхідно привести до нормальних умов густину газу за формулою

$$\rho_n = \rho_p \cdot P_n \cdot \frac{T \cdot K}{P \cdot T_n}, \quad (5.3)$$

де  $\rho_p$  – густина сухого газу в робочому стані за даних значень  $P$  і  $T$ .

Густину газової суміші за нормальних умов визначають, враховуючи її склад, за формулою

$$\rho_n = \frac{V_1 \cdot \rho_{n1} + V_2 \cdot \rho_{n2} + \dots + V_n \cdot \rho_{nn}}{100}, \quad (5.4)$$

де  $V_1, V_2, \dots, V_n$  – об'ємний вміст компонентів у газовій суміші, %;  $\rho_{n1}, \rho_{n2}, \dots, \rho_{nn}$  – густина окремих компонентів, що входять у газову суміш за нормальних умов.

Прилади, які вимірюють кількість речовини, називають лічильниками. Вони вимірюють об'єм речовини, що протікає через них за будь-який проміжок часу: зміну, добу, місяць тощо. Кількість речовини при цьому визначають як різницю показів лічильника. Лічильники, як правило, є приладами прямого вимірювання і відлік за їхньою шкалою дає вимірювану величину без додаткових обчислень. Кількість речовини  $Q$  в одиницях об'єму, що перейшла через лічильник за вибраний проміжок часу  $\Delta\tau = \tau_2 - \tau_1$ , визначають із різниці показів лічильника  $N_2$  і  $N_1$ , які узяті в час  $\tau_2$  і  $\tau_1$ , тобто



$$Q = q_v (N_2 - N_1), \quad (5.5)$$

де  $q_v$  – стала лічильника, що визначає кількість речовини, яка припадає на одиницю показу лічильника.

Витратою називають кількість речовини, що проходить через цей переріз каналу за одиницю часу.

Розрізняють масову витрату, яку вимірюють у кілограмах за секунду (кг/с), і об'ємну – в кубічних метрах за секунду (м<sup>3</sup>/с). Прилади, які вимірюють витрату, називають витратомірами. Ці прилади можуть бути оснащені лічильниками (інтеграторами), тоді їх називають витратомірами з лічильниками. Вони дають змогу вимірювати одночасно і витрату, і кількість.

Витратоміри, які використовують для вимірювання витрати рідин і газів, поділяють на такі види:

- витратоміри змінного перепаду тиску;
- витратоміри постійного перепаду тиску;
- електромагнітні (індукційні) витратоміри;
- ультразвукові витратоміри;
- витратоміри змінного рівня;
- теплові витратоміри.

Два останні типи витратомірів у будівництві та виробництві будівельних матеріалів і конструкцій не застосовують, тому в подальших розділах їх не розглядатимемо.

Для твердих і сипких тіл користуються поняттям насипної або об'ємної маси. Насипна маса сипкого матеріалу не має для цієї речовини постійного значення; вона залежить від гранулометричного складу, тобто від кількісного вмісту частинок різних розмірів у загальній масі сипкого матеріалу. У зв'язку з цим, для одержання найточніших результатів кількість сипкого матеріалу визначають зважуванням.

Кількість сипких матеріалів у будівництві і на підприємствах будівельних матеріалів і конструкцій вимірюють дозаторами та конвеєрними вагами. Ці пристрої призначені або для одержання вимірювальної інформації та автоматичного порціонування потрібної маси, або для одержання вимірювальної інформації про об'єм чи масу речовини. Додаючи миттєві значення об'ємів чи мас дозованого матеріалу, знаходять витрату сипкого матеріалу за певні проміжки часу.

## 5.2. Вимірювання кількості рідин і газів

Кількість рідини або газу можна вимірювати лічильниками. За принципом дії лічильники поділяють на швидкісні та об'ємні. Для вимірювання кількості рідини використовують переважно об'ємні і швидкісні лічильники, для вимірювання об'єму газу – об'ємні лічильники. Для кожного лічильника існує певна мінімальна витрата, нижче від якої різко зростає основна похибка вимірювання.

Н о м і н а л ь н о ю називають найбільш тривалу витрату, за якої похибка вимірювання не виходить за межі встановлених норм, а витрата напору не створює в лічильнику зусиль, що призводять до швидкого зносу його деталей.

Х а р а к т е р н о ю витратою називають кількість речовини, яка проходить через лічильник за одну годину за усталеного потоку і втрати напору 0,1 МПа. Характерна витрата є умовною величиною і мірою оцінки лічильників різної конструкції.

Втрата напору являє собою різницю тисків на вході лічильника і виході з нього. Калібром лічильника називають діаметр умовного проходу вхідного патрубку, вираженого в міліметрах.

Для вимірювання кількості рідини використовують швидкісні лічильники. Принцип їхньої роботи ґрунтується на вимірюванні швидкості рухомого потоку. Кількість рідини пов'язана із середньою швидкістю рухомого потоку співвідношенням

$$Q = V_c \cdot S, \quad (5.6)$$

де  $V_c$  – середня швидкість руху рідини, м/с;  $S$  – поперечний переріз потоку, м<sup>2</sup>.

Про кількість рідини, яка пройшла через прилад, міркують за кількістю обертів лопатей вертлюга, розташованого на шляху потоку. Вважається, що швидкість обертання вертлюга пропорційна до середньої швидкості потоку:

$$n = C \cdot V_c, \quad (5.7)$$

а з урахуванням (5.6)

$$n = C \cdot (Q/S), \quad (5.8)$$

де  $n$  – кількість обертів вертлюга;  $C$  – коефіцієнт пропорційності, що характеризує механічні та гідравлічні властивості приладів.

За формою вертлюга швидкісні лічильники поділяють на дві групи: із гвинтовим вертлюгом і лопатевим. Гвинтові вертлюги розташовують паралельно до вимірюваного потоку, лопатеві – перпендикулярно до нього (рис. 5.1 а, б).

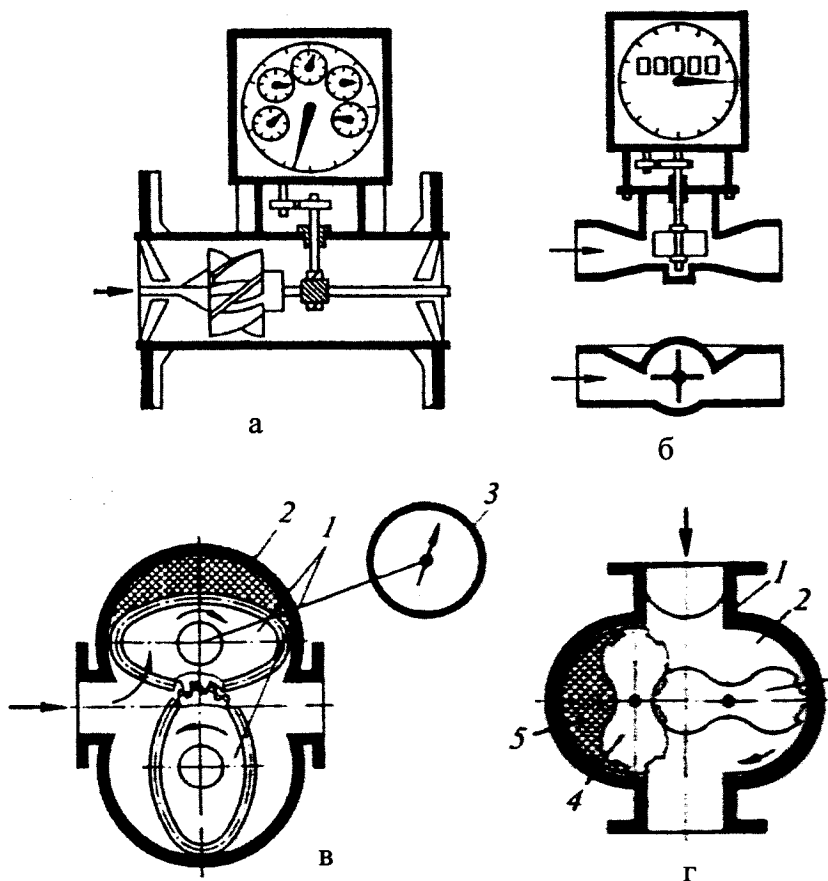
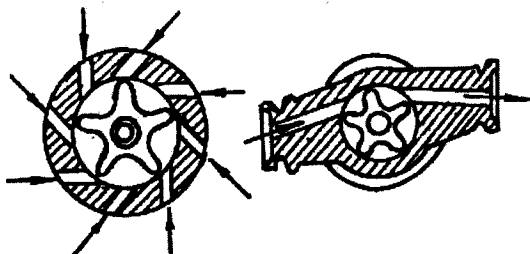


Рис. 5.1. Конструктивні схеми лічильників:  
 а – з гвинтовим вертлюгом; б – з лопатевим вертлюгом;  
 в – шестеренчастий (трибовий) лічильник; г – ротаційний лічильник

Лічильники із лопатевим вертлюгом залежно від способу підведення рідини поділяють на однострумнинні і багатострумнинні (рис. 5.2). Як в однострумнинних, так і в багатострумнинних лічильниках рідину підводять тангенціально до лопатей вертлюга. Лічильники з лопатевим вертлюгом встановлюють на горизонтальних ділянках трубопроводів.



*Рис. 5.2. Схема підведення речовини до багатострумнинного і однострумнинного лічильників*

Лічильники з гвинтовим вертлюгом використовують за тиску рідини до 1,0 МПа і за тривалого навантаження до 600 м<sup>3</sup>/год. Похибка лічильників – від  $\pm 2$  до 3 % дійсного значення.

Принцип дії об'ємних лічильників ґрунтується на вимірюванні об'єму рідини, яка витісняється із вимірювальної камери під дією різниці тисків, і додаванні результатів цих вимірювань. За конструкцією їх поділяють на шестеренчасті (трибові), ротаційні, поршневі і кулькові.

Шестеренчасті лічильники (рис. 5.1, в) з овальними шестірнями використовують насамперед для вимірювання кількості в'язких рідин. Лічильник враховує об'єм  $Z$ , що знаходиться між стінкою і шестірнею. Кількість рідини, яка проходить через лічильник, визначають за кількістю обертів овальних коліс лічильним механізмом. Похибка вимірювання становить  $\pm 0,5$  %.

Ротаційні лічильники призначені для вимірювання кількості неагресивного газу. Принцип роботи ротаційного лічильника показано на рис. 5.1, г. Газ із трубопроводу через вхідний патрубок 1

надходить у робочу камеру 2, обмежену двома роторами 3 і 4, що приводяться в обертовий рух газом, який перетікає через прилад. Вали роторів пов'язані зубчастими колесами, що знаходяться поза кожухом. Обертання від одного із валів передається лічильному механізмові. В положенні, зображеному на схемі, ротор 4 не обертається під дією газу (тиски по обидва боки від ротора однакові). На верхню частину ротора 3 діє газ з більшим тиском, ніж на нижню; він повертається, тягнучи за собою ротор 4. Коли ротор 3 стоїть вертикально, а ротор 4 – горизонтально, то він повертає ротор 3. За один оберт обидвох роторів об'єм газу, що проходить через прилад, дорівнює об'ємові вимірювальної камери 5.

Перепад тисків газу в лічильнику контролюється диференційним манометром. Похибка вимірювання становить 2–3 %. Такі лічильники використовують для вимірювання витрати від 40 до 10000 м<sup>3</sup>/год.

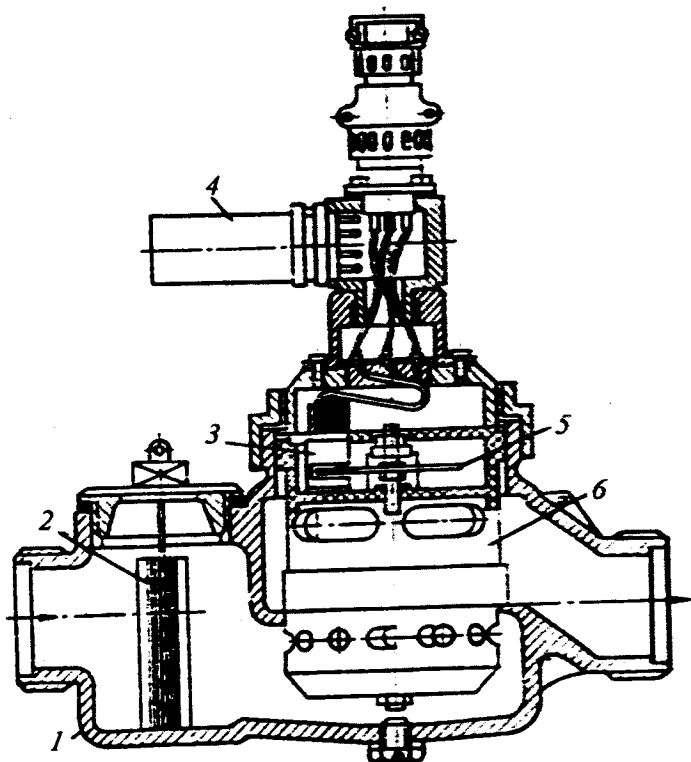
Поршневий лічильник складається із циліндра та поршня, що утворюють вимірювальну камеру. Рух поршня передається лічильному механізмові. Так само працюють діафрагмові лічильники, де роль поршня виконує еластична діафрагма. Діафрагмові лічильники широко використовують для обліку кількості газу, оскільки вони краще від інших герметизовані.

У кулькових лічильниках рухомим елементом є сталеві кульки, яка здійснює неперервний обертовий рух внутрішньою поверхнею камери у штучно закрученому потоці контрольованого середовища. Частота обертання кульки пропорційна до витрати рідини.

Лічильники з лопатевим та турбінним вертлюгом широко використовують для автоматизації обліку кількості і витрати та у різноманітних лічильниках-дозаторах. Конструкція лічильника-дозатора рідини показана на рис. 5.3. Рідина, потрапляючи через фільтр у камеру-вертлюг, починає його крутити. Разом з ним починає обертатися лічильний диск і його оберти перетворюються в безконтактному перетворювачі у пропорційний електричний сигнал, який через підсилювач подається на вторинний прилад.

Для дозування води під час приготування бетонної суміші використовують лічильники ДВК-40. Основна похибка –  $\pm 2$  %, верх-

ня границя показів лічильного вказівника – 150 л, робоча вимірювана кількість води – 30 л, температура води – до 40 °С. Дозування здійснюється оператором закриттям вентиля за збігу стрілки приладу з необхідною поділкою шкали, що відповідає необхідній дозі. Так само працюють дозатори для води і рідких додатків ДРТ-1.



*Рис. 5.3. Конструкція лічильника-дозатора рідини циклічної дії з автоматичним керуванням:*

*1 – корпус; 2 – фільтр; 3 – безконтактний перетворювач;  
4 – підсилювач; 5 – лічильний диск; 6 – камера-вертлюг*

Лічильник-дозатор води СДВ-80 призначений для подавання електричного сигналу після проходження попередньо заданої кількості

води, а також для сумарного обліку кількості води, що пройшла через лічильник. Тиск води – до 1,0 МПа, температура – 45 °С. Дози, які видає лічильник-дозатор – від 1000 до 4500 л за відносною похибки дозування –  $\pm 3\%$ .

Для захисту від заморожування дозатора взимку у камері турбінного вертлюга зроблено спеціальний зливний отвір.

Лічильники-дозатори мають багато переваг перед іншими типами таких пристроїв: велику продуктивність, вищу точність дозування, більшу надійність у роботі, малу вагу і габаритні розміри, весь процес дозування можна автоматизувати, для обліку їх обладнано спеціальними інтеграторами (табл. 5.1).

Таблиця 5.1

**Технічні характеристики  
лічильників кількості і витрати рідин і газів**

Тип лічильника або витратоміра	Діаметр умовного проходу, мм	Номінальна витрата, м <sup>3</sup> /год	Тиск середовища, МПа	Температура середовища, °С	Вимірюване середовище
1	2	3	4	5	6
<b>Шестеренчасті лічильники</b>					
ШЖУ-25М-16	25	3	1,6	-40–60	Неагресивні рідини, оліва
ШЖУ-40С-6	40	17	0,6	-40–60	
ШЖО-60-16	60	17	1,6	20–180	Тужавіючі неагресивні рідини
ШЖО-40-16	40	8,5	1,6	20–180	
ТМ2С-10/64	10	0,24 – 1,2	6,4	50–125	Мазут
ТМ2С-32/64	32	3,2 – 16	6,4	50–125	
<b>Лопатеві лічильники</b>					
ЛЖ-100-10	100	70	1,0	-50–50	Неагресивні рідини
ЛЖ-100П-64	150	70	6,4	-50–50	
ДВК-40	40	6,3	1,0	До 30	Холодна вода
ВСКМ-20	20	2,5	1,0	5–40	
ВСКМ-32	32	5	1,0	5–40	
ВСКМ-40	40	8	1,0	5–40	
ВСКМ-50	50	15	1,0	5–40	

1	2	3	4	5	6
<b>Камерні лічильники (поршневі витратоміри)</b>					
СМО-50	15	7,5–50	2	10–120	Мазут та інші неагресивні рідини, що мають мастильні властивості
СМ2-50		л/год			
СМО-100		15–100			
СМ2-100		л/год			
СМО-200		30–200			
СМ2-200		л/год			
СМО-400		50–400			
СМ2-400		л/год			
<b>Ротаційні об'ємні лічильники</b>					
РГ-40	40	40	0,1	5–50	Неагресивні горючі гази
РГ-100	65	100			
РГ-250	125	250			
<b>Турбінні лічильники води</b>					
СТВ-65	65	35	1,0	5–40	Холодна вода
СТВ-100	100	90			
СТВ-150	150	175			
ВД-180	180	140			
СТВГ-65	65	35		До 90	Гаряча вода
СТВГ-150	150	175			
СТВГД-II-65	65	25		20–120	З дистанційним передаванням показів
СТВГД-II-150	150	150			
СДВ-80	80	42			
<b>Кулькові витратоміри</b>					
ШРТ-0,1	3	0,1	2,5	5...100	Холодна і гаряча вода
ШРТ-6	20	6			
"Сатурн-32В"	32	3,15			

### 5.3. Вимірювання витрати методом змінного перепаду тиску

Витратоміри змінного перепаду тиску найрозповсюдженіші для вимірювання витрат рідин, газів і пари. Перепад тиску пропорційний до швидкості потоку речовини в спеціальному звукувальному пристрої, який розміщено у трубопроводі.



У комплект приладів для вимірювання витрати методом змінного перепаду тиску входять звужувальний пристрій, диференціальний манометр і з'єднувальні трубки. Такі прилади придатні для вимірювання практично будь-якої витрати однорідної рідини, газу або пари за значних тисків і різної температури контрольованого середовища. Змінюючи розміри звужувального пристрою, можна змінювати межі вимірювання витрати.

Для вимірювання витрати методом змінного перепаду тиску у трубопроводі, яким протікає рідка або газоподібна речовина, встановлюють звужувальний пристрій (діафрагму, сопло, сопло Вентурі), який створює місцеве звуження потоку (рис. 5.4). Внаслідок переходу частини потенційної енергії тиску в кінетичну енергію середня швидкість потоку у звуженому перерізі підвищується, в результаті чого статичний тиск у цьому перерізі стає меншим від статичного тиску перед звужувальним пристроєм. Різниця цих тисків (перепад тисків) тим більша, чим більша витрата протікаючої речовини.

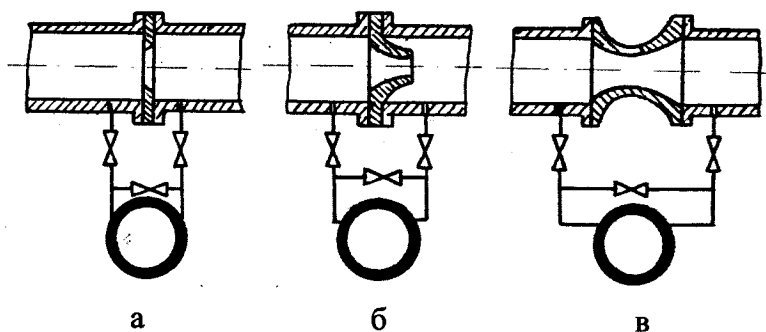


Рис. 5.4. Вимірювання витрати методом змінного перепаду тиску та встановлення звужувальних пристроїв на трубопроводі:  
 а – діафрагма; б – сопло; в – сопло (труба) Вентурі

Залежність між витратою нестискуваної рідини і перепадом тиску можна встановити, користуючись рівнянням Бернуллі і рівнянням нерозривності струменя:

$$S_1 \cdot V_1 = S_2 \cdot V_2. \quad (5.9)$$

Для двох перерізів потоку (I та II на рис. 5.5), в кожному із яких статичний тиск залишається сталим в усьому перерізі, згадані вище рівняння для горизонтального трубопроводу мають вигляд

$$\frac{P_1'}{2} + \frac{V_1^2}{2} = \frac{P_2'}{2} + \frac{V_2^2}{2}; \quad (5.10)$$

$$\rho_1 \cdot V_1 \cdot S_1 = \rho_2 \cdot V_2 \cdot S_2, \quad (5.11)$$

де  $S_1, V_1, P_1'$  – відповідно площа, середня швидкість і абсолютний статичний тиск в перерізі I;  $S_2, V_2, P_2'$  – те саме у перерізі II.

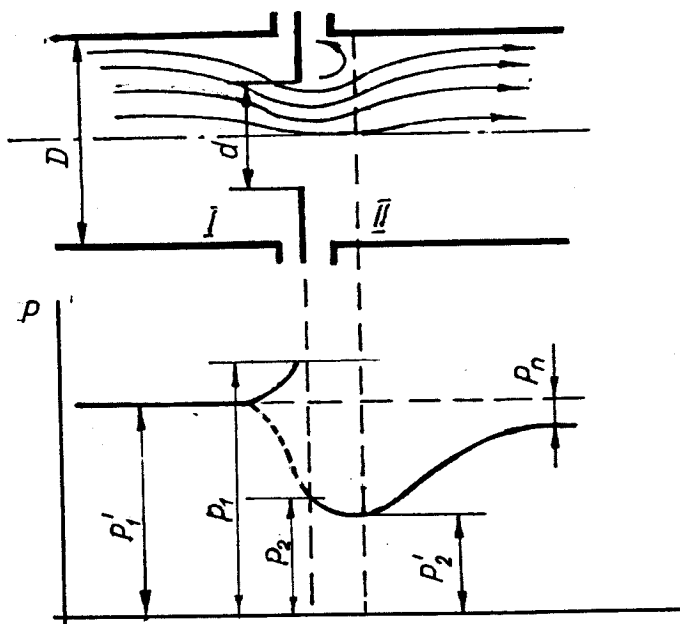


Рис. 5.5. Характер потоку і графік розподілу статичного тиску за встановлення звужувального пристрою в трубопроводі

У зв'язку з тим, що густину рідини  $\rho$ , яка проходить через звужувальний пристрій, практично можна вважати незмінною ( $\rho_1 = \rho_2$ ), то

$$P_1' - P_2' = \frac{\rho}{2} \cdot (V_2^2 - V_1^2); \quad (5.12)$$

$$V_1 \cdot S_1 = V_2 \cdot S_2. \quad (5.13)$$

Звідки

$$V_2 = \frac{S_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^2}} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot (P_1' - P_2')}. \quad (5.14)$$

Об'ємна витрата  $Q_0$  дорівнює добутку швидкості на площу перерізу потоку:

$$Q_0 = V_0 \cdot S_2. \quad (5.15)$$

Одержане рівняння не враховує нерівномірного розподілу швидкостей перерізом потоку, обумовленого впливом в'язкості реальної рідини і тертя її до стінок трубопроводу і звужувального пристрою. Практично перепад тиску вимірюють безпосередньо поблизу торців звужувального пристрою, а замість площі поперечного перерізу потоку  $S_2$  використовують площу отвору звужувального пристрою.

Якщо вищеперелічені відхилення врахувати введенням коефіцієнта  $\alpha$ , який називають коефіцієнтом витрати, то рівняння для об'ємної витрати матиме вигляд

$$Q_0 = \alpha \cdot S_0 \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot \Delta P}, \quad (5.16)$$

де  $\Delta P = P_1 - P_2$  – перепад тиску, який виміряний безпосередньо біля торців звужувального пристрою.

Масова витрата  $Q_m$  дорівнює добутку об'ємної витрати на густину рідини:

$$Q_m = \alpha \cdot S_0 \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot \Delta P}. \quad (5.17)$$

Коефіцієнт витрати  $\alpha$  не залежить від роду протікаючої речовини, а залежить від типу звужувального пристрою і числа Рейнольдса.

Під час вимірювання витрати стискуваних речовин (газ, пара) вводиться поправковий коефіцієнт  $\epsilon$ , який враховує розширення

(зміну густини) вимірюваного потоку речовини. Для нестискуваних речовин (рідин)  $\varepsilon = 1$ . Значення  $\varepsilon$  для газів і парів тим більше відрізняється від одиниці, чим більше співвідношення  $\frac{(P_1' - P_2')}{P}$ . Крім того,  $\varepsilon$  залежить від показника адіабати  $\chi$  і відносної площі  $m = d^2/D^2$ :

$$\varepsilon = f \left( \frac{P_1' - P_2'}{P}, m, \chi \right); \quad (5.18)$$

$$m = d^2/D^2. \quad (5.19)$$

Коефіцієнти  $\alpha$  та  $\varepsilon$  визначають для кожного типу звужувального пристрою за відповідними графіками або аналітичними залежностями, наведеними у спеціальних стандартах.

Очевидно, що залежність між  $Q_0$  і  $(P_1' - P_2')$  в (5.18) буде однозначною, якщо в процесі вимірювання витрати величини  $\alpha$ ,  $\varepsilon$ ,  $S_0$ ,  $\rho$  будуть постійними. Зміни цих величин вносять похибки вимірювань, які можна оцінити тільки в конкретних випадках.

Для вимірювання витрати газу, пари та води на заводах будівельної індустрії найчастіше використовують дискові діафрагми. Для трубопроводів з діаметрами 50–400 мм використовують камерні дискові діафрагми, виготовлені із нержавіючої сталі. Конструкцію дискової камерної діафрагми та її встановлення на трубопроводі показано на рис. 5.6. Від якості монтажу діафрагми залежить точність вимірювання витрати, тому тут необхідно дотримуватись багатьох вимог, обумовлених спеціальними стандартами (табл. 5.2).

Одним з різновидів методу змінного перепаду тиску є вимірювання витрати методом швидкісного напору. В цьому методі також використовують кінетичну енергію рухомого струменя. Згідно з рівнянням Бернуллі, кінетична енергія потоку середовища, віднесеного до одиниці масової витрати (швидкісний напір), виражається співвідношенням

$$H = a \cdot \frac{V^2}{2g}, \quad (5.20)$$

де  $H$  – швидкісний напір, м;  $a$  – коефіцієнт, що враховує нерівномірність поля швидкостей у потоці;  $V$  – швидкість руху середовища, м/с.

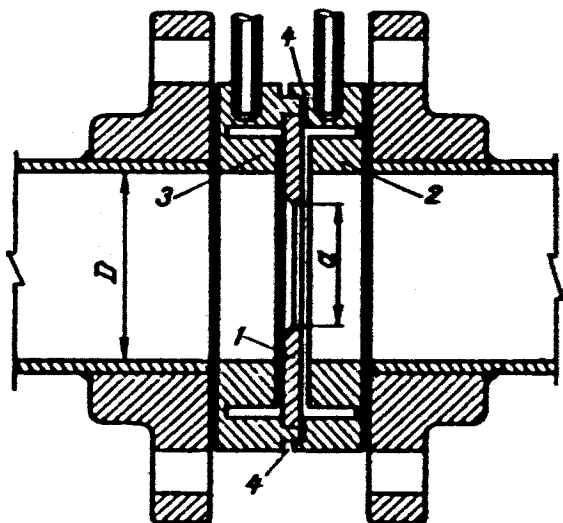


Рис. 5.6. Конструкція камерної дискової діафрагми та схема її встановлення на трубопроводі:  
1 – диск; 2 і 3 – кільцеві камери; 4 – прокладка із пароніту

Таблиця 5.2

### Технічні характеристики камерних (ДК) і безкамерних (ДБ) діафрагм

Тип діафрагми	Умовний тиск, МПа	Внутрішні діаметри трубопроводів, мм	Тип діафрагми	Умовний тиск, МПа	Внутрішні діаметри трубопроводів, мм
ДК6	0,6	50–520	ДБ10	1,0	400–1008
ДК16	1,6		ДБ16	1,6	
ДК25	2,5		ДБ25	2,5	
ДК40	4		ДБ40	4	500–710
ДК100	10	50–406	ДБ160	16	50–386
ДБ2,5	0,25	400–1208	ДБ200	20	50–376
ДБ6	0,6		ДБ250	25	50–405

Під час гальмування потоку середовища у будь-якому його перерізі кінетична енергія струменя створює надлишковий тиск:

$$P_n = d \cdot H = a \cdot \gamma \cdot \frac{V^2}{2g}, \quad (5.21)$$

де  $P_n$  – надлишковий тиск, Па;  $\gamma$  – питома вага середовища,  $\text{Н/м}^3$ .

Вимірюючи величину надлишкового тиску, можна визначити величину середньої швидкості у цьому перерізі. Якщо відоме поле швидкості в усьому перерізі каналу, то можна визначити і витрату.

До чутливих елементів, що працюють за принципом швидкісного напору, належать трубки швидкісного напору і елементи, які сприймають зміну гідродинамічного опору тіла. Принципову схему трубки швидкісного напору показано на рис. 5.7. У потік вимірюваного середовища вводять дві трубки, під'єднані до приладу вимірювання напору (невеликого тиску). Площина вхідного отвору однієї із трубок розташована перпендикулярно до напрямку потоку, а другої – паралельно до потоку. Гальмування рухомого середовища у перерізі трубки, що спрямована назустріч потокові, зумовлює підвищення тиску в ній. Сумарна величина тиску дорівнює статичному ( $P_{ст.}$ ) і динамічному ( $P_d$ ) тискам:

$$P_1 = P_{ст.} + P_d. \quad (5.22)$$

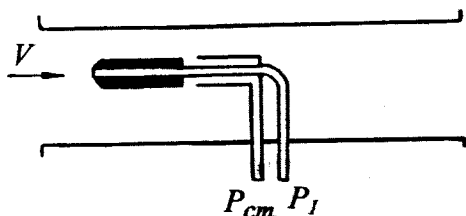


Рис. 5.7. Трубка швидкісного напору

Тиск в іншій трубці  $P_2$  дорівнює лише статичному тискові. Різниця тиску в трубках дорівнюватиме

$$P_1 - P_2 = P_d = a \cdot \gamma \cdot \frac{V^2}{2g}. \quad (5.23)$$

Трубки швидкісного напору не використовують для вимірювання витрати через незручності вибору точки вимірювання у перерізі трубопроводу, де можна було б вимірювати дійсну витрату. Їх найчастіше використовують як перетворювачі в системах стабілізації параметрів, що характеризують витрату речовини, яка проходить через трубопровід.

Трубки швидкісного напору найчастіше використовують для вимірювання швидкості потоку в різних точках перерізу та витрати у трубопроводах дуже великих діаметрів (наприклад, повітропроводів, димоходів тощо). Там же використовують трубки спеціальної конструкції – трубки мультиплікатори, виконані у вигляді труби Вентурі (рис. 5.8). Перепад тиску на мультиплікаторі фактично визначатиме витрату газу.

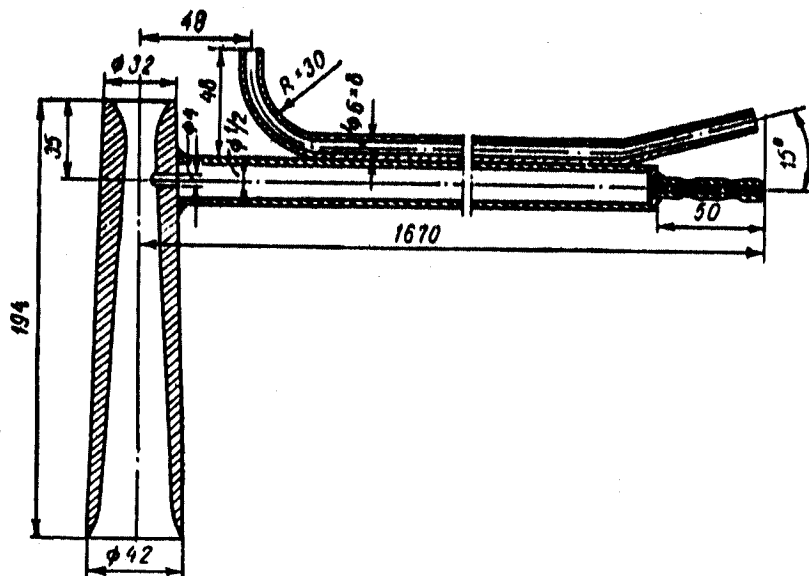


Рис. 5.8. Конструкція пневматичної трубки мультиплікатора

Під час вимірювання витрати повітря у повітропроводі мультиплікатором у вимірювальній трубці Вентурі швидкість повітря збільшується порівняно із швидкістю до звуження і це приводить до зменшення

тиску. Відбір статичного тиску проходить у звуженій частині пристрою, де статична складова досягає свого мінімуму. Оскільки величина повного тиску вимірюється у незбуреній частині потоку, перепад між повним тиском і штучно створеним статичним тиском стає більшим від динамічної складової потоку. Для вимірювання перепаду тиску, пропорційного до витрати, використовують стандартні диференційні тягоміри з максимальним перепадом тиску приблизно 30–50 кПа.

Мультиплікатор встановлюють на прямій ділянці потоку в повітропроводі, що не має місцевих звужень та опорів, так, щоб робоча частина приладу розташовувалась у центрі потоку. Пневматичні трубки вимагають індивідуального тарування.

#### 5.4. Витратоміри постійного перепаду тиску

Найрозповсюдженішими приладами цієї групи є витратоміри із поплавком, який вільно переміщається в корпусі (ротаметри). Принципова схема ротаметра показана на рис. 5.9. Потік рідини або газу, який проходить через ротаметр, знизу підіймає поплавок угору до того часу, поки розширена кільцева щілина між тілом поплавка і стінками конусної трубки не досягне такої величини, за якої діючі на поплавок сили зрівноважуються і він зупиняється на певній висоті. За незмінної витрати поплавок нерухомий.

У працюючому ротаметрі поплавок повністю занурений у вимірюване середовище. Вага зануреного поплавка  $G_1$  визначається за формулою

$$G_1 = V_n \cdot g \cdot (\rho_n - \rho_c), \quad (5.24)$$

де  $V_n$  – об'єм поплавка;  $\rho_n$  і  $\rho_c$  – густина поплавка і вимірюваного середовища;  $g$  – прискорення сили земного тяжіння.

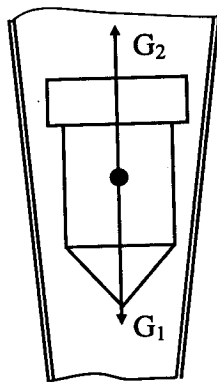


Рис. 5.9. Схема роботи ротаметра



Сила  $G_2$ , яка діє на поплавок з боку вимірюваного потоку, дорівнює

$$G_2 = (P_1 - P_2) \cdot S_0, \quad (5.25)$$

де  $P_1$  і  $P_2$  – тиск середовища перед поплавком і за ним;  $S_0$  – площа найбільшого поперечного перерізу поплавка.

У стані рівноваги (поплавок нерухомий)  $G_1 = G_2$ , тобто

$$V_{\text{п}} \cdot g \cdot (\rho_{\text{п}} - \rho_{\text{с}}) = (P_1 - P_2) \cdot S_0 \quad (5.26)$$

або

$$P_1 - P_2 = \frac{V_{\text{п}} \cdot g \cdot (\rho_{\text{п}} - \rho_{\text{с}})}{S_0}. \quad (5.27)$$

Із останнього рівняння бачимо, що незалежно від положення поплавка перепад тиску на ньому незмінний і не залежить від вимірюваної витрати. Це пояснюють постійністю швидкості вимірюваного середовища за зміни її

витрати, що обумовлено зміною площі кільцевого проміжку між поплавком і трубкою. Залежність положення поплавка від вимірюваної витрати – лінійна. Цим визначають рівномірність шкали ротаметра.

Ротаметри виконують із скляною або металевою трубкою. Для перетворення переміщення поплавка в електричний сигнал його з'єднують із осердям диференційно-трансформаторного перетворювача (рис. 5.10). Вимірювальну частину приладу виготовлено у вигляді металевого циліндра 1, в якому розміщено діафрагму 2. Всередині діафрагми переміщається конусний поплавок 3, який жорстко поєд-

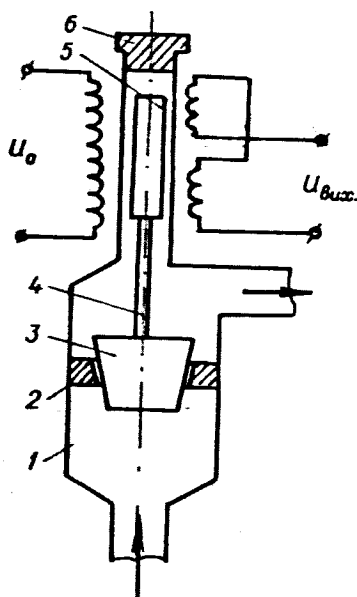


Рис. 5.10. Будова ротаметра із диференційно-трансформаторним перетворювачем

наний із штоком 4; на верхньому кінці штока закріплено осердя 5 диференційно-трансформаторного перетворювача. Осердя знаходиться всередині розділюючої трубки 6, на яку натягнуто котушку перетворювача. Безшкальні ротаметри працюють у комплекті із вторинним приладом з диференційно-трансформаторною системою передавання показів.

Ротаметри типу РЭ виготовляють на робочий тиск 0,6; 1,6; 6,4 МПа. Основна похибка комплексу (перетворювача і вторинного приладу) становить 3 % від верхньої границі вимірювань. Його поставляють у комплекті із вторинним приладом з диференційно-трансформаторною системою типу КСД або КВД (табл. 5.3)

Таблиця 5.3

**Технічні характеристики  
електричних загальнопромислових і спеціальних ротаметрів**

Тип ротаметра	Верхня границя вимірювання, м <sup>3</sup> /год	Діаметр умовного проходу, мм	Тип ротаметра	Верхня границя вим., м <sup>3</sup> /год	Діаметр умовного проходу, мм
РЭ-0,04Ж	0,04	6	ЭРНС-0,25ЖУ2	0,25	25
РЭ-0,16Ж	0,16	15	ЭРНС-1,6ЖУ2	1,6	25
РЭ-1Ж	1	25	ЭРНС-6,3ЖУ2	6,3	80
РЭ-2,5Ж	2,5	40	ЭРНС-10ЖУ2	10	80
РЭ-16Ж	16	100	ЭРНС-40ЖУ2	40	150
ВИР-0,1Ж	0,1	25	РЭВС-0,63ЖУ1	0,63	25
ВИР-4Ж	4	50	РЭВС-6,3ЖУ1	6,3	70
ВИР-40Ж	40	125	РЭВС-16ЖУ1	16	100

### 5.5. Електромагнітні витратоміри

Ці витратоміри поділяють на прилади з електромагнітним перетворювачем витрати і прилади з електромагнітним перетворювачем потоку. Робота приладів з електромагнітним перетворювачем витрати ґрунтується на взаємодії рухомої рідини із магнітним

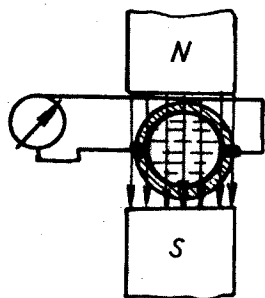


Рис. 5.11. Схема роботи індукційного витратоміра

полем. Ця взаємодія підпорядковується закону Фарадея, відповідно до якого в рідині, що перетинає магнітне поле, індукується електрорушійна сила, пропорційна до швидкості руху рідини.

Принципова схема електромагнітного індукційного витратоміра показана на рис. 5.11. Трубопровід із рідиною, що рухається в ньому, розміщений у магнітному полі. Його виготовляють із ізоляційного матеріалу і для цієї мети використовують фторопласт, ебоніт, гуму та інші матеріали залежно від

властивостей і хімічного складу вимірюваної рідини.

Відомо, що в рухомому провіднику, який перетинає силові лінії магнітного поля, індукується електрорушійна сила, величину якої визначають за формулою

$$E = B \cdot l \cdot V, \quad (5.28)$$

де  $E$  – електрорушійна сила (ЕРС), яка індукується в провіднику;  $B$  – магнітна індукція;  $l$  – довжина провідника;  $V$  – швидкість руху провідника.

Для рідини

$$E = B \cdot d \cdot V_c, \quad (5.29)$$

де  $d$  – внутрішній діаметр трубопроводу;  $V_c$  – середня швидкість протікання рідини через поперечний переріз труби в зоні індукованої ЕРС.

Із опису конструкції зрозуміло, що електромагнітний витратомір фактично є генератором, у якому провідником, що переміщається в магнітному полі, є електропровідна рідина. Провідність рідини повинна бути не меншою від  $10^{-3}$  Ом/м, що відповідає провідності води. У стінки трубопроводу введено електроди. До електродів приєднано високочутливий вимірювальний прилад, шкала якого проградуєвана в одиницях швидкості або одиницях витрати. Тут можна використовувати потенціометри і мілівольтметри.

Витрату визначають за формулою

$$Q = S \cdot V_c, \quad (5.30)$$

де  $S$  – площа поперечного перерізу труби.

Підставивши у рівняння (5.29) значення  $V_c$  із (5.30), одержимо

$$E = \frac{B \cdot d \cdot Q}{S} \quad (5.31)$$

або

$$E = K \cdot Q; \quad (5.32)$$

$$K = \frac{B \cdot d}{S}. \quad (5.33)$$

Електромагнітні витратоміри мають багато переваг. Вони практично безінерційні. Покази приладу не залежать від властивостей вимірюваної рідини і характеру потоку. Результат вимірювання не залежить від наявності в рідині кульок газу і нерозчинних частинок. Внаслідок лінійної залежності ЕРС від потоку рідини, шкала вторинного приладу лінійна, а основна допустима похибка становить 0,5–1,0 %. Найчастіше такі прилади мають уніфікований вихідний сигнал.

Електромагнітні витратоміри забезпечують вимірювання витрати в інтервалі 1,0–2500 м<sup>3</sup>/год і більше в трубопроводах із внутрішнім діаметром від 10 до 300 мм, за лінійної швидкості руху рідини ( $V_c$ ) – від 0,6 до 10 м/с.

Електромагнітні витратоміри використовують для вимірювання великих витрат рідин, їхні покази не залежать від параметрів контрольованого середовища (в'язкості, температури, хімічних властивостей, щільності), вони мають велику швидкодію, дають змогу вимірювати витрати абразивних і в'язких рідин та пульп. За відповідно підбраного матеріалу або застосування антикорозійного покриття такі витратоміри використовуються також для вимірювання витрати різних агресивних речовин.

Перетворювачі електромагнітних витратомірів не мають рухомих елементів і звужень. У цих приладах використовують змінне магнітне поле промислової частоти, за якої практично ліквідується вплив поляризації електродів на вихідний сигнал перетворювача.

Електромагнітні витратоміри широко застосовують для побудови інтелектуальних перетворювачів витрати. На рис. 5.12 показано структурну схему такого перетворювача фірми *Rosemount* компанії *Micro Motion* моделі 8712U. Цей перетворювач застосовують для вимірювання витрати (швидкості потоку), і він працює разом з електромагнітними первинними перетворювачами моделей 8701, 8703, 8705 тощо. Крім аналогового вихідного сигналу 4–20 мА, прилад має частотний вихідний сигнал 0–10 кГц. Перетворювач має вмонтований вторинний прилад, який застосовують для місцевого керування, і мікропроцесор. Такі перетворювачі можуть працювати з будь-якими вторинними приладами компанії *Micro Motion*. Для виконання процедур діагностування, конфігурування і зняття даних до приладу можуть під'єднувати комунікатор 268, що приймає і надсилає дані у перетворювач, не руйнуючи сигнал, який він надсилає на пульт керування. Комунікатор працює через протокол *HART*.

У промисловості широко застосовують пристрої, в яких використовують електромагнітні перетворювачі швидкості потоку. Їхня дія ґрунтується на зміні частоти обертання ротора осьової турбіни, яка поміщена в рухомий потік рідини. За турбулентного руху середовища частота обертання ротора лінійно пов'язана з об'ємною витратою. Під дією потоку рідини ротор турбіни обертається з частотою, пропорційною до витрати.

На рис. 5.13 показано схему витратоміра з електромагнітним перетворювачем. На осі разом з турбіною розташовано постійний магніт. Під час обертання ротора в котушці індукується ЕРС з частотою, яка вдвічі більша від частоти обертання ротора. Ця ЕРС вимірюється вторинним приладом, наприклад, електронним частотоміром.

Дещо відрізняються конструкція і робота електромагнітного витратоміра, який зображено на рис. 5.14. Первинний перетворювач являє собою котушку з осердям. Під час перетину магнітного поля котушки феромагнітними лопатями турбінки в котушці наводиться пульсуюча ЕРС, частота якої пропорційна до швидкості обертання ротора, а відповідно і до вимірюваної

витрати. Загальна кількість імпульсів, зареєстрована вимірвальним пристроєм за певний час, характеризує сумарну кількість рідини, а кількість імпульсів, відміряних за одиницю часу, характеризує витрату вимірюваного потоку.

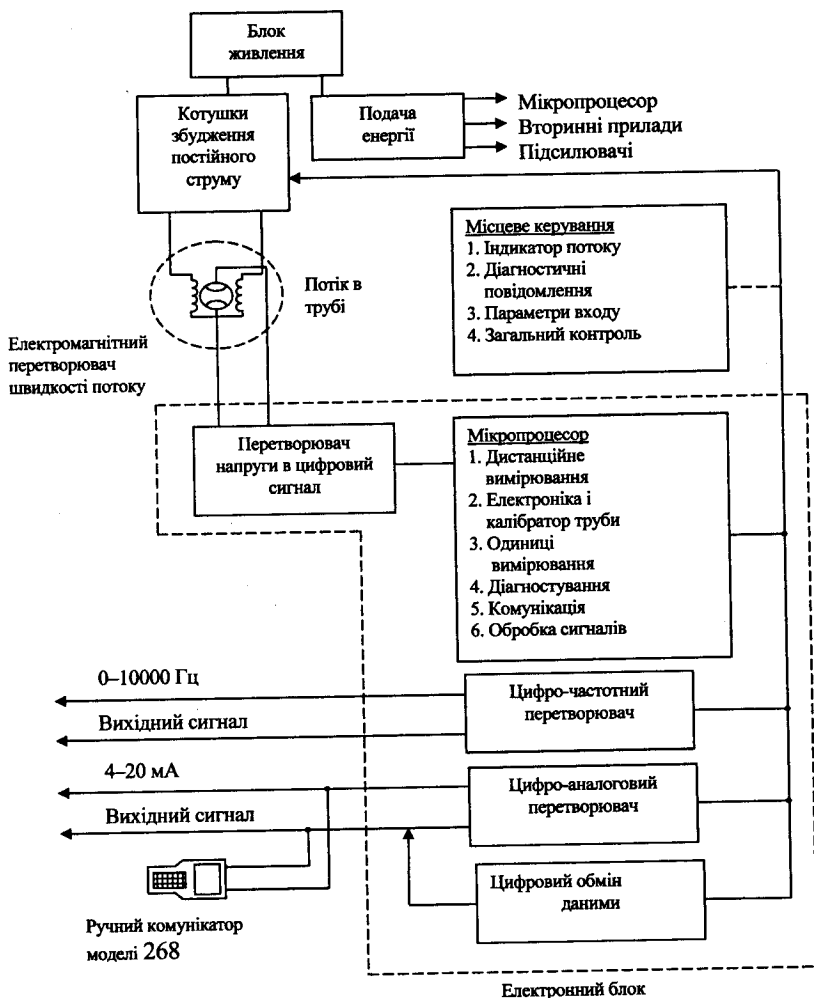


Рис. 5.12. Структурна схема інтелектуального перетворювача витрати

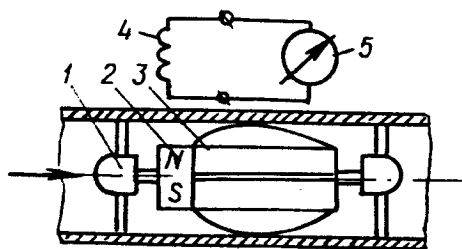


Рис. 5.13. Схема роботи витратоміра з електромагнітним перетворювачем потоку:  
1 – опори; 2 – постійний магніт; 3 – турбінний вертулюг;  
4 – котушка; 5 – вторинний прилад

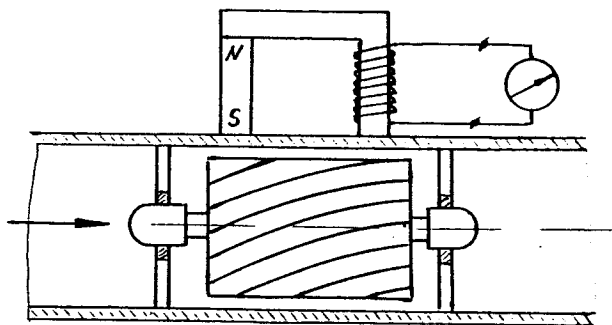


Рис. 5.14. Схема роботи витратоміра з електромагнітним перетворювачем і феромагнітною турбінкою

Турбінні витратоміри використовують для вимірювання витрати чистих рідин. Тверді домішки погіршують якість підшипників, збільшують тертя і похибку вимірювання. Витратомір вимагає індивідуального градування, оскільки його градування справедливе лише для одного розподілення швидкостей перерізом труби. Похибка вимірювання такими приладами становить 0,3–1,5 %. Прилади мають сталу часу до 50 мс (табл. 5.4 та 5.5).

Електромагнітні турбінні витратоміри використовують лише для вимірювання витрати води, деяких видів світлих нафтопродуктів, газу, повітря та інших неагресивних речовин.

Таблиця 5.4

### Технічні характеристики електромагнітних індукційних витратомірів

Тип витратоміра	Умовні діаметри, мм	Межі вимірювання, м <sup>3</sup> /год	Допустима похибка, %	Тиск у трубопроводі, МПа	Температура середовища, °С
“Індукция-61”	100, 125, 150, 200	Від 0–32 до 0–400	±1; ±1,5	0,25	-40–150
ИР-61	10; 15; 25; 50; 80; 100; 150; 200; 300	Від 0–0,32 до 0–1000	±1	2,5	-40–150
4РИМ	50; 70; 80; 100; 125; 150; 200	Від 0–8 до 0–400	±1,5	0,6	5–100
ЭРИС-1	400; 500; 600; 800; 1000	Від 0–400 до 0–12500	±2,5	0,6	0–80

Таблиця 5.5

### Технічні характеристики витратомірів з електромагнітним перетворювачем

Тип витратоміра	Вимірюване середовище	Межі вимірювання, м <sup>3</sup> /год	Умовні діаметри, мм	Тиск у трубопроводі, МПа	Температура середовища, °С
<b>Турбінні витратоміри-лічильники</b>					
ПРГ-100	Природний газ, повітря, інертні гази	До 100	65	0,6	0–50
ПРГ-200		До 200	80		
ПРГ-400		До 400	100		
ПРГ-800		До 800	150		
<b>Вихрові витратоміри</b>					
ВИР-50	Вода	32; 40; 50	50	0,25	5–95
ВИР-70		63; 80; 100	70		
ВИР-100		100; 125; 160; 200	100		
ВИР-150		200; 250; 315; 400	150		
<b>Струминні лічильники</b>					
РАСТР	Рідина з в'язкістю $2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$	10–10000 л/год	–	–	–



## 5.6. Ультразвукові витратоміри

Принцип роботи ультразвукових витратомірів ґрунтується на зміщенні ультразвукових коливань рухомою рідиною. В трубопроводі встановлюють два джерела і два приймачі ультразвукових коливань частотою 100...300 кГц. Якщо рідина в трубопроводі нерухома, то за швидкості ультразвуку  $C$  тривалість проходження імпульсу дорівнює

$$\tau = \frac{l}{C}, \quad (5.34)$$

де  $l$  – віддаль між випромінювачами і приймачами ультразвуку, м.

Під час переміщення рідини із швидкістю  $V_p$  час проходження ультразвуку за напрямком потоку  $\tau_1$  і назустріч йому  $\tau_2$  дорівнюватиме

$$\tau_1 = \frac{l}{(C + V_p)}; \quad (5.35)$$

$$\tau_2 = \frac{l}{(C - V_p)}. \quad (5.36)$$

Звідки

$$\Delta\tau = \tau_1 - \tau_2 = \frac{2 \cdot l \cdot V_p}{C^2 - V_p^2}. \quad (5.37)$$

Ця різниця часу проходження імпульсів за потоком і проти потоку є мірою витрати. Прилади такого типу використовують для вимірювання витрати пульп за малих діаметрів трубопроводів (від 10 мм) і швидкостей потоків не менше 0,02 м/с.

На рис. 5.15 показано схему ультразвукового витратоміра. Перетворювачі-випромінювачі 1 і 3 надсилають через стінку трубопроводу в струмінь вимірюваного середовища пружні коливання (за і проти потоку) з частотою ультразвуку, які переносяться рухомим середовищем. Швидкість руху середовища характеризується фазовим зсувом між вихідними коливаннями і прийнятими перетворювачами-приймачами 2 і 4 після проходження через середовище.

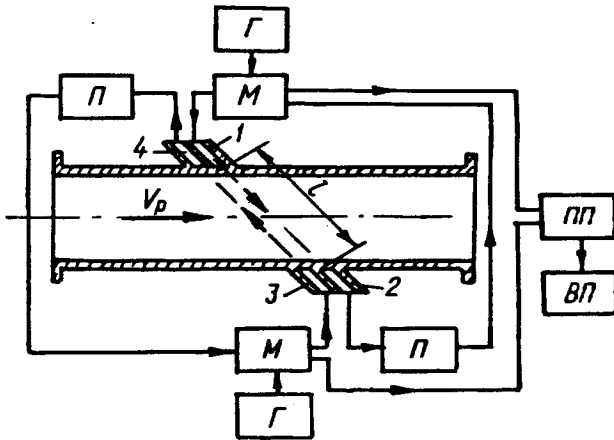


Рис. 5.15. Структурна схема ультразвукового витратоміра:  
 1, 3 – перетворювачі-випромінювачі; 2, 4 – перетворювачі-приймачі;  
 Г – генератор УЗК; М – модулятор; П – підсилювач; ПП – порівнювальний пристрій; ВП – вторинний прилад

Ультразвукові електричні коливання виробляються генератором УЗК і через модулятор подаються на перетворювачі-випромінювачі, які перетворюють ці коливання з електричних у механічні. Механічні ультразвукові коливання проходять через вимірюване середовище і надходять на перетворювачі-приймачі, де знову перетворюються в електричні і надходять на підсилювач, а з нього знову на модулятор. Тут вимірюється час проходження коливань через струмінь. В одному модуляторі вимірюється час проходження ультразвуку за потоком, у другому – проти потоку. Із модуляторів інформація подається у порівнювальний пристрій. Різниця між часом проходження ультразвукових коливань за і проти потоку вимірюється спеціальним вимірювальним пристроєм, шкала якого відградуєвана в одиницях витрати.

Максимальне віддалення п'єзоелектричних перетворювачів від вимірювального блока – 150 м, що обмежує їхнє використання в системах керування і регулювання.

## 5.7. Вимірювання витрати сипких матеріалів

На підприємствах будівельної індустрії вимірювання витрати сипких матеріалів (піску, щебеню, цементу) і рідин (води, додатків) здійснюють дозаторами. Вони можуть бути дискретної (циклічної) та неперервної дії. За способом вимірювання витрати їх поділяють на об'ємні та вагові.

Завдання дозування полягає в інтегруванні ваги матеріалу, який надходить на вантажноприймальний пристрій, та припиненні процесу інтегрування при досягненні заданої ваги.

Автоматичні дозатори повинні відповідати багатьом вимогам, які ставляться до них, як до елементів поточного виробництва, і допускати можливість регулювання продуктивності в широких межах. З іншого боку, регулювання продуктивності необхідне для зміни рецептури бетонної суміші під час технологічного процесу. Дозатори повинні забезпечувати потрібну точність і надійність. Це пояснюють важкими умовами роботи усіх механізмів і вузлів дозатора (запиленість, вологість, коливання температури, вібрації тощо), а також вимогами технологічного характеру.

Чинні нормативні документи ставлять високі вимоги до точності дозування матеріалів, що йдуть на приготування бетонів і розчинів. Державні стандарти передбачають дозування цементу, води і додатків з похибкою  $\pm 1\%$  і заповнювачів з похибкою  $\pm 2\%$ .

Дозатори для підприємств будівельної індустрії можна класифікувати за різними ознаками, зокрема:

- за матеріалами (для сипких і для рідких речовин);
- за принципом дозування (вагові, об'ємні і комбіновані);
- за принципом керування (з ручним керуванням, напівавтоматичні і автоматичні).

Вагові дозатори для сипких матеріалів і рідин класифікують:

- за принципом дії (неперервного і дискретного типу);
- за видом вимірювальних елементів вагових механізмів і первинних перетворювачів:

а) важільні;

д) магнітоанізотропні;

б) квадрантні;

е) пневматичні;

- в) пружинні;
- г) електротензометричні;
- за типом живильників:
  - а) з живильниками без вимушеного подавання матеріалу (гравітаційні);
  - б) з живильниками з вимушеним подаванням матеріалу (стрічкові, тарілчасті, шнекові, вібраційні, пластинчасті);
- за видом виконавчих механізмів або регуляторів дози і витрати (механічні, електричні, пневматичні, гідравлічні та комбіновані);
- за типом вантажоприймальних пристроїв;
- за видом реєструвальних механізмів і апаратів.

Найчастіше у дозаторах використовують силовимірювальні елементи таких типів:

- механічні (пружинні), деформація пружного тіла яких виникає під дією зусиль стиску чи розтягу і механічно передається на відліковий пристрій, що зумовлює переміщення стрілки приладу;
- гідравлічні, поршневого або месдозового типу, в яких гідростатичний тиск у силевій ланці змінюється під впливом діючих зусиль і передається на манометричний відліковий пристрій;
- електричні, в яких зусилля перетворюється в електричний сигнал.

Останнім часом розроблено і впроваджено дозатори, в яких передбачено введення поправок на вологість заповнювачів, що змінюється, а керування процесом дозування здійснює ЕОМ. Здебільшого такі системи побудовані на базі локальної мережі керуючих мікроЕОМ, що включають центральну ЕОМ і низку локальних керуючих пристроїв на базі однокристалльної ЕОМ.

### 5.7.1. Об'ємні дозатори циклічної дії

Об'ємні дозатори циклічної дії застосовують переважно для дозування рідин. Здебільшого вони являють собою автоматизовані рівнеміри з широким діапазоном вимірювання рівня. Найбільше їх застосовують для дозування води і додатків до бетонної суміші.

На рис. 5.16 показано схему електроконтактного об'ємного дозатора циклічної дії. У баку дозатора знаходиться гребінець електродів, кожен із яких відповідає певному об'єму рідини (певному рівню рідини). Кожний електрод виведений на універсальний перемикач SA, який використовується для вибору дози підключенням відповідного електрода до блока керування БК. За командою від пульта оператора блок керування БК перекриває вентиль В2 і відкриває вентиль В1. Вода починає надходити у бак дозатора. За досягнення рівнем рідини увімкнутого електрода знову спрацьовує блок керування і перекриває вентиль В1 та відкриває вентиль В2. Вода подається в точку дозування і через певний проміжок часу дозатор знову буде готовий до повторного запуску.

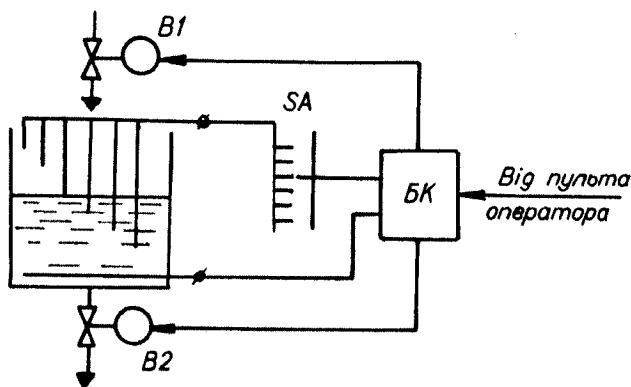


Рис. 5.16. Схема роботи електроконтактного об'ємного дозатора циклічної дії

Дозатори води і додатків працюють у загальній системі автоматики з іншими дозаторами сипких матеріалів. Керування ними здійснюють так, як і керування дозаторами сипких матеріалів.

Рідинні дозатори з об'ємним принципом дії за однакової точності порівняно з рідинними ваговими дозаторами значно простіші за конструкцією та менші за вагою. Тут відсутня важільна вагова система, що ускладнює роботу таких пристроїв, автоматизацію керування та підвищує їхню похибку. Описаний принцип об'ємного дозування можуть застосовувати і для сипких матеріалів, але він матиме більшу похибку.

На рис. 5.17 показано схему об'ємного дозатора води або додатків, виконаного на базі ємнісного рівнеміра. За командою від пульта оператора блок керування 6 перекриває вентиль В2 і відкриває вентиль В1. Вода надходить у бак дозатора. Рівень води в дозаторі змінюється і відповідно змінюється ємність перетворювача. Сигнал з ємнісного перетворювача 1 подається на вимірювальний блок 3 і далі на елемент порівняння 4, куди одночасно подається сигнал від задавача 5. За досягнення сигналом з вимірювального блока величини сигналу з задавача блок керування перекриває вентиль В1 і відкриває вентиль В2. Такі дозатори можуть працювати також і з неелектропровідними рідинами (табл. 5.6 і 5.7).

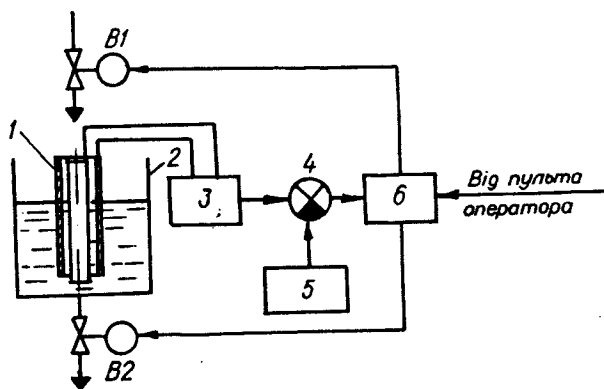


Рис. 5.17. Схема роботи об'ємного дозатора з ємнісним перетворювачем рівня

Таблиця 5.6

## Технічні характеристики об'ємних дозаторів рідин

Параметри	ДВК-40	ДАТ-1
Витрата рідини, м <sup>3</sup> /год	1,5–10	1,5–10
Межі вимірованих доз, л	≤127	≤250
Похибка дозування, %	±2	±2
Граничний робочий тиск, МПа	1	1
Ціна поділки шкали, л	1	1
Допустима температура рідини, °С	40	90
Напруга живлення, В	–	220
Споживана потужність, Вт	–	10

Таблиця 5.7

## Технічні характеристики об'ємних дозаторів для хімічних додатків

Параметри	ДоП-6-12У4	ДоП-25-12У4	ДоП-45-12У4
Межі дозування, л	0,8–6	6–25	16–45
Ціна поділки, л	0,05	0,2	0,5
Похибка дозування, %	±2	±2	±2
Тиск робочої мережі, МПа	0,07–1	0,07–1	0,07–1
Тривалість дозування, с	40	5	5
Споживана потужність, Вт	80	80	80
Маса конструкції, кг	120	180	190
Об'єм готового замісу, л	До 166	166–330	500–2000

## 5.7.2. Автоматичні вагові дозатори циклічної дії

Автоматичні вагові дозатори циклічної дії являють собою вагу з автоматичним зрівноважуванням і пристроєм, який керує подаванням матеріалу. Такі дозатори виконують одно-, дво-, три- і чотирифракційними. Їх широко використовують на різних підприємствах будівельної індустрії (рис. 5.18).

Однофракційні дозатори призначені для зважування одного виду матеріалу. У дво- і трифракційних дозаторах ваговий бункер розділений на два або на три відсіки. В таких дозаторах здійснюють

почергове відважування двох або трьох сортів чи фракцій матеріалу. Тривалість зважування дорівнює сумі тривалостей зважування двох або трьох сортів.

Система автоматизації дозаторів передбачає блокування окремих операцій: секторні шибири не можуть відкритися до того часу, поки не буде досягнуто заданої ваги; шибири не можуть закритися, поки не спорожниться ваговий бункер; дозатор не можна завантажувати новою порцією, поки не будуть закриті секторні шибири. Це особливо актуально для багатофракційних дозаторів (табл. 5.8 і 5.9).

Таблиця 5.8

**Технічні характеристики комплекту із чотирьох дозаторів циклічної дії**

Коротка технічна характеристика	ДИ-425	ДЦ-425	ДВ-425	ДБС-425
Вид дозованого матеріалу	Заповнювачі	Цемент	Вода	Додатки
Межі зважування, кг	100–600	До 120	20–100	1–12
Похибка від граничної дози, %	±2	±2	±2	±1
Кількість фракцій	2	2	1	1
Вага конструкції, кг	700	300	400	400

Таблиця 5.9

**Технічні характеристики двох комплектів із чотирьох дозаторів циклічної дії**

Коротка технічна характеристика	ДИ-1200	ДЦ-1200	ДВ-1200	ДБС-1200
Вид дозованого матеріалу	Заповнювачі	Цемент	Вода	Додатки
Граничне навантаження, кг	1200	300	200	12
Гранична доза для однієї фракції	600	300	200	12
Похибка від граничної ваги дози, %	±2	±1,5	±1	±1
Кількість фракцій	2	1	1	1
Вага конструкції, кг	1450	1200	1000	415

Вагові дозатори циклічної дії можуть працювати в автоматичному і автоматизованому режимах, за заздалегідь заданою програмою з місцевим і дистанційним керуванням та встановленням рецептів. В автоматичному режимі завантаження нагромаджувального бункера, дозування і вивантаження матеріалу із бункера дозатора



здійснюють автоматично без участі оператора. В автоматизованому режимі деякі операції, наприклад, вивантаження бункера дозатора, здійснюють за командою оператора із пульта керування. Електрична схема дозаторів забезпечує такий режим їхньої роботи.

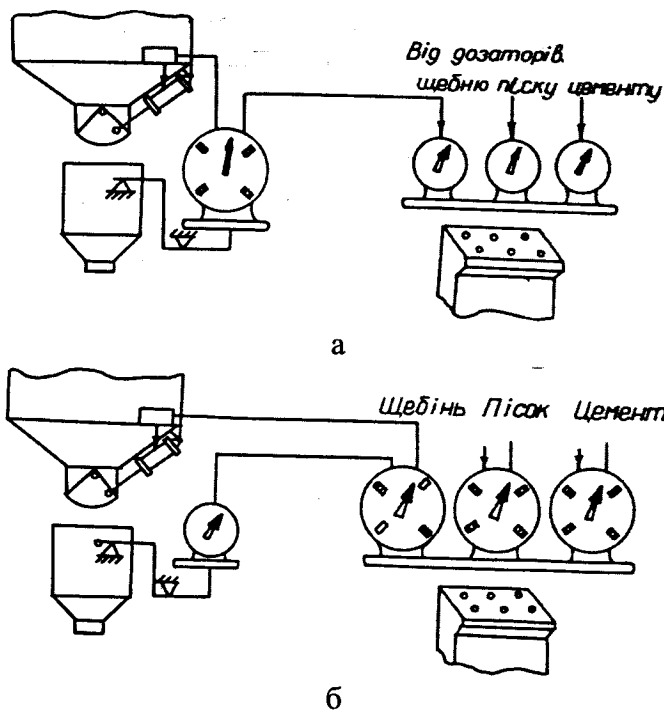


Рис. 5.18. Схеми роботи автоматичних вагових дозаторів циклічної дії:  
 а – з місцевим встановленням рецептів;  
 б – з дистанційним встановленням рецептів

Перетворювачі ваги встановлюються на ваговій головці, яку випускають у декількох модифікаціях: із місцевим встановленням рецептів; з місцевим встановленням рецептів і дистанційним передаванням показів (рис. 5.18, а); з дистанційним встановленням рецептів (рис. 5.18, б). Перетворювачами ваги в них використовуються безконтактні індуктивні шляхові вимикачі типу БК.

Конструкція циферблатної головки з безконтактними перетворювачами показана на рис. 5.19. Перетворювачі 1 встановлені з лицьового боку циферблатної головки, причому розташування кожного перетворювача відповідає одній із доз. Стрілка 2 циферблатної головки, повертаючись на осі 3, показує на шкалі 4 вагу матеріалу в бункері дозатора. Разом із стрілкою повертається металева пластинка-екран 5. У момент, коли екран увійде в паз безконтактного перетворювача, він спрацює і подає електричний сигнал у блок керування дозатором. Дози встановлюються спеціальним перемикачем із пульта оператора

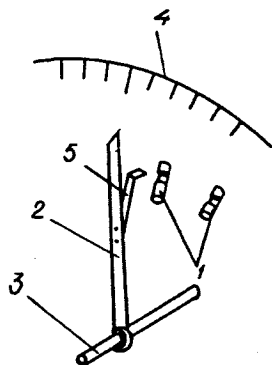


Рис. 5.19. Будова циферблатної головки з безконтактними перетворювачами

Для дистанційного передавання показів і дистанційного встановлення доз циферблатні головки часто обладнують сельсинами.

Використання циферблатних головок з безконтактними перетворювачами забезпечує достатньо високий ступінь автоматизації і надійність роботи технологічного обладнання для приготування бетонних і розчинних сумішей.

На рис. 5.20 зображено схему автоматичного вагового дозатора інертних матеріалів типу АВДИ. Дозатор складається із впускного секторного шибера 1, що приводиться в дію пневматичним циліндром 2. Зважування матеріалу відбувається в бункері 3 за допомогою системи важелів 4 і циферблатної головки 5. Випускний затвор 8 вагового бункера приводиться в дію пневмоциліндром 7. Робота дозатора в автоматичному режимі відбувається в такий спосіб. На пульті керування за допомогою перемикача SA (рис. 5.21) задається доза зважування потрібного складника. При цьому на циферблатній головці вмикається один із безконтактних перетворювачів БК. За командою "Пуск" з пульта керування відчиняється впускний шибер, і матеріал починає надходити у ваговий бункер дозатора. Під дією ваги матеріалу бункер опускається і це пере-

міщення через систему важелів подається на циферблатну головку. Стрілка повертається, і як тільки металева пластина-екран увійде в паз безконтактного перетворювача, він спрацює і подає електричний сигнал про досягнення заданої дози матеріалу. Одночасно подається напруга на електропневматичний клапан ЕПК1, який подає повітря у пневмоциліндр, що приводить у дію впускний шибер нагромаджувального бункера, припиняючи подавання матеріалу в бункер дозатора.

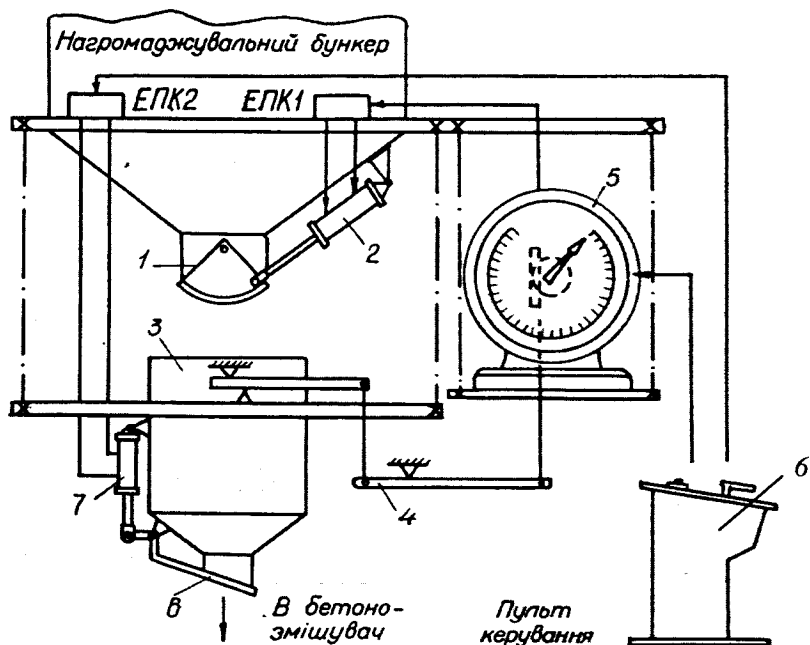


Рис. 5.20. Схема роботи автоматичного вагового дозатора циклічної дії:

- 1 – впускний секторний шибер; 2 – пневмоциліндр;
- 3 – ваговий бункер дозатора; 4 – система важелів;
- 5 – циферблатна головка; 6 – пульт керування;
- 7 – пневмоциліндр дозатора; 8 – заслінка дозатора

Коли в усіх дозаторах набрані потрібні дози компонентів, від керуючого пристрою надходить команда на висипання всіх

порцій у порожній бетонозмішувач. На цьому цикл дозування закінчується, і після повного висипання матеріалу дозатори готові до наступного циклу.

Знаючи кількість відважених доз та їхню величину, можна легко підрахувати витрату матеріалів за зміну, добу або інші проміжки часу. Для дозування цементу випускають дозатори циклічної дії АВДЦ-425, для інертних матеріалів – АВДИ-425, а для води і додатків – АВДЖ-425. Такі дозатори призначені для роботи з бетонозмішувачами ємністю до 500 літрів. Такий самий комплект дозаторів з індексом 1200 призначений для роботи з ємністю 1000–1200 літрів (див. табл. 5.8–5.10).

Таблиця 5.10

**Технічні характеристики вагових дозаторів неперервної дії**

Коротка технічна характеристика	С-633	С-633Д	С-864	С-781	С-804
Вид дозованого матеріалу	Заповнювачі	Заповнювачі	Заповнювачі	Цемент	Цемент
Регульована продуктивність, Т/год	7,5–35	12–68	5–75	5–20	3–15
Точність дозування, %	±2	±2	±2	±1	±2
Найбільший заповнювач, мм	40	40	7	–	–
Вага конструкції, кг	328	374	480	940	535

Здебільшого кількість заздалегідь встановлених порцій є більшою за 6, а перехід із одного складу бетону на інший доволі складний. У цьому разі для автоматизації вагового дозування складників бетонної суміші використовують уніфіковані циферблатні вказівники із стрілками задавачів. Вони являють собою стандартні вагові головки, оснащені додатково задавачами ваги порцій або сельсинами-задавачами, або тим та іншим одночасно (рис. 5.21).

Задавач устанавлюють з лицьового боку циферблатної головки (рис. 5.22). Для розташування задавача корпус головки збільшують за рахунок кільця, розташованого між корпусом і закритою накрив-

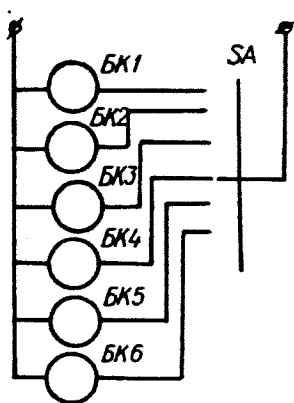


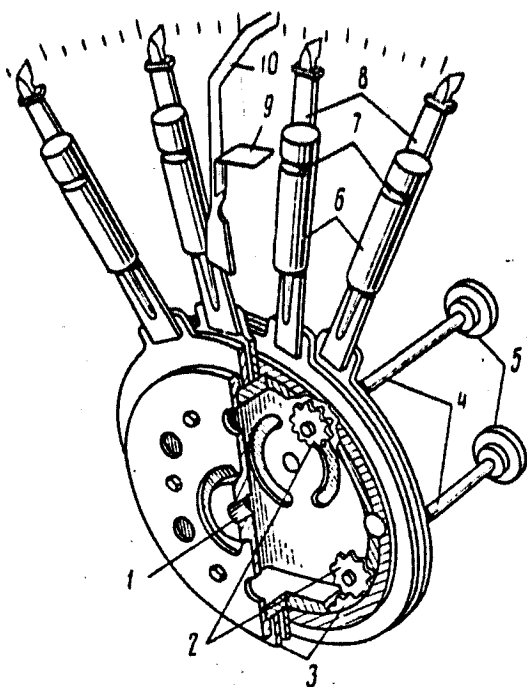
Рис. 5.21. Схема встановлення дози вмикання безконтактних перетворювачів

кою. Вагова стрілка 10 закріплена на подовженій осі (на рисунку не видно), що проходить через центральний отвір 1. Під час руху стрілки металевий екран 9 проходить робочий проміжок 7 перетворювача 6. Стрілки задавачів 8 (їх може бути 6) переставляють за допомогою ручок 5, які виведені через отвори у задній накривці. Під час обертання кожної із ручок обертається відповідна шестірня 2, що знаходиться у зчепленні з одним із зубчастих дисків 3, на яких закріплено стрілки задавачів 8 з перетворювачами 6.

У схожий спосіб працюють універсальні вказівники з рухомим диском, які застосовуються там, де

необхідно змінювати склад бетонної суміші і вводити поправки на вологість заповнювачів. Такі бетонно-розчинні вузли можуть видавати більше 10 марок бетону або розчину. В цьому разі використовують уніфіковані циферблатні головки з рухомим диском (рис. 5.23). Рухомий диск 13, до якого прикріплюють за допомогою хомутів 12 безконтактні перетворювачі, взаємодіє зі стрілкою 11 циферблатного вказівника стандартного типу. Диск закріплений співвісно із стрілкою на осі 8, змонтованою на підшипниках 6, на плиті 4, яка є одночасно основою для кріплення реверсивного двигуна 16. Для зменшення часу зупинки рухомого диска встановлено гальмо 3.

Рух від двигуна 16 на вісь 8 рухомого диска передається за допомогою шестерень 14 і 15. Передавальне число цих шестерень дає змогу одержувати кутові швидкості диска від 0,028 до 0,244 об/с. З шестірнею 14 знаходиться у зчепленні шестірня 5, закріплена на осі гальма 3, а також (за необхідності) шестірня 9, яка призначена для передавання обертового руху рухомому диску 13 з перетворювачем, що контролює кут повороту рухомого диска.

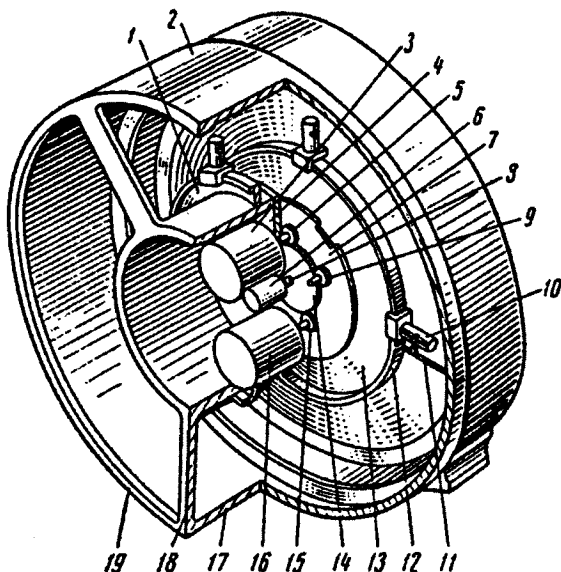


*Рис. 5.22. Конструктивна схема*

*уніфікованої циферблатної головки із стрілками задавачів:*

- 1 – центральний отвір; 2 – шестірня; 3 – зубчастий диск; 4 – осі;  
5 – ручки; 6 – безконтактні електронні перетворювачі; 7 – робочий  
пріміжок перетворювача; 8 – стрілки задавачів; 9 – металевий екран;  
10 – вагова стрілка*

На корпус 17 посаджено нерухомий диск 1, який має ту саму форму, що й рухомий диск 13. Цим створюється можливість встановлення перетворювачів для контролю фіксованих кутів повороту рухомого диска і плоских прапорців, які взаємодіють із вказаними перетворювачами рухомого і нерухомого дисків, що уможливило зближувати дві сусідні дози і збільшувати кількість порцій. Щоб запобігти обертанню рухомого диска на кут, більший, ніж  $360^\circ$ , передбачено мікроперемикач 7, змонтований на плиті 4. На осі 8 рухомого диска розташовано кулачок, який взаємодіє через важелі на мікроперемикач.



*Рис. 5.23. Схема циферблатного вказівника з рухомим диском:*

- 1 – нерухомий диск; 2 – оболонка; 3 – гальмо; 4 – плита;  
 5, 9, 14 і 15 – шестірні; 6 – підшипник; 7 – мікроперемикач; 8 – вісь;  
 10 – безконтактний електронний перетворювач; 11 – стрілка; 12 – хомут;  
 13 – рухомий диск; 16 – реверсивний електродвигун; 17 – корпус; 18 – спиці;  
 19 – рамка корпуса*

Перед сучасними системами автоматичного дозування стоять завдання, вирішення яких за допомогою традиційних автоматичних дозаторів прямого контролю зустрічає труднощі принципового характеру. Це передусім:

- а) забезпечення потрібної точності дозування із врахуванням динаміки надходження матеріалів у ваговий бункер дозатора;
- б) значне розширення робочих програм з метою отримання потрібної кількості марок і складів бетону;
- в) можливість швидкого переходу на нові дози компонентів;
- г) уведення автоматичного коригування доз залежно від вологості заповнювачів;
- д) можливість автоматичного обліку витрати матеріалів.

Удосконалення існуючих автоматичних дозаторів циклічної дії і систем дозування ведуть за такими напрямками:

1. Застосування в існуючих дозаторах перетворювачів ваги матеріалу в електричний сигнал з аналоговим або цифровим виходом.

2. Розробка безважільних вагових систем з прямим перетворенням ваги матеріалу в електричний сигнал.

3. Створення на їхній основі сучасних надійних і високопродуктивних уніфікованих систем дозування із застосуванням обчислювальної техніки.

У безважільних системах перетворення ваги матеріалу в електричний сигнал здійснюють за допомогою тензорезисторів або магнітопружних перетворювачів. Використання таких силовимірювачів зменшує габаритні розміри дозатора, підвищує надійність і дає можливість широко застосовувати повну автоматизацію процесу дозування із дистанційним передаванням показів. Із такими перетворювачами випускають дозатори типу С-781, С-884, С-880. Відомі такі зарубіжні дозатори: "Шенк", "Хаслер" (Швейцарія), "Сібермека" (Франція).

На рис. 5.24 показано схему автоматичного дозатора на магнітопружних перетворювачах. Дозатор має приймальний бункер 1, на якому жорстко закріплено три упори 5. Упори лежать безпосередньо на трьох магнітопружних перетворювачах 4, які закріплені на монтажному кільці 2 під кутом  $120^\circ$ . Останнє встановлено на кронштейні 3.

Сигнал, пропорційний до ваги дозованого матеріалу, з магнітопружних перетворювачів 4 подається на перетворювачі частоти 9, а потім на вхід інтегратора 10 і порівнювального пристрою 13 із задавачем дози 11, виконаним у вигляді генератора частоти.

Різниця сигналів із порівнювального пристрою 13 надходить на підсилювач 12 виконавчих механізмів 7 і 8 завантажувального пристрою. Для дистанційної реєстрації ваги дозованого матеріалу використовують прилад-самописець 14. Для вивантаження матеріалу із дозатора призначено вивантажувальний пристрій з шибером 17 і виконавчим механізмом 15 і 16.

У серійних дозаторах типу ДБ вантажноприймальний пристрій підвищують на важільному механізмі або на чотирьох тягах з



тензорезисторними перетворювачами типу ДСТБ-С-016. Конструкція такого перетворювача наведена в розділі 11.3. Ці дозатори призначені для роботи з обмеженою кількістю рецептів (до 6 і 12), а також за багатомарковою технологією з кількістю рецептів до 24 і більше.

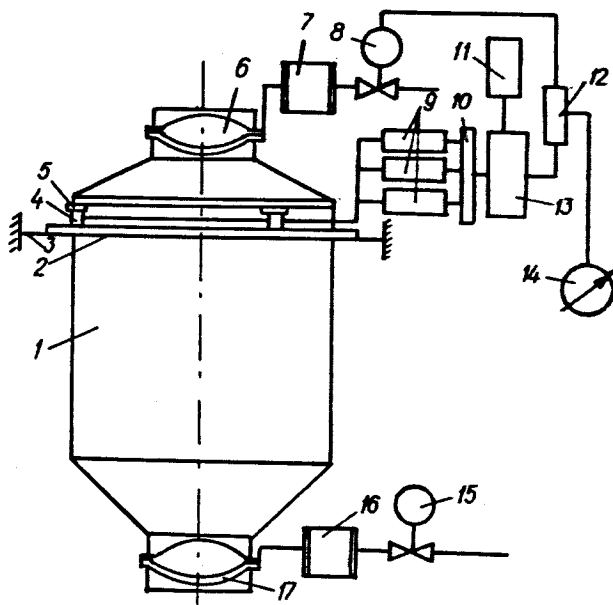


Рис. 5.24. Схема роботи автоматичного вагового дозатора на магнітопружних перетворювачах:

- 1 – приймальний бункер; 2 – монтажне кільце;
- 3 – кронштейн; 4 – магнітопружні перетворювачі; 5 – упори;
- 6 – завантажувальний пристрій; 7, 16 – виконавчі механізми;
- 9 – перетворювач частоти; 10 – інтегратор; 11 – задавач дози;
- 12 – підсилювач; 13 – порівнювальний пристрій; 14 – вимірювальний прилад;
- 8, 15 – електропневмоклапани; 17 – вивантажувальний пристрій

В останні роки для автоматизації обліку та керування дозаторами застосовують цифрові електронні обчислювальні машини. Сигнали з перетворювачів ваги перетворюються в уніфіковані електричні сигнали і подаються через аналогово-цифрові перетворювачі

на ЕОМ. Сигнали керування із ЕОМ через цифро-аналоговий перетворювач і формувач подаються на виконавчі механізми дозатора. ЕОМ керує процесом дозування, реєструє і підраховує витрату, вносить поправки на вологість і пористість заповнювачів тощо.

### **5.7.3. Автоматичні вагові дозатори неперервної дії**

Автоматичні вагові дозатори неперервної дії використовують для видавання постійної кількості матеріалу за вагою на одиницю часу. Вони вигідно відрізняються від дозаторів циклічної дії кращими характеристиками за вагою, габаритами, експлуатаційними затратами на приготування одиниці продукції і гнучкістю виконання завдань у різноманітних технологічних схемах. Такі дозатори дають змогу не тільки вимірювати, але й регулювати витрату сипких матеріалів у різноманітних технологічних процесах.

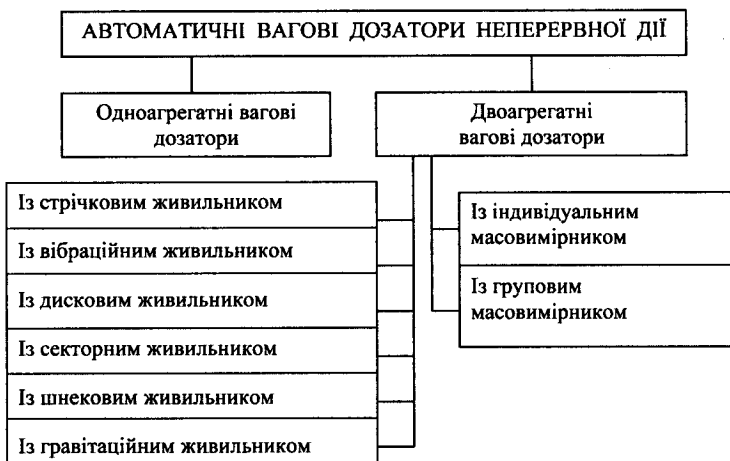
Дозатори неперервної дії поділяють на одноагрегатні і двоагрегатні. Двоагрегатні дозатори розрізняють за типом використуваного у них живильника (рис. 5.25). Найчастіше використовують автоматичні дозатори неперервної дії із стрічковим живильником, продуктивність якого визначають за формулою

$$Q = \frac{G \cdot V}{L}, \quad (5.38)$$

де  $Q$  – продуктивність стрічкового живильника;  $G$  – маса матеріалу на стрічці живильника;  $V$  – швидкість руху стрічки;  $L$  – довжина стрічки живильника.

Враховуючи формулу (5.38), такі дозатори поділяють на:

- 1) дозатори з регулюванням продуктивності за швидкістю руху транспортерної стрічки за постійної маси матеріалу на транспортері;
- 2) дозатори з регулюванням продуктивності за масою матеріалу на стрічці за постійної швидкості руху транспортера;
- 3) дозатори з регулюванням продуктивності за швидкістю руху транспортерної стрічки з урахуванням маси матеріалу на транспортері.



*Рис. 5.25. Класифікація автоматичних вагових дозаторів неперервної дії*

Однією з основних вимог до будь-яких типів дозаторів є забезпечення заданої точності дозування. Дозатори неперервної дії за цим параметром не поступаються ваговим дозаторам циклічної дії, але мають значно більшу продуктивність і меншу вагу.

Автоматичні вагові дозатори неперервної дії за принципом побудови систем автоматичного керування і регулювання поділяють на дозатори прямої дії і дозатори непрямої дії. Одні мають в одному агрегаті пристрої для зважування і зміни подавання дозованого матеріалу, інші – два самостійні агрегати: один для зміни подавання матеріалу, другий – для зважування дозованих матеріалів.

На рис. 5.26 показано кінематичну схему дозатора неперервної дії типу С-633Д з регулюванням швидкості руху і врахуванням маси матеріалу на транспортерній стрічці. Загальний вигляд цього дозатора зображено на рис. 5.27. Продуктивність дозатора може змінюватися в межах 12–68 м<sup>3</sup>/год за найбільшої величини заповнювачів до 40 мм і похибки дозування –  $\pm 2\%$ .

Дозатор складається із спеціального транспортера 5, що приводиться в рух електродвигуном 2 через редуктор 3 із змінним передавальним числом (варіатор), і механічної системи регулювання ваги матеріалу на стрічці транспортера.

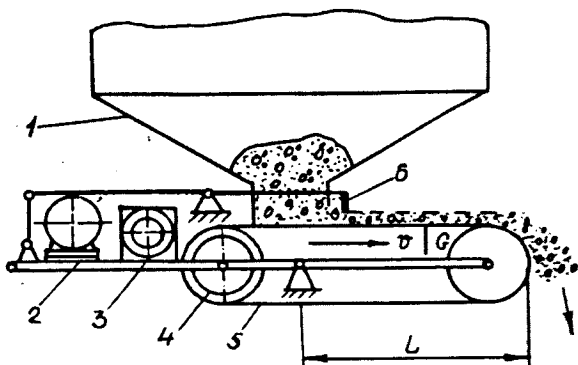


Рис. 5.26. Кінематична схема вагового дозатора неперервної дії:  
 1 – нагромаджувальний бункер; 2 – привідний електродвигун;  
 3 – варіатор; 4 – привідний барабан; 5 – живильник; 6 – заслінка

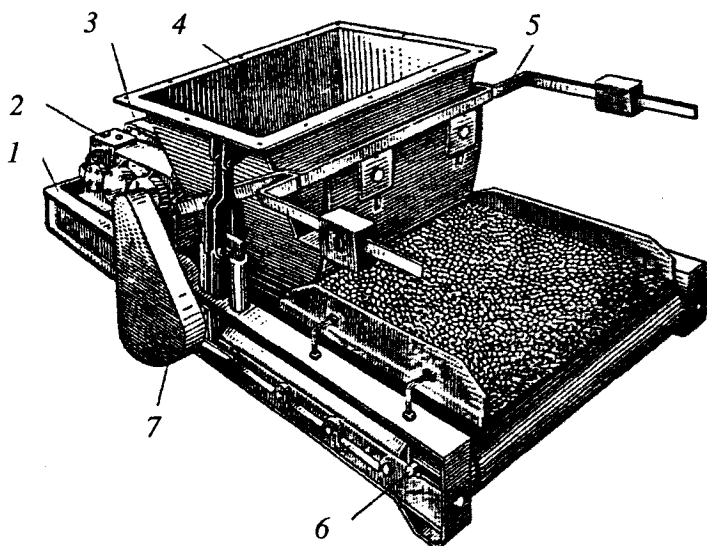


Рис. 5.27. Загальний вигляд вагового дозатора неперервної дії для заповнювачів С-633:  
 1 – рама; 2 – редуктор; 3 – ланцюговий пластинчастий варіатор;  
 4 – приймальний бункер; 5 – важільно-вагова система;  
 6 – вал натяжного барабана; 7 – ланцюгова передача

Матеріал на стрічку транспортера дозатора надходить із нагромаджувального бункера 1. Під дією ваги матеріалу, що знаходиться на стрічці, транспортер може коливатися навколо осі підвіски на невеликий кут. Конструктивно транспортер виконано так, що вісь його підвіски розташовано посередині вихідного отвору бункера з тим, щоб на рівновагу транспортера не впливала маса матеріалу, що знаходиться в нагромаджувальному бункері.

Коливання транспортера передається через систему важелів на заслінку 6, яка регулює висоту матеріалу на стрічці і, тим самим, його вагу. Отже, за незмінної ваги матеріалу на транспортері регулювати його продуктивність можна методом регулювання швидкості його руху. Для цього транспортер приводиться в рух електричним двигуном через варіатор, який може плавно змінювати передавальне число.

Децю інакше побудована робота дозатора С-864, зображеного на рис. 5.28. У дучці є дві змінні заслінки. Під час дозування піску і щебеню фракцій до 20 мм з продуктивністю 5–25 т/год висота шару матеріалу на стрічці повинна становити приблизно 60 мм, а фракцій – до 40 мм, висота матеріалу на стрічці повинна сягати приблизно 110–120 мм. Під час дозування піску і щебеню фракцій 40–70 мм продуктивністю 15–75 т/год висота шару матеріалу на стрічці повинна бути приблизно 180 мм.

Кронштейн 4 – змінний. За висоти шару матеріалу на стрічці до 125 мм встановлюють кронштейн з малим вильотом, за великих шарів – з великим вильотом. Відповідно переставляють тягу 6.

Електрична схема дозатора влаштована в такий спосіб, що за допомогою тахогенератора 2 забезпечується автоматичне регулювання величини, яка пропорційна до добутку швидкості стрічки транспортера на вагу матеріалу на стрічці.

Принципова електрична схема системи керування дозатора неперервної дії з динамометричним перетворювачем передбачає можливість автоматичного регулювання продуктивності дозатора визначенням добутку ваги матеріалу, який знаходиться у цей час на стрічці транспортера, на її швидкість. Матеріал надходить із бункера через дучку на стрічку вагового транспортера маятникового типу, одна опора якого являє собою динамометричне кільце із вмонто-

ваним диференційно-трансформаторним перетворювачем (див. розділ 11.3). Деформація кільця, яка пропорційна до ваги матеріалу на стрічці транспортера, перетворюється через важільний передавач у переміщення осердя перетворювача.

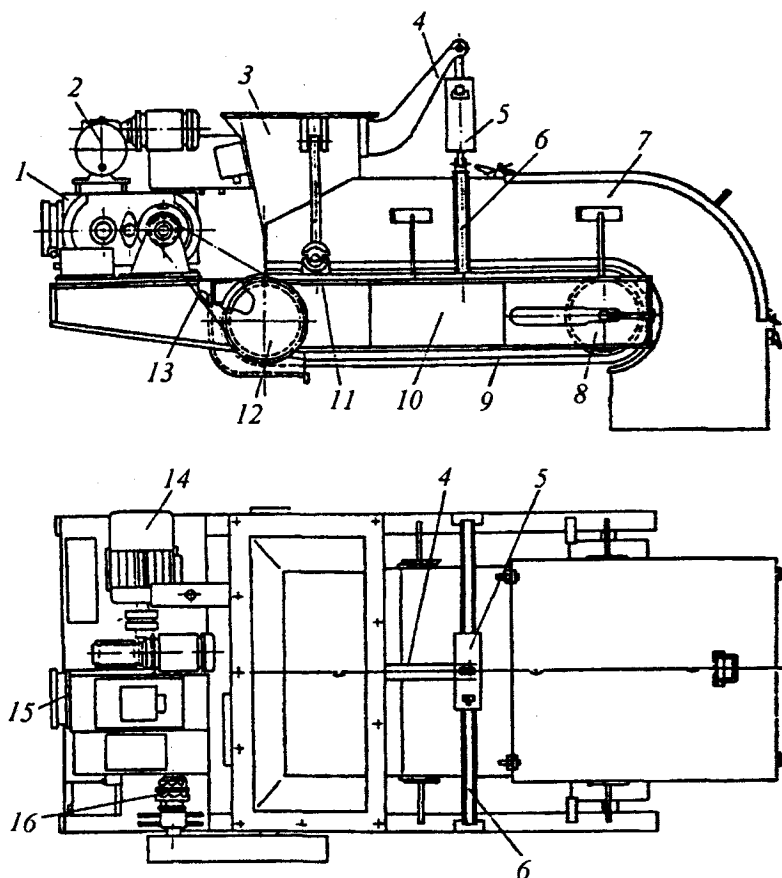


Рис. 5.28. Конструкція вагового дозатора С-864 для заповнювачів:  
 1 – привід; 2 – тахогенератор; 3 – дучка; 4 – кронштейн;  
 5 – динамометричний перетворювач; 6 – тяга; 7 – кожух; 8 – натяжний барабан; 9 – стрічка; 10 – конвеєр; 11 – шарнірні опори; 12 – привідний барабан; 13 – ланцюгова передача; 14 – електродвигун; 15 – варіатор; 16 – кулачкова муфта

Принципова електрична схема регулювання швидкості зображена на рис. 5.29. Електронний регулятор живиться від змінної напруги 220 В через стабілізатор. Змінна напруга, що знімається з регулятора, випрямляється за допомогою мостового випрямляча VD1...VD4 і подається на змінний опір  $R_3$ , за допомогою якого задається швидкість руху транспортерної стрічки дозатора. Отже, напруга  $U_3$ , що знімається із змінного опору  $R_3$ , відповідає заданій швидкості руху стрічки.

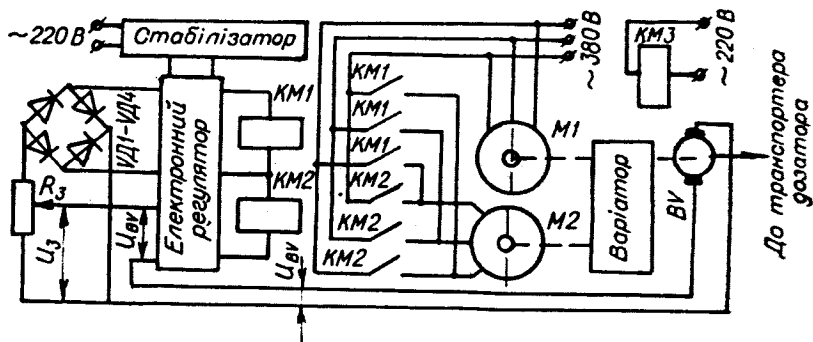


Рис. 5.29. Принципова електрична схема регулювання швидкості руху стрічки транспортера дозатора неперервної дії

Фактична швидкість руху стрічки вимірюється за допомогою тахогенератора BV, змонтованого на вихідному валу варіатора. Напруга  $U_{BV}$  відповідає фактичній швидкості руху стрічки  $V_{\phi}$ . Обидві напруги  $U_3$  та  $U_{BV}$  увімкнуті назустріч одна одній, і результуюча напруга подається на вхід електронного регулятора.

Якщо в процесі роботи дозатора фактична швидкість руху транспортерної стрічки відповідає заданій, то

$$U_{ВХ} = U_3 - U_{BV} = 0, \quad (5.39)$$

і електронний регулятор не виробляє команди на коригування швидкості. Якщо ж швидкість транспортерної стрічки відхилилась від заданої, то на вхід електронного регулятора надходить результуюча напруга  $U_{ВХ}$ , полярність якої залежить від того, в який бік (більший чи менший) швидкість  $V_{\phi}$  відхилилась від  $V_3$ . Електронний регулятор подає напругу на один із магнітних пускачів KM1 або

КМ2, які, своєю чергою, замикають контакти в колі живлення двигуна М2. Малогабаритний виконавчий двигун М2 змінює передавальне число варіатора до того часу, доки  $V_{\phi}$  не зрівняється з  $V_3$ , тобто доки  $U_{ВХ}$  не дорівнюватиме нулю.

Електромагнітна муфта КМ3 використовується для від'єднання транспортера від варіатора під час переходу на іншу швидкість руху (іншу марку бетону).

У такий самий спосіб здійснюють регулювання швидкості руху стрічкового живильника у двоагрегатних дозаторах (рис. 5.30). Дозатор складається із стрічкового живильника з регульованим подаванням матеріалу, вагового транспортера консольного типу і системи автоматичного регулювання, яка підтримує задану вагу матеріалу на стрічці вагового транспортера регулювання швидкості руху стрічки живильника.

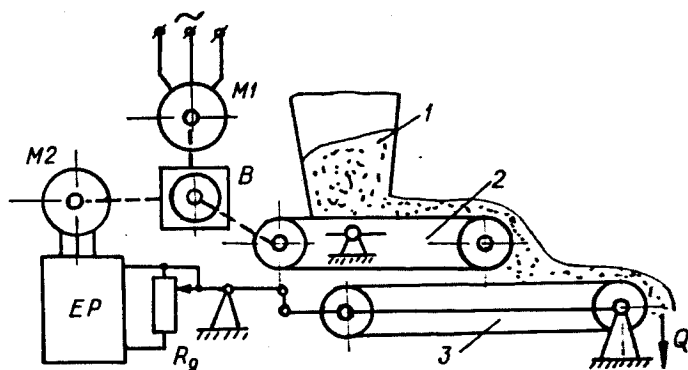


Рис. 5.30. Схема регулювання швидкості руху стрічки живильника у двоагрегатних дозаторах:

- 1 – нагромаджувальний бункер; 2 – стрічковий живильник;  
3 – ваговий транспортер

За зміни ваги матеріалу на стрічці вагового транспортера змінюється опір перетворювача  $R_d$  і електронний регулятор EP за допомогою малогабаритного двигуна М2 змінює швидкість руху живильника зміною передавального числа варіатора В.



### 5.7.4. Об'ємні дозатори неперервної дії

Об'ємні дозатори неперервної дії використовують як живильники неперервної дії значно частіше, ніж інші типи дозаторів, оскільки використання неперервного об'ємного дозування пов'язане із значними похибками під час подавання сипких матеріалів (рис. 5.31). Це зумовлено насамперед зміною об'ємної ваги матеріалів, нестійкістю заповнення бункерів матеріалами, коливанням обертів двигуна тощо. Тому у будівельній індустрії живильники неперервної дії використовують як автоматичні замки бункерних пристроїв або для спряження з системами автоматичного регулювання для підтримання постійності витрати.

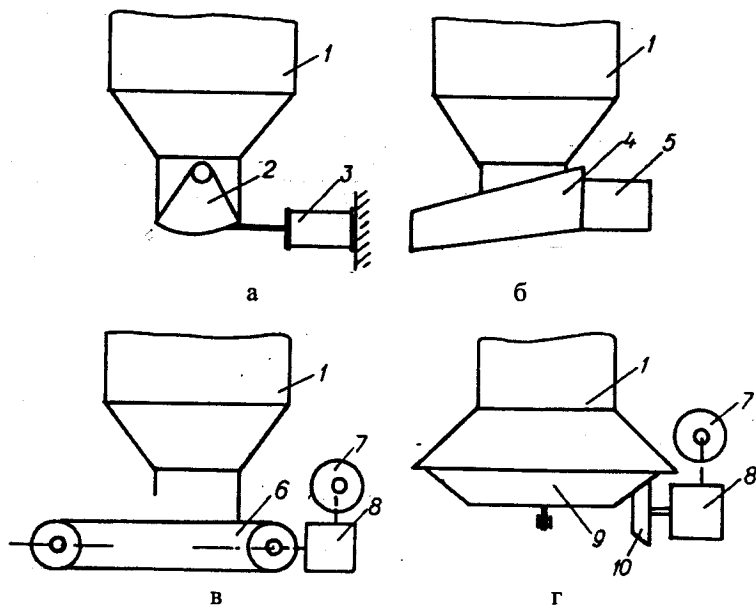


Рис. 5.31. Схеми об'ємних дозаторів неперервної дії:

- а – гравітаційний; б – вібраційний жолобовий; в – стрічковий; г – тарілчастий;  
1 – нагромаджувальний бункер; 2 – замок; 3 – пневмоциліндр; 4 – віброжолоб;  
5 – вібратор; 6 – транспортер; 7 – привідний електродвигун; 8 – редуктор;  
9 – тарілчастий живильник; 10 – механічна передача

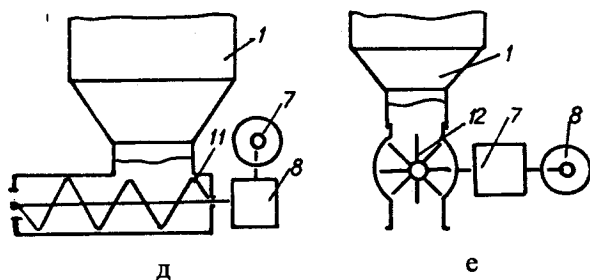


Рис. 5.31. (Продовження). Схеми об'ємних дозаторів неперервної дії:  
 д – шнековий; е – секторний; 1 – нагромаджувальний бункер; 7 – привідний  
 електродвигун; 8 – редуктор; 12 – секторний живильник

Для видавання із бункера, що не має дна, дрібно- і великокускових матеріалів широко застосовують вібраційні живильники, які регулюють подання матеріалу зміною амплітуди або частоти напруги, яка підводиться до електромагнітів живильника. Для порошкоподібних і тонкодисперсних матеріалів, які мають підвищену здатність до творення склепінь і самовитікання, використовують шнекові і секторні живильники. Для видавання середньокускових матеріалів можуть використовувати живильники, які регулюють витрату матеріалу зміною впускного перерізу або швидкості стрічки, що подає. Живильниками можуть бути також тарілки, з яких сходять більша або менша кількість матеріалу залежно від положення скидаючої заслінки (ножа).

## 5.8. Облік кількості сипких матеріалів

Для автоматичного обліку кількості сипких матеріалів широко розповсюджені конвеєрні ваги з пристроями для додавання і дистанційного передавання сигналів. За принципом вимірювання такі ваги поділяють на ваги дискретної і неперервної дії, і вони відрізняються принципом обліку матеріалу, переміщуваного стрічкою конвеєра.

Конвеєрні ваги з дискретною системою реєстрації побудовані на зважуванні ділянок стрічки конвеєра, що передають навантаження на вагу кожного разу, коли стрічка переміститься на довжину

ділянки, яка дорівнює теоретичній довжині платформи. На вазі цього типу за неперервного характеру переміщення матеріалу здійснюється дискретне зважування окремих ділянок стрічки конвеєра.

Автоматичні ваги неперервної дії призначені для неперервного зважування сипкого матеріалу, який переміщається стаціонарними стрічковими конвеєрами (транспортерами). Результати вимірювання фіксують на щиті ваги і встановленому дистанційному пульті вторинних приладів. Пульт вторинних приладів поставляють разом з вагою. Вага зважує з похибкою  $\pm 1\%$  за умови, що протягом  $85\%$  часу роботи ваги погонне навантаження змінюється у межах від половинного до максимального і за решта часу – від нуля до половини.

Облік кількості сипких матеріалів здійснюють з використанням перетворювачів, робота яких ґрунтується на різних принципах дії і конструктивних рішеннях. На рис. 5.32 показано структурну схему електротензорезисторної ваги. У ній напруга  $U$  тензоопорів перетворювача ваги ДВ, пропорційна до величини погонного навантаження  $q$ , надходить на вхід електронного підсилювача ЕП. Підсилена напруга  $U_q$  подається на керуючу обмотку виконавчого двигуна  $M$ . Останній пересуває повзунок помножувального потенціометра ПП. Одночасно через коло зворотного зв'язку  $ЗЗ$  на елемент порівняння подається напруга  $U_k$  протилежної до  $U$  фази. Коли різниця напруг  $\Delta U = U - U_k$  стане близькою до нуля, електродвигун зупиниться. Кут повертання вала електродвигуна  $\theta$  буде пропорційний до  $q$ . З тахогенератора ТГ, який приводиться в рух від опорного ролика або привідної зірочки конвеєра, напруга  $U_T$ , пропорційна до швидкості несучого полотна (стрічки конвеєра), подається на помножувальний потенціометр ПП, з якого на інтегратор  $I$  знімається напруга  $U_n$ , пропорційна до поточної продуктивності конвеєра:

$$U_n = q \cdot V. \quad (5.40)$$

Інтегратор ваги здійснює безперервне інтегрування продуктивності як функції часу, а його відліковий механізм дає сумарну масу вантажу, який пройшов через вагу (табл. 5.11).

На рис. 5.33 показано принципову електричну схему тензорезисторної конвеєрної ваги. Вона складається із вагового ролика 1,

що діє на пружний елемент 2, на якому наклеєні тензоперетворювачі 3, які утворюють плечі моста R1 і R2, тахогенератора 4, ротор якого приєднаний до ролика 5 підсилювача 6 та інтегруючого пристрою 7.

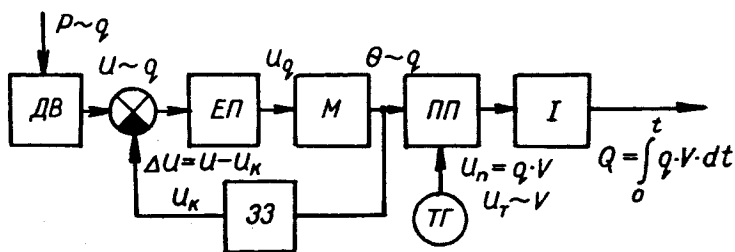


Рис. 5.32. Структурна схема зважування та керування роботою електротензорезисторної ваги типу ЗТВ-2

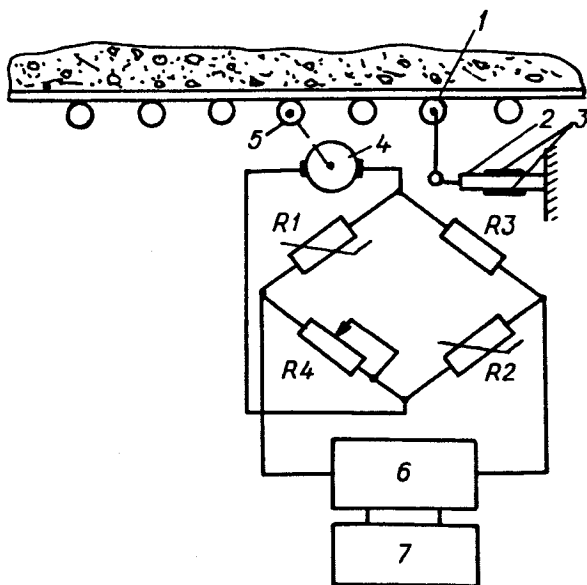


Рис. 5.33. Принципова електрична схема тензорезисторної конвеєрної ваги

**Технічні характеристики  
автоматичних стрічкових конвеєрних ваг**

Тип ваги	Межі вимірювання продуктивності, т/год	Похибка зважування, %	Тип ваговимірювального пристрою
ЛТМ-1м	23-450	±1	Важільно-квадрантний
ЭГВ-80	36; 45; 57 кг/м	±1	Гідравлічний. Існують 24 модифікації ваг
ЭГВ-100	57; 72; 90 кг/м		
ЭГВ-120	90; 112; 144 кг/м		
ЭГВ-140	144; 180; 225 кг/м		
4195 Пр	2,5-400	±0,5	Тензорезисторний. Вихідний сигнал 0-5 мА. Випускають 20 модифікацій

У кожний момент часу напруга на виході електричного моста пропорційна до добутку ваги матеріалу, яка діє на ролик 1, на лінійну швидкість стрічки конвеєра, що вимірюється тахогенератором 4. Це означає, що ця напруга пропорційна до витрати матеріалу  $Q$ , який проходить через вертикальну площину опорного вагового ролика 1.

Напруга  $U_m$  підсилюється підсилювачем 6 та інтегрується за допомогою приладу 7. Одержана в такий спосіб маса матеріалу записується або відображається на табло приладу.

## Розділ 6

# ВИМІРЮВАННЯ І КОНТРОЛЬ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ І СКЛАДУ РЕЧОВИН

### 6.1. Класифікація методів і приладів для вимірювання і контролю складу речовин

У будівельній і сумісних галузях промисловості є технологічні процеси, пов'язані з переробкою багатьох газоподібних і рідких речовин. Їх характеризують різноманітними показниками, за якими також оцінюють якість. Так, наприклад, на інтенсивність процесу тужавіння і фізико-механічні властивості цементного каменю значний вплив мають мінералогічний склад використовуваного цементу, хімічний склад води і додатків, властивості та характеристики складових бетонної суміші. Для визначення цих показників використовують велику кількість спеціальних приладів, принцип дії яких ґрунтується на вимірюванні фізико-хімічних величин, що характеризують склад і якість матеріалів. Такі прилади поділяють на промислові та лабораторні. Прилади першої групи здебільшого є автоматичними і характеризуються неперервним режимом роботи, а за конструкцією і технічними характеристиками повинні бути пристосовані для роботи у виробничих умовах і задовольняти певні метрологічні характеристики. Лабораторні прилади використовують

переважно для періодичного контролю речовин і в технологічних процесах або для одноразових аналізів у разі відсутності відповідних промислових пристроїв. Ці прилади поділяють на аналізатори твердих речовин, рідин, пульп (суспензій) і газоаналізатори.

Лабораторні прилади часто застосовують для вимірювання граничнодопустимих концентрацій (ГДК) токсичних речовин і газів у воді та повітрі, зокрема й у будівельних матеріалах. Такими приладами визначають склад промислових стоків (конденсату, відходів очищення форм тощо).

## 6.2. Вимірювання густини

Густиною називають вміст маси речовини в одиниці об'єму, який вона займає:

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (6.1)$$

де  $\rho$  – густина,  $\text{кг/м}^3$ ;  $m$  – маса речовини,  $\text{кг}$ ;  $V$  – об'єм,  $\text{м}^3$ .

Оскільки густина може істотно змінюватися від температури, необхідно стабілізувати температуру контрольованого середовища або вводити відповідне коригування в покази густиномірів.

Температурну залежність зміни густини для більшості рідин приблизно виражають формулою

$$\rho_t = \rho_0 \cdot [1 - \beta \cdot (t - t_0)], \quad (6.2)$$

де  $\rho_0$  – густина рідини за початкової температури  $t_0$ ;  $\rho_t$  – густина рідини за температури  $t$ ;  $\beta$  – середній коефіцієнт об'ємного теплового розширення в інтервалі температур  $t - t_0$ .

Прийнято вказувати густину рідин за нормальної температури ( $20^\circ\text{C}$ ):

$$\rho_t = \rho_{20} [1 - \beta \cdot (t - 20)]. \quad (6.3)$$

Найчастіше в технологічних процесах густину рідин вимірюють за допомогою вагових, поплавкових, п'єзOMETричних, гідростатичних (гравітаційних) вібраційних та радіаційних густиномірів.

Ваговий метод ґрунтується на тому, що за незмінного об'єму маса рідини прямо пропорційна до її густини. Принцип дії вагових (механічних) густиномірів полягає у неперервному зважуванні постійного об'єму аналізованої речовини в деякій ємності або трубопроводі.

На рис. 6.1 показано схему вагового густиноміра із пневматичним перетворювачем. Досліджувана рідина неперервно протікає петлеподібною трубкою 1, яка має гнучке спряження (з'єднання) 2 з основним трубопроводом 3. Петлеподібна трубка з'єднана із уніфікуючим пневматичним перетворювачем 4, який працює за принципом компенсації сил. Тиск повітря в сильфоні перетворювача, пропорційний до зміни густини рідини, вимірюється вторинним приладом 5, шкала якого проградуєвана в одиницях густини.

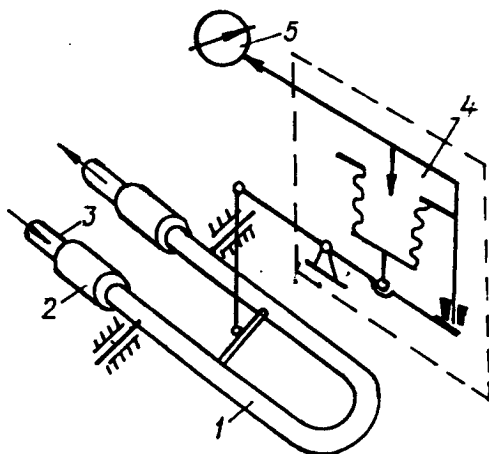


Рис. 6.1. Схема роботи вагового густиноміра

Крім вимірювання густини звичайних рідин, вагові густиноміри використовують для суспензій і пульп, які мають тверді включення. Під час використання приладу такого типу необхідно підтримувати постійну температуру вимірюваного середовища або вводити поправку в покази приладу.



Поплавкові густиноміри є двох типів: із плаваючим поплавком – ареометр постійної ваги (від грец. *araios* – рідкий, *metreo* – вимірюю) та з повністю зануреним поплавком (ареометр постійного об'єму).

Схему густиноміра з плаваючим поплавком показано на рис. 6.2. У таких густиномірах вимірюється глибина занурення поплавка, яка обернено пропорційна до густини рідини. Він складається з ємності 1, що є посудиною постійного рівня, та поплавка 2. Через ємність безперервно перепомповується аналізована рідина. За рахунок переливу в ємності підтримується постійний рівень. За зміни густини рідини змінюється ступінь занурення поплавка 2 у ємності 1, що зумовлює переміщення пов'язаного з ним осердя диференційно-трансформаторного перетворювача 3, який працює в комплекті із вторинним приладом типу КСД. Температурну похибку здебільшого виключають регулюванням температури рідини в робочому бачку.

У густиномірах із зануреним поплавком глибина занурення поплавка залишається постійною, а вимірюється виштовхувальна сила, що діє на поплавок, пропорційна до густини речовини (рідини, газу).

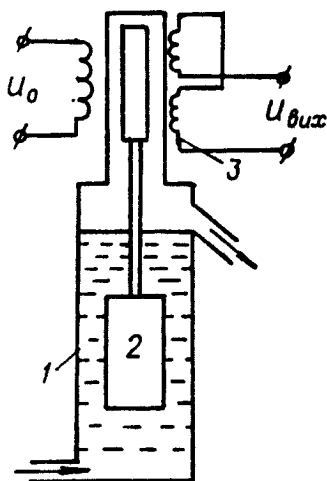


Рис. 6.2. Схема густиноміра із плаваючим поплавком

Принцип дії гідростатичних густиномірів ґрунтується на залежності гідростатичного тиску  $P$  рідини на глибині  $h$  ( $h = \text{const}$ ) від її густини  $\rho$ . Тиск, що створюється стовпом рідини заввишки  $h$ , дорівнює

$$P = \rho \cdot g \cdot h . \quad (6.4)$$

Якщо  $h = \text{const}$ , то  $P = f(\rho)$ .

Принцип дії гідростатичних густиномірів ґрунтується на вимірюванні гідростатичного тиску стовпа рідини. Такі прилади конструктивно виконані як барботажні п'єзометричні рівнеміри (див. розділ 4.2.5). В густиномірах такого типу тиск стовпа рідини вимірюють опосередковано, неперервно продуваючи через рідину інертний газ (повітря).

Принцип роботи вібраційних густиномірів ґрунтується на залежності параметрів пружних коливань (вібрації), що надаються камері з аналізованою речовиною і тілу, розташованому в ньому, та густиною аналізованої речовини (табл. 6.1). Зазвичай як параметр пружних коливань використовується частота власних коливань резонатора, що знаходиться в режимі автоколивань. Резонатори вібраційних густиномірів виконують у вигляді трубки, пластини, стержня, камертона, струни тощо. Такі прилади найчастіше використовують для вимірювання густини газів.

Таблиця 6.1

### Технічні характеристики густиномірів

Тип приладу	Межі вимірювання, $\text{кг/м}^3$	Допустима похибка, %	Вихідний сигнал або вимірювальний прилад
ГАЖ-1М	80–500	2,5	Вихідний сигнал 19,6–98 кПа
ГАЖ-3	40–400	4	Те саме
ИПР-1М	50–100	8	Автоматичний прилад КСДЗ
ПАЖ-301М-1	5–50	0,02	Вихідний сигнал 0,02–0,01 МПа
ПАЖ-301М-2	50–500	0,02	Те саме
ПР-1025М	500–3500	1,0	Пост. струм 0–5 мА, 0–10 В

Вимірювання густини радіаційним методом ґрунтується на залежності між густиною контрольованого середовища і ослабленням або розсіюванням випромінюваного потоку гамма-променів.

Поглинання гамма-променів відбувається в результаті їхньої взаємодії з електронами атомів речовини. Такий метод широко використовується для вимірювання густини бетону, і докладно він розглядатиметься у відповідному розділі.

### 6.3. Вимірювання в'язкості рідин

В'язкістю називається властивість рідин і газів, що характеризує опір зсувові або ковзанню під час переміщення суміжних шарів потоку стосовно один одного. Під час зсуву двох шарів рідини між ними виникає тангенціальна сила, яка відповідно до закону Ньютона визначається із співвідношення

$$F = \mu \cdot S \frac{dV}{dn}, \quad (6.5)$$

де  $F$  – сила зсуву;  $\mu$  – розмірний коефіцієнт динамічної в'язкості;  $S$  – площа внутрішнього зсуву;  $V$ ,  $n$  – швидкість течії і товщина рухомого шару;  $\frac{dV}{dn}$  – градієнт швидкості.

Якщо  $\mu$  не залежить від  $\frac{dV}{dn}$ , то рідини називають ньютонівськими, усі решта належать до групи неньютонівських.

За одиницю динамічної в'язкості в системі SI прийнято Па·с, тобто в'язкість потоку рідини, в якій лінійна швидкість під дією сили зсуву 1Н на площі 1 м<sup>2</sup> має градієнт 1 м/с на 1 м віддалі, що перпендикулярна до площини зсуву.

Відношення динамічної в'язкості до густини потоку має назву кінематичної в'язкості – м<sup>2</sup>/с. Зв'язок між динамічною і кінематичною в'язкістю визначається співвідношенням

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}. \quad (6.6)$$

В'язкість рідини дуже залежить від її температури; чим більша температура, тим менша в'язкість, і навпаки.

На практиці в'язкість деколи вимірюють умовними одиницями – градусами ВУ:

$$^{\circ}\text{ВУ} = \frac{\tau_p}{\tau_b}, \quad (6.7)$$

де  $\tau_p, \tau_b$  – час витікання рівних об'ємів рідини і дистильованої води (з однаковими температурами) з посудини з вузьким отвором.

Для промислових вимірювань в'язкості рідин переважно використовують віскозиметри витікання, ротаційні, вібраційні і звукові.

Ротаційні віскозиметри ґрунтуються на залежності реактивного опору переміщення твердого тіла від динамічної в'язкості рідини. При цьому методі найчастіше використовують паралельні диски або коаксіальні циліндри, які обертаються в термостатованій рідині. Крутний момент, який під час цього виникає, використовується для перетворення в електричний сигнал. Його вимірюють за величиною струму, що споживає електричний двигун приводу чутливого елемента.

На рис. 6.3 показано схему віскозиметра із коаксіальними циліндрами. Зовнішній циліндр наповнений досліджуваною рідиною і приводиться у рівномірний обертовий рух. Внутрішній циліндр утримується нерухомим накладанням важок на вагову платформу. Величина обертового моменту визначається добутком ваги зрівноважувальних важок на радіус шківів, на якому закріплено нитку, що підтримує вагову платформу.

Ротаційні віскозиметри дають змогу вимірювати в'язкість рідини в межах 0,01–1000 Па·с.

Вимірювання в'язкості вібраційними віскозиметрами ґрунтуються на залежності амплітуди коливання тіла в контрольованій рідині від її в'язкості. Залежно від частоти коливань вібраційні віскозиметри можна поділити на два типи: низькочастотні, які працюють на частоті до 1 кГц, та ультразвукові, що працюють на частоті 10–100 кГц.

Принципову електричну схему низькочастотного віскозиметра показано на рис. 6.4.

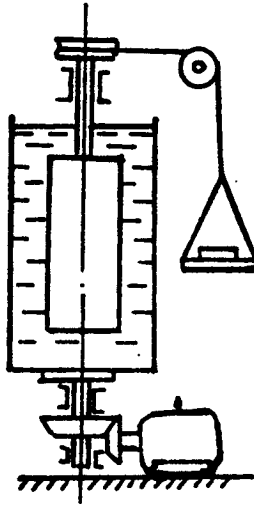


Рис. 6.3. Схема роботи віскозиметра з коаксіальними циліндрами

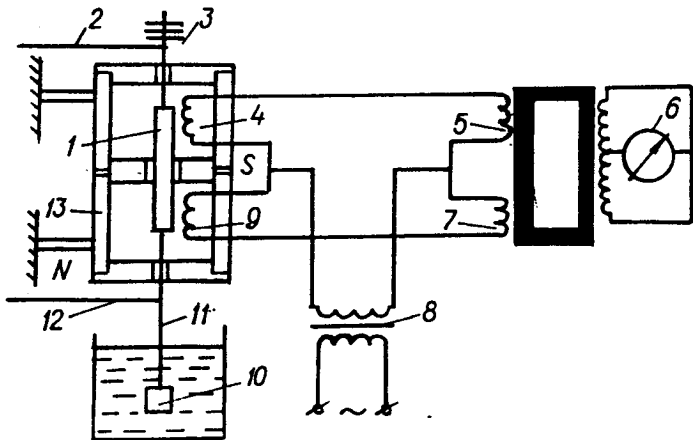


Рис. 6.4. Принципова схема низькочастотного вібраційного віскозиметра

До осердя 1, яке закріплене на двох пружинах 2 і 12, на стержні 11 закріплені накладки 10 і змінні шайби 3. Осердя розміщене в

полі постійного магніту 13 і двох однакових котушок 4 і 9, які з'єднані послідовно. Під час проходження через котушки змінного струму створюється змінне магнітне поле, яке, взаємодіючи з полем постійного магніту, зумовлює вібрацію осердя 1 з насадкою 10. Амплітуда коливань залежить від в'язкості рідини. Чим більша в'язкість, тим менша амплітуда коливань, і навпаки. Амплітуда коливань перетворюється в пропорційну напругу, яка вимірюється вольтметром 6 зі шкалою, відградуваною в одиницях в'язкості. Котушки 4 і 9 живляться через стабілізатор напруги і обмотки 5 і 7 диференційного трансформатора. Загальне живлення приладу відбувається за допомогою трансформатора.

Принцип дії ультразвукових віскозиметрів ґрунтується на використанні прямого і зворотного магнітострикційного або п'єзоєфекту (табл. 6.2). Найрозповсюдженіші серед ультразвукових віскозиметрів прилади із магнітострикційними перетворювачами, які працюють в імпульсному режимі. На рис. 6.5 показано схему такого віскозиметра.

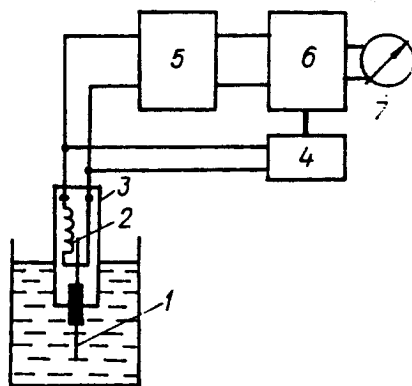


Рис. 6.5. Структурна схема ультразвукового віскозиметра

Пластину 1 закріплено в торці гільзи 3. Нижню частину пластины поміщено у вимірювану рідину. В гільзі знаходиться котушка збудження 2, що живиться від генератора 4. На котушку подається імпульс струму тривалістю близько 20 мкс, в результаті чого в пластині виникають поздовжні коливання із збіжною

амплітудою. Гасіння коливань пластини відбувається тим швидше, чим більшою є в'язкість рідини.

Імпульс, який збуджує котушку, одночасно підсилюється підсилювачем 5 і перетворюється в детекторі 6 з тригером. Через тригер запирається генератор 4. Внаслідок зворотного магнітострикційного ефекту частота коливань напруги в котушці дорівнює частоті коливань пластини:

$$U = U_m \cdot e^{(-\alpha \cdot \tau)} \cdot \sin(\omega \cdot \tau), \quad (6.8)$$

де  $U$  – напруга на кінцях котушки;  $U_m$  – початкова амплітуда напруги;  $\alpha$  – коефіцієнт загасання коливань, який залежить від в'язкості речовини;  $\omega$  – частота вільних коливань пластини;  $\tau$  – час.

Таблиця 6.2

### Технічні характеристики віскозиметрів

Тип приладу	Межі вимірювання, Па·с	Допустима похибка, %	Вихідний сигнал або вимірювальний прилад
ВАП-1, ВАП-2 ВАП-1-01 ВАП-1-02 ВАП-2-01	2–20 5–50 10–100 6–60	5	Автоматичний прилад КСПЗ
ВВН-5М ВВН-5М-02 ВВН-5М-04 ВВН-5М-06 ВВН-5М-10 ВВН-5М-20	1–10 2–20 5–50 10–100 50–500 2000–2·10 <sup>4</sup>	2,5	Вихідний сигнал постійного струму 0–5 мА або 0–100 мВ
АКВ-1 АКВ-2	5–30 мм <sup>2</sup> /с 1–6000 мм <sup>2</sup> /с	2,5	Вимірюють кінематичну в'язкість

Ця напруга і забезпечує запирання генератора імпульсів до моменту загасання коливань пластини. Після цього генератор імпульсів знову збуджується. Отже, мірою ступеня загасання коливань є інтервали часу між послідовними збудженнями генератора. Чим більша в'язкість рідини, тим менші ці інтервали. Сигнали з детектора надходять на вторинний прилад 7, шкала якого відграду-

йована в одиницях в'язкості. Похибка вібраційних віскозиметрів не більша, ніж 2,5 %; залежно від конструкції інтервал вимірювання становить 0,0001–100 Па·с. Сфера використання вібраційних віскозиметрів обмежується ньютонівськими рідинами.

У будівництві та виробництві будівельних деталей і конструкцій віскозиметри широко застосовують для вимірювання в'язкості бетонних і розчинних сумішей, фарб, лаків, емульсій тощо. Бетонна суміш характеризується рухливістю і жорсткістю, тобто здатністю бетонної суміші розтікатися без розшарування під впливом власної ваги або за незначного тиску на неї. Оцінку рухливості бетонної суміші здійснюють за допомогою стандартного конуса і технічного віскозиметра. Міру рухливості бетонної суміші визначають осаджуванням стандартного конуса (рис. 6.6): до 2 см – суміш жорстка; 2–4 см – малорухлива; 4–15 см – рухлива; більше 15 см – літа. Металевий корпус конуса наповнюють бетоном трьома шарами однакової висоти, ущільнюючи їх за допомогою металевого стержня діаметром 10 мм. Після цього металевий конус знімають і вимірюють осідання бетонного конуса за допомогою лінійок.

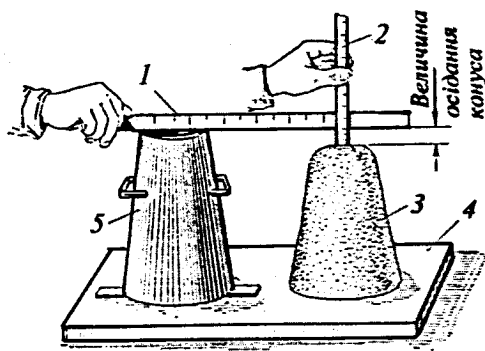


Рис. 6.6. Вимірювання осідання конуса бетонної суміші:

1 – допоміжна лінійка; 2 – лінійка для вимірювань;  
3 – конус із бетонної суміші; 4 – підставка; 5 – металева форма конуса

Технічний віскозиметр для визначення жорсткості бетонної суміші (рис. 6.7) складається із циліндричної посудини 1 з плитким дном;



циліндричного кільця 2 з трьома упорними планками 3, за допомогою яких це кільце можна вставляти у циліндричну посудину і закріплювати затискачами так, щоб віддаль між дном посудини і нижньою площиною кільця становила 70 мм; металевого конуса 4 з насадкою 5; кільця-тримача 10 для кріплення конуса під час вібрації штатива 9 діаметром 10...12 мм, закріпленого в петлях 11, приварених до циліндричної посудини 1; плиткового диска 8 завтовшки 3 мм на штанзі 7, яка переміщається вертикально і закріплена затискним гвинтом 6.

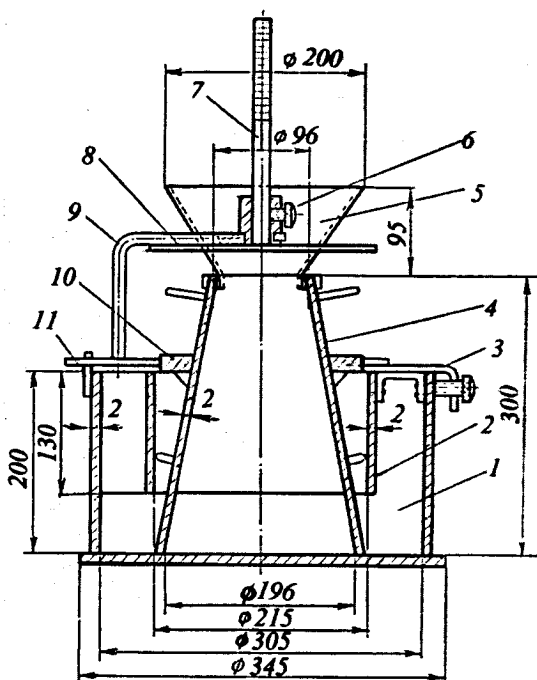


Рис. 6.7. Конструкція технічного віскозиметра:

- 1 – циліндрична посудина; 2 – циліндричне кільце; 3 – опорні планки;  
 4 – металевий конус; 5 – насадка; 6 – затискний гвинт; 7 – штанга;  
 8 – плиткий диск; 9 – штатив; 10 – кільце-тримач; 11 – петлі

Жорсткість визначають в такий спосіб. На віброплиту встановлюють і закріплюють циліндричну посудину віскозиметра, потім

в неї вставляють і закріплюють циліндричне кільце, у яке вставляють стандартний конус. На нього надівають кільце-тримач, ручки якого заводять в пази петель, після чого встановлюють насадку і заповнюють конус бетоном на повну його висоту, ущільнюючи металевим стержнем. Вкінці ущільнюють бетонну суміш у конусі за допомогою вібрування до того часу, поки не почнеться виділення на поверхні цементного клею. Після закінчення вібрування насадку знімають, надлишок суміші зрізують металевою лінійкою на рівні країв конуса, а потім знімають конус вертикально без перекосів.

Після цього встановлюють на прилад штатив із диском. Повністю вивільняють затискний гвинт штанги і опускають диск на поверхню відформованого конуса бетону. Далі включають віброплиту і секундомір та спостерігають за опусканням штанги: коли риска штанги збігатиметься з верхньою площиною напрямної головки штатива, вимикають секундомір і віброплиту та визначають час, що минув від увімкнення і до вимкнення віброплити.

Жорсткість бетонної суміші визначають технічним віскозиметром: 15–30-с – суміш малорухлива; 30–200-с – жорстка; більше 200-с – суміш особливо жорстка. Малорухлива бетонна суміш здатна заповнювати форму без значних зовнішніх впливів на неї, а жорсткі вимагають інтенсивної та тривалої вібрації.

Рухливість розчинних сумішей визначають за величиною занурення стандартного конуса масою 300 г з кутом  $30^\circ$  при вершині у розчин. Схема вимірювання зображена на рис. 6.8. На штативі 2 закріплено тримач 1, у якому

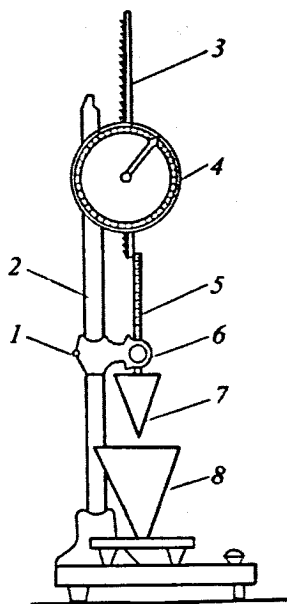


Рис. 6.8. Прилад для визначення рухливості розчинної суміші:  
 1 – тримач; 2 – штатив;  
 3 – штанга; 4 – циферблат;  
 5 – стержень;  
 6 – пружинна кнопка;  
 7 – конус; 8 – кінцева посудина для розчину

зроблено пружинну кнопку 6, що утримує ковзний стержень 5 конуса 7. Вище на штативі закріплено штангу 3 і циферблат 4 із шкалою, за якою визначають глибину занурення конуса.

Для випробувань розчином наповнюють до певної висоти конічну посудину 8. Після цього за допомогою кнопки 6 вивільняють конус і опускають його так, щоб вістря ледь торкалось поверхні розчину, опускають штангу до дотикання її стержня і встановлюють шкалу циферблата на нуль напроти стрілки. Потім натисканням на кнопку 6 дають змогу конусу вільно занурюватися у розчинну суміш і через 10 с опускають штангу до торкання із стержнем конуса та роблять відлік, вимірюючи глибину занурення конуса в сантиметрах.

Такі вимірювання здійснюють у лабораторних умовах під час аналізу проб бетонної і розчинної сумішей.

#### **6.4. Вимірювання концентрації розчинів**

Під час виробництва будівельних конструкцій і виробів існує потреба в якісному аналізі складу і властивостей рідин, які використовують у технологічних процесах (вода, добавки). Для цього найчастіше застосовують методи лабораторного аналізу проб, які періодично відбирають із аналізованих речовин. Проби піддають різноманітним дослідженням за допомогою спеціальних аналітичних приладів, які визначають вміст як одного, так і декількох складників у суміші.

Під час вимірювання складу середовища об'єкт вимірювання розглядають як суміш, яка складається із декількох (не менше двох) елементів, що їх називають компонентами. За вимірюванням складу визначають частку (концентрацію) того або іншого складника в суміші.

Суміш називають бінарною (або двокомпонентною, подвійною), якщо вона складається з двох речовин, і багатокомпонентною, якщо вона складається з трьох та більше компонентів. Якщо в багатокомпонентній суміші будь-який із компонентів за своїми властивостями дуже відрізняється від інших, то таку суміш називають

вають квазібінарною. Кількісно склад характеризують відношенням кількості складника, що визначають, до всієї кількості взятої проби, і виражають у масовій, об'ємній і молярній частках. Одиниці вимірювання цих величин безрозмірні: частка, відсоток.

Деколи склад визначають у масовій і молярній концентраціях (відношення маси або кількості молів речовини до об'єму аналізованої проби). Одиниця вимірювання масової концентрації – кілограм на метр кубічний ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ) і дольні від неї одиниці:  $\text{г}/\text{м}^3$ ,  $\text{мг}/\text{м}^3$ ,  $\text{г}/\text{см}^3$ ,  $\text{г}/\text{мл}$ . Одиниця вимірювання молярної концентрації – моль на метр кубічний ( $\text{моль}/\text{м}^3$ , моль/мл).

Методи аналізу складу речовини поділяють на вибіркові та інтегральні. Вибіркові методи дають можливість вибірково (однозначно) одержувати інформацію про кількість конкретного компонента в суміші. В інтегральних методах результати вимірювання відображають кількість деякої групи речовин у суміші. Для контролю концентрації розчинів найширше застосовують такі методи:

- кондуктометричний, який ґрунтується на зміні електропровідності електролітів;
- оптичний, який ґрунтується на зміні оптичних властивостей рідини від концентрації речовини, що визначається;
- електрометричний (потенціометричний), який ґрунтується на вимірюванні різниці потенціалів спеціальних електродів, занурених у контрольоване середовище, що залежить від його кислотності або лужності (рН-метрія).

Кондуктометричний метод вимірювання концентрації розчинів електролітів широко використовують як у лабораторній практиці, так і для неперервного автоматичного контролю в промисловості. Під час використання цього методу аналізу мірою концентрації розчинів є електропровідність. Для оцінки електропровідності розчинів різноманітних речовин Кольрауш увів поняття еквівалентної провідності, яка визначається як електропровідність розчину, що вміщує один грам-еквівалент речовини на  $1 \text{ см}^3$  розчину:

$$\lambda = \frac{\sigma}{\eta}, \quad (6.9)$$

де  $\lambda$  – еквівалентна електропровідність розчину;  $\sigma$  – питома електропровідність розчину, См/см;  $\eta$  – еквівалентна концентрація розчиненої речовини, г-екв/см<sup>3</sup>.

Еквівалентна електропровідність усіх електролітів збільшується в міру розчинення розчину внаслідок збільшення дисоціації. Залежність між питомою електропровідністю розчину, натурально розчиненого електроліту і його концентрацією визначається законом Кольрауша:

$$\sigma = \alpha \cdot \eta \cdot (U_k - U_a), \quad (6.10)$$

де  $U$  – рухомість іонів (катіонів  $U_k$  і аніонів  $U_a$ ) за безмежного розчинення, тобто швидкість їхнього розчинення в електричному полі з градієнтом напруги 1 В/см, виражена в см/с;  $\alpha$  – ступінь електролітичної дисоціації.

В електродній кондуктометрії використовують вимірювальні комірки, які складаються із двох електродів, встановлених на певній віддалі один від одного в посудині з контрольованим розчином. Вимірювальна комірка (рис. 6.9) характеризується електричним опором (в Ом):

$$R = \frac{1}{\sigma} \cdot \frac{l}{S}, \quad (6.11)$$

де  $S$  – площа електродів;  $l$  – віддаль між електродами.

У практиці кондуктометричних вимірювань відношення  $l/S$  одержало назву константи вимірювальної комірки  $K$ , яку визначають із дослідів. Електропровідність можна вимірювати, використовуючи як постійний, так і змінний струм промислової чи підвищеної частоти.

Більшість вітчизняних промислових кондуктометрів працюють на промисловій частоті. Поряд із двоелектродною коміркою використовують і чотириелектродну комірку (рис. 6.10). У цій комірці два електроди є струмовими, а два інших – потенціометричними зондами, якими вимірюють спад напруги в певному об'ємі контрольованого розчину. Спад напруги пропорційний до опору контрольованого розчину, тобто його концентрації.

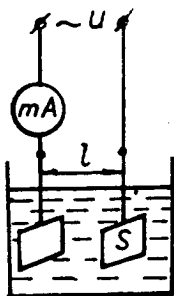


Рис. 6.9. Схема виміральної комірки

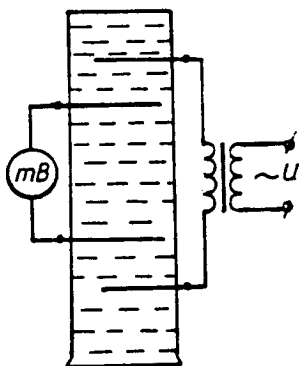


Рис. 6.10. Схема чотириелектродної виміральної комірки

Для використання чотириелектродної комірки виміральним пристроєм слугують серійні автоматичні потенціометри. Схему такого кондуктометра, з використанням зрівноваженої мостової виміральної схеми, показано на рис. 6.11.

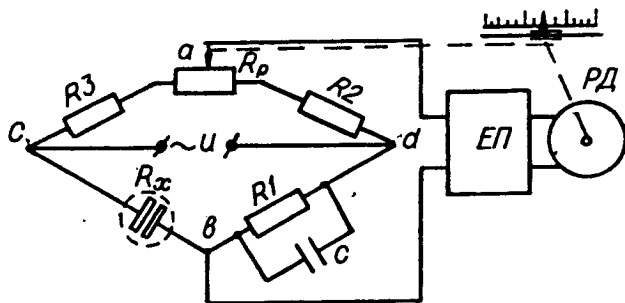


Рис. 6.11. Електрична схема автоматичного кондуктометра

Електрична провідність рідин істотно залежить від температури. Для водних розчинів електролітів підвищення температури на  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  приводить до збільшення електричної провідності на 1–2,5 %, тому в кондуктометричних приладах передбачено автоматичне температурне коригування показів, або досліджуваний розчин у процесі вимірювань термостатують.

Електрична провідність рідини збільшується від температури за експоненціальним законом:

$$\sigma = A \cdot e^{\frac{B}{T}}, \quad (6.12)$$

де  $A$  і  $B$  – сталі коефіцієнти;  $T$  – абсолютна температура,  $K$ .

У вузькому температурному інтервалі справедливе лінійне наближення

$$\sigma_t = \sigma_0 \cdot [1 + \alpha(t - t_0)], \quad (6.13)$$

де  $\sigma_t$  і  $\sigma_0$  – електрична провідність за температури відповідно  $t$  і  $t_0 = 0$  °C (або 20 °C);  $\alpha$  – температурний коефіцієнт електричної провідності.

У два суміжних плеча моста включено постійний опір  $R_1$  і опір вимірювальної комірки  $R_x$ . У два інших плеча моста включено опори  $R_2$  і  $R_3$  і зрівноважувальний реохорд  $R_p$ . Напряга із вимірювальної діагоналі моста  $ab$  подається на вхід електронного підсилювача ЕП, що виконує функції нуля-індикатора. Якщо мостова схема знаходиться у рівновазі, сигнал на вході електронного підсилювача дорівнює нулю, а увімкнутий на його виході реверсивний двигун РД залишається нерухомим. За зміни концентрації контрольованого середовища змінюється опір вимірювальної комірки  $R_x$ , і міст розбалансовується. Сигнал розбалансування, пропорційний до зміни концентрації, надходить на вхід підсилювача ЕП і після підсилення – на реверсивний двигун. Останній пересуває повзунок реохорди до настання нового стану рівноваги мостової схеми.

Потенціометричні методи ґрунтуються на визначенні концентрації іонів вимірюванням електрорушійної сили, яка виникає на індикаторних електродах. При цьому концентрацію можна знаходити або прямим вимірюванням різниці потенціалів, або за допомогою побічних вимірювань, наприклад, у процесі потенціометричного титрування тощо.

У потенціометрії використовують такі потенціали:

- електродний, який виникає під час занурення металевих електродів у розчин їх іонів (вимірювання показника концентрації водневих іонів рН, що характеризують кислотність або лужність розчинів; титрування кислот і основ);

- мембранний, який встановлюється на тонких мембранах, розміщених у розчині (вимірювання рН-скляним електродом);
- окисно-відновний (редоксипотенціал), який встановлюється на інертних електродах, наприклад, платинових, розміщених у розчині окисно-відновних речовин, і значення якого однозначно визначає концентрацію окисленої і відновленої речовини в розчині.

Для технологічного контролю найчастіше використовують вимірювання концентрації розчинів за значенням рН. Розчини з  $\text{pH} < 7$  є кислими, а розчини з  $\text{pH} > 7$  – лужними. Вимірювальний перетворювач автоматичного рН-метра зображено на рис. 6.12. Ним є автоматичний потенціометр, у вимірювальну діагональ якого подано ЕРС, що знімається із двох електродів: індикаторного СЕ (скляного) і порівнювального КЕ (каломельного або хлорсрібного). Різниця потенціалів, яка знімається з електродів, змінюється на 58 мВ на кожну одиницю рН. Оскільки різниця потенціалів, яка вимірюється на електродах, залежить від температури, то необхідно стабілізувати температуру аналізованого розчину або використовувати додаткові пристрої коригування.

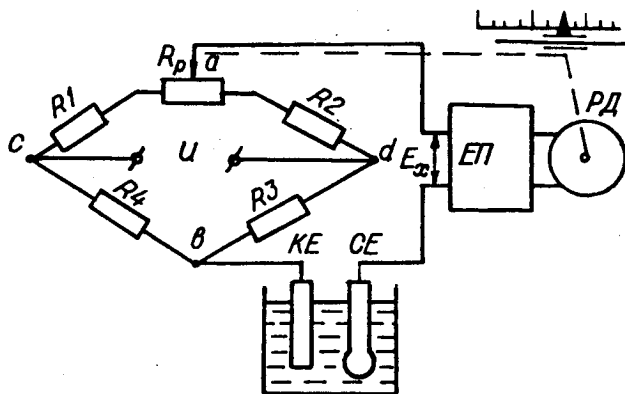


Рис. 6.12. Електрична схема вимірювального перетворювача автоматичного рН-метра



Промислові рН-метри складаються із чутливого елемента типу ДП-4М (занурюваний) і ДМ-5М (магістральний) та перетворювачів П-201 і П-205. Перетворювачі мають вихідні сигнали 0–5 мА, 0–100 мВ або від 0 до будь-якого значення в діапазоні 10–100 мВ. Додатковий сигнал – 0–10 В. Основна відносна похибка перетворювача становить  $\pm 1\%$  від верхньої межі вимірювання, для вихідного додаткового сигналу – до 6 %.

Оптичні (фотоелектричні) методи визначення концентрації розчинених і суспендованих у рідинах частинок використовують в чотирьох основних модифікаціях:

- 1) фотокolorиметрія – ґрунтується на вимірюванні поглинання або розсіювання світла, що проходить через розчин;
- 2) нефелометрія – ґрунтується на вимірюванні поглинання або розсіювання світла суспендованими частинками рідини;
- 3) рефрактометрія – ґрунтується на використанні залежності показника заломлення бінарної суміші від співвідношення її компонентів;
- 4) поляриметрія – ґрунтується на взаємодії поляризованого випромінювання з оптично активним середовищем, яке змінює параметри поляризації.

Використання відомих законів розповсюдження світла дало змогу створити велику кількість приладів для аналітичного контролю складу речовин. Нижче розглядатимуться прилади, які використовують для контролю якості води і водних розчинів, – фотокolorиметри.

В основу колориметричного методу аналізу розчинів, які різняться за складом, покладено властивість неоднаково поглинати (абсорбувати) випромінювання оптичного діапазону. Кількісні співвідношення описуються законом Бугера – Лямберта – Бера:

$$\Phi_{\lambda} = \Phi_{0\lambda} \cdot e^{-\varepsilon_{\lambda} \cdot C \cdot l} \quad (6.14)$$

або

$$T_{\lambda} = e^{-\varepsilon_{\lambda} \cdot C \cdot l}; \quad (6.15)$$

$$D_{\lambda} = \ln \frac{\Phi_{0\lambda}}{\Phi_{\lambda}} = \varepsilon_{\lambda} \cdot C \cdot l, \quad (6.16)$$

де  $\Phi_\lambda$  – монохроматичний потік випромінювання, що виходить із шару розчину завтовшки  $l$ ;  $T_\lambda$  і  $D_\lambda$  – коефіцієнт пропускання і оптична густина розчину завтовшки  $l$  на довжині хвилі випромінювання  $\lambda$ ;  $\Phi_{0\lambda}$  – монохроматичний потік випромінювання, що входить у шар розчину;  $\epsilon_\lambda$  – коефіцієнт поглинання випромінювання речовиною;  $C$  – концентрація поглинаючої речовини.

Якщо в розчині є  $n$  компонентів, то його оптична густина залежить від коефіцієнтів поглинання і концентрації усіх компонентів:

$$D_\Sigma = l \cdot \sum_{i=1}^n (\epsilon_{\lambda i} \cdot C_i). \quad (6.17)$$

Залежно від спектрального діапазону такі прилади поділяють на інфрачервоні аналізатори, аналізатори ультрафіолетового випромінювання і фотометри або фотоколориметри (поглинання у видимій частині спектра).

Найрозповсюдженіші два види вимірювальних схем – одноканальні двопробеневі і двоканальні однопробеневі. Схему двоканального фотоколориметра показано на рис. 6.13. Ця схема малочутлива до коливань джерела світла, зовнішнього освітлення і температури, оскільки вимірювання здійснюють диференційним (порівнювальним) методом. У приладі порівнюються величини фотострумів: один із фотострумів пропорційний до потоку світла, що пройшло через контрольоване середовище, а другий – до потоку світла, що пройшло через еталонний розчин.

Коли оптичні властивості еталонної і досліджуваної речовини однакові, то освітленість обох фотоелементів також однакова, і струм у вимірювальній діагоналі моста відсутній. Якщо концентрація досліджуваної речовини відрізняється від еталонної (менше або більше забарвлення), то в діагоналі моста з'явиться струм, величина якого функціонально залежить від концентрації.

Фотоколориметри рідин дають змогу аналізувати концентрацію води в різних розчинах, наявність органічних мікродомішок у стічних водах, наявність оливи у розчинниках тощо.

Для зменшення похибки вимірювання необхідно стежити, щоб віконця кювет та дзеркала були абсолютно чистими. Щоб збільшити

чутливість і вибірковість вимірювань у приладі, широко використовують різноманітні світлофільтри. Крім того, для досягнення потрібних метрологічних характеристик і їхньої стабільності в часі прилади вимагають ретельного очищення розчину, що надходить у робочу кювету від механічних домішок.

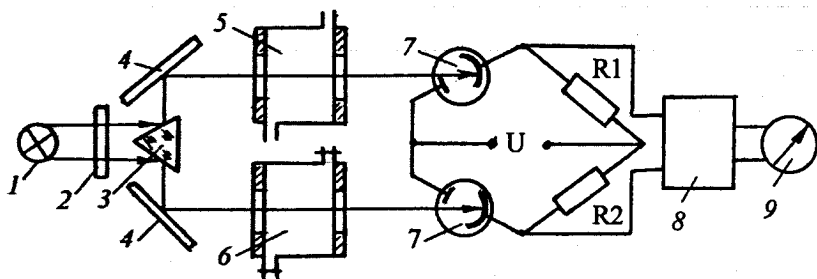


Рис. 6.13. Принципова схема

одноканального двопроменевого фотоколориметра:

- 1 – джерело світла; 2 – світлофільтр; 3 – світлопровідна призма;  
 4 – дзеркала; 5 – робоча кювета; 6 – порівнювальна кювета;  
 7 – фотоелементи; 8 – підсилювач; 9 – вимірювальний прилад

Двоканальні однопроменеві схеми забезпечують мінімальну похибку забруднення вікон кювети і мають дещо більшу похибку спектральних характеристик схеми.

Комбіновані вимірювальні схеми приладів (подвійні одноканальні двопроменеві) не мають недоліків попередніх двох схем і значно покращують вимірювання, підвищують їхню точність.

## 6.5. Вимірювання складу газових сумішей

У промисловості широко застосовується аналіз газових сумішей. Існує така потреба і у підприємств будівельної індустрії. Це стосується насамперед тих підприємств, де необхідно перевіряти концентрацію  $\text{CO}_2$  у повітрі, повноту згорання газових сумішей, наявність шкідливих викидів і пилу.

Газоаналізатори поділяють на дві великі групи: хімічні та фізичні. Дія хімічних газоаналізаторів ґрунтується на вирахуванні об'єму в результаті поглинання однієї або декількох складових частин газової суміші будь-якою речовиною, що вступає в хімічні сполуки з компонентом газової суміші, яку аналізують.

У фізичних газоаналізаторах для аналізу газової суміші використовують будь-яку фізичну властивість газової суміші, що змінюється за зміни вмісту компонента, який визначається. У цьому разі можна вибрати будь-яку фізичну величину, що характеризує газову суміш (густина, теплопровідність, теплота згорання, теплоємність тощо).

Робота хімічних (абсорційних) газоаналізаторів ґрунтується на зміні об'єму газової суміші після видалення аналізованого компонента. Видаляється аналізований компонент абсорбцією, спалюванням або подальшим поглинанням. На рис. 6.14 показано принципову схему газоаналізатора на  $\text{CO}_2$ .

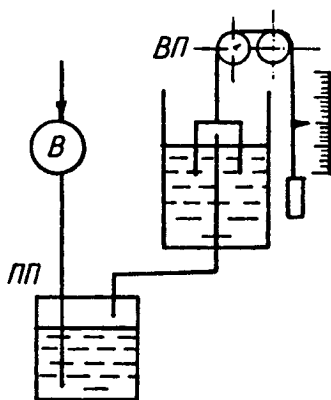


Рис. 6.14. Схема газоаналізатора на  $\text{CO}_2$

Певний об'єм досліджуваного газу засмоктується в мірну посудину В для первинного вимірювання проби газу. Потім відміряний об'єм (переважно  $100 \text{ см}^3$ ) пропускається через поглинальну посудину ПП, заповнену розчином їдкого калію; останній повністю поглинає  $\text{CO}_2$ . Непоглинутий залишок аналізованого газу надходить

у газовимірювальний пристрій ВП, де вимірюється зменшення об'єму, що відповідає поглинутому  $\text{CO}_2$ .

Фізичні газоаналізатори представлено великою кількістю типів: термокондуктометричні, термомагнітні, оптикоакустичні та ультрафіолетового поглинання.

Термомагнітні газоаналізатори використовують для визначення вмісту кисню в газовій суміші. Їх дія ґрунтується на залежності парамагнітних властивостей кисню від температури. Із зміною температури взаємодія кисню з магнітним полем істотно змінюється. Магнітна сприйнятливість кисню, за якою розуміють відношення інтенсивності намагнічування до напруженості магнітного поля, на два порядки вища, ніж для інших газів.

На рис. 6.15 показано принципову схему термомагнітного газоаналізатора. Температура аналізованої газової суміші стабілізується за допомогою теплообмінника 1. Постійність витрати газової суміші забезпечується шунтуванням вимірювального перетворювача 2 ротаметром 3, тому коливання витрати газу на вході в систему не призводить до зміни швидкості через перетворювач, оскільки перепад тиску між відмітками *a* і *b* залишається незмінним.

Перетворювач газоаналізатора складається з кільцевої камери 2 з горизонтальною трубчастою перемичкою 4, розміщеною між полюсами постійного магніту у такий спосіб, що магнітне поле знаходиться з одного боку перемички. На перемичку навито дво-секційну обмотку із платинового дроту, яка може нагріватися. Секції обмоток – це два плеча незрівноваженого моста. Вони є вимірювальними елементами. Двома іншими плечами є постійні манганінові опори R1 і R2.

За наявності в газовій суміші кисню частина потоку відгалужується в перемичку, де утворюється потік газу в напрямку від більшої напруженості магнітного поля до меншої. Конвекційний потік газу, що утворився, переносить тепло від обмотки R3 до R4, тому температура секцій змінюється (R3 – охолоджується, R4 – нагрівається) і змінюється їхній опір. Величина різниці опорів функціонально пов'язана із концентрацією кисню в досліджуваній газовій суміші.

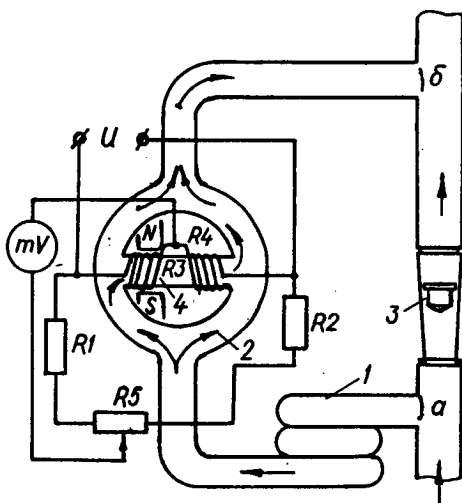


Рис. 6.15. Принципова електрична схема термомагнітного газоаналізатора:  
 1 – теплообмінник; 2 – вимірювальний перетворювач; 3 – ротаметр;  
 4 – трубчаста перемічка

Розбалансування моста вимірюється вторинним приладом, шкала якого відградуєвана у відсотках вмісту кисню. Опір R5 використовується для встановлення сили струму живлення моста. Система термостатування перетворювача забезпечує незмінність його температури з точністю до  $\pm 1$  °С.

На заводах будівельної індустрії контроль відхідних газів на вміст у них кисню є обов'язковим (табл. 6.3). Для нормальної роботи газоаналізаторів і зменшення похибки вимірювання контролюване середовище в газоаналізатор подають через спеціальний пробовідбірник (рис. 6.16).

Відхідні гази, що просмоктуються через відбірний пристрій, входять через трубку 1, яка знаходиться в газовому потоці, і трубою 9 через сито 8 і фільтр із скловати 7 потрапляють у трубку 4, якою подаються в газоаналізатор.

Трубка 9 розташована у трубці більшого діаметра 3, яка являє собою герметичну камеру, в яку через патрубок 10 наливається вода. Внаслідок високої температури відхідних газів, що омивають занурену

в пилову камеру частину трубки 3, в камері трубки 3 утворюється парова сорочка, яка перешкоджає охолодженню газів і випаданню конденсату. Відбірний пристрій кріпиться у монтажній трубці 2, яку закріплено на накривці пилової камери. Заміну фільтра здійснюють під час зняття фланця 11. Пристрій 6 використовують для чищення і продування каналів пробовідбірника.

Таблиця 6.3

**Технічні характеристики  
термомагнітних газоаналізаторів на кисень**

Тип приладу	Межі вимірювання, % O <sub>2</sub>	Допустима похибка, %	Вимірювальне середовище
МН5106-2	0-1, 0-2,	5	Димові гази котельних устав
	0-5, 0-10	2	
МН5121	15-30	3	Повітря
МН5122-1	15-30	4	Повітря
“Оскар”	0-10; 0-20; 0-25; 0-40; 0-50; 0-100	2,5	Газові суміші будь-яких співвідношень

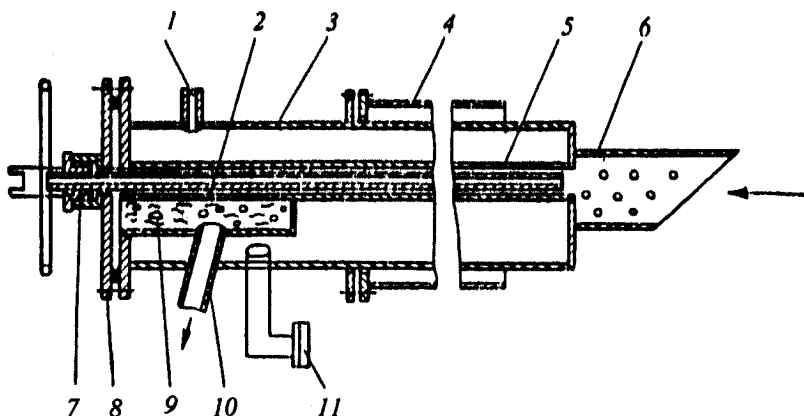


Рис. 6.16. Конструкція пробовідбірника газоаналізатора

Термокондуктометричні газоаналізатори широко застосовують для аналізу вмісту вуглецю, аміаку, двоокису вуглецю та інших га-

зів. Робота таких аналізаторів ґрунтується на залежності теплопровідності від концентрації компонента, що визначають. Цю залежність описують рівнянням

$$\lambda = C_1 \cdot \lambda_1 + C_2 \cdot \lambda_2 + \dots + C_n \cdot \lambda_n, \quad (6.18)$$

де  $C_1, C_2, \dots, C_n$  – концентрації компонентів у частках одиниці;  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$  – теплопровідність компонентів.

Для бінарної газової суміші з різними теплопровідностями компонентів, теплопровідність суміші є однозначним критерієм складу. Це визначення справедливе також і для квазібінарної багатокомпонентної суміші, в якій теплопровідність  $\lambda_1$  компонента, що визначають з концентрації  $C_1$ , значно відрізняється від теплопровідності компонентів, що не визначають,  $\lambda_{KH}$ :

$$\lambda_c = \lambda_1 \cdot C_1 + \lambda_{KH} \cdot (1 - C_1). \quad (6.19)$$

Вимірювальними елементами в термокондуктометричних газоаналізаторах (рис. 6.17) є вимірювальні перетворювачі, побудовані у вигляді комірок, всередині яких розташовані платинові дротини, що працюють у режимі термометрів опору із самонагріванням. Їх включено в плечі вимірювального незрівноваженого моста. Дві комірки R2 і R4 є порівнювальними і заповнені або продуваються порівнювальним газом відомого або постійного складу (наприклад, повітрям). Комірки R1 і R3 є робочими і через них проходить аналізований газ.

Якщо теплопровідність контрольованої газової суміші відрізняється від теплопровідності повітря, то температури ниток, а відповідно і опори терморезисторів R1 і R3 у робочих комірках відрізнятимуться від температури і опору терморезисторів R2, R4 у порівнювальних комірках. У діагоналі моста виникає напруга розбалансування, що пропорційна до вмісту компонента в газовій суміші, який визначають. Ця напруга вимірюється потенціометром, шкала якого відградуйована у відсотках компонента. Для ліквідації впливу температури оточуючого середовища на результат вимірювання, блок вимірювальних комірок термостатують (табл. 6.4).

Швидкість проходження газової суміші через вимірювальні газові комірки впливає як на кількість тепла, що виноситься газовою сумішшю, так і на динамічні властивості газоаналізатора. Вибрану опти-



мальну швидкість під час роботи газоаналізатора підтримують постійною за допомогою спеціальних стабілізаторів і регуляторів витрати.

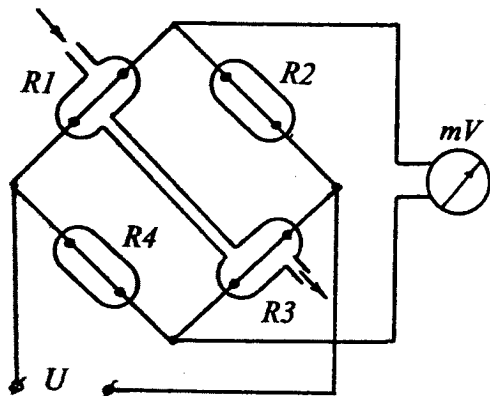


Рис. 6.17. Схема термокондуктометричного газоаналізатора

Таблиця 6.4

**Технічні характеристики термокондуктометричних та термохімічних газоаналізаторів і сигналізаторів**

Тип приладу	Вимірюваний компонент	Межі вимірювання, %	Вимірюване середовище
ТП-2221М ТП-5501-1	CO <sub>2</sub>	0-10, 0-20 0-30, 0-40	Бінарні та багатокомпонентні суміші
СТГ-3	Метан, етан, пропан, бутан, пентан, гексан та їхні суміші	Від 10 - 5 до 30 + 5 % нижньої концентрації межі вибуху (НКМВ)	Повітря приміщень
СВК-3М1 СТХ-3 СТХ-5А	Горючі гази, пари та їхні суміші	5-50 % НКМВ	
СВИП-1	Те саме - 53 назв	20 % НКМВ	

Основна похибка цих газоаналізаторів становить 2,5-10 % і залежить від інтервалу вимірювання.

## Розділ 7

# ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ

### 7.1. Загальні визначення та класифікація методів

Одним із обов'язкових компонентів, якими характеризують тверді неметалеві матеріали, є вологість. Вона часто є показником якості матеріалів, характеризує їхню чистоту, теплофізичні властивості і впливає на технологічні властивості матеріалу. Тому її необхідно вимірювати, контролювати і регулювати.

За вологістю твердих тіл розуміють відношення маси води, яка є в тілі, до загальної маси вологого матеріалу. Відношення ж маси води в матеріалі до маси абсолютно сухого матеріалу називають вологовмістом.

Вміст води в будь-якому тілі характеризують його абсолютною і відносною вологістю. Одиницею вимірювання абсолютної вологості є  $\text{кг}/\text{м}^3$ , а відносної – %.

Вологовміст  $U$  визначають за формулою

$$U = \frac{M}{M_0} \quad (7.1)$$

або

$$U = \frac{(M_1 - M_0) \cdot 100 \%}{M_0}, \quad (7.2)$$

де  $M$  – маса води;  $M_0$  – маса абсолютно сухого матеріалу;  $M_1$  – маса вологого матеріалу.

Для переходу від вологовмісту до вологості, і навпаки, використовують співвідношення

$$U = \frac{W}{1 - W} \quad \text{або} \quad W = \frac{U}{1 + U}. \quad (7.3)$$

Волога міститься і в багатьох газах та характеризується тими самими показниками, що і в твердих тілах, про що буде сказано у відповідному розділі. Її необхідно вимірювати і контролювати в сушильних пристроях та печах, під час регулювання температури теплової обробки залізобетонних виробів тощо.

Вологість – один із основних параметрів, який визначає фізико-хімічні властивості будівельних матеріалів і який має великий вплив на міцність і теплофізичні характеристики будівельних конструкцій і виробів. Можна вирізнити такі групи завдань контролю вологості:

- контроль вологості ґрунтів із непорушною структурою;
- контроль вологості штучних споруд – земляних і бетонних;
- контроль вологості покриттів і тинькування;
- контроль вологості деревини і виробів та конструкцій з неї;
- контроль вологості матеріалів і заповнювачів у виробничих умовах;
- контроль вологості повітря, теплоносія та пароповітряної суміші.

Якість бетонних сумішей значною мірою залежить від точності дотримання водоцементного відношення. За відсутності обліку вологості заповнювачів і своєчасного коригування кількості води, що вводиться у заміс, коливання водоцементного відношення (В/Ц) можуть досягати 35–50 %, тоді як для одержання високоякісних бетонів точність дотримання заданого В/Ц повинна знаходитися в межах 1–2 %. Вплив В/Ц на міцність бетону зрозумілий із формули

$$R_6 = 0,45 \cdot R_{ц} \cdot \left( \frac{B}{Ц} - 0,6 \right), \quad (7.4)$$

де  $R_6$  – розрахункова межа міцності бетону під час стискування, МПа;  $R_c$  – активність цементу, МПа;  $V$  – кількість води,  $л/м^3$ ;  $C$  – витрата цементу,  $кг/м^3$ .

Із формули бачимо, що для компенсації коливань кількості води, яка вводиться у бетонну суміш, доводиться збільшувати витрату цементу з тим розрахунком, щоб за всіх можливих коливань міцності бетону мінімальне значення міцності дорівнювало заданому. З цієї причини, чим більшими є коливання вологості заповнювачів, тим більшою є перевитрата цементу.

Численні дослідження, а також досвід виробничої експлуатації систем автоматичного керування приготуванням бетонних сумішей засвідчили, що контроль вологості заповнювачів необхідно здійснювати в кожному циклі дозування. Це обумовлено істотною зміною вологості заповнювачів у виробничих умовах. Результати дослідів виявляють, що вологість піску може змінюватися від замісу до замісу на 1,5–3 %, а щебеню – на 1–2 %.

Такі коливання вологості заповнювачів зумовлюють істотну зміну якості продукції, тому під час виробництва необхідно автоматизувати облік і компенсацію коливань вологості заповнювачів.



Рис. 7.1. Структурна схема класифікації методів для вимірювання вологості сипких матеріалів

На рис. 7.1 зображено структурну схему класифікації методів для вимірювання вологості сипких матеріалів. Деякі з цих методів використовуються і для вимірювання вологості газів. Конструкцію і принцип роботи більшості приладів розглядатимемо нижче.

## 7.2. Кондуктометричний метод вимірювання вологості

Кондуктометричний метод – це один із найдавніших і найпростіших з електричних методів, який ґрунтується на вимірюванні електричного опору матеріалу між контактуючими з ним електродами. Вимірювання здійснюють у колі постійного або змінного струмів (промислової або звукової частот). Залежність опору  $R_x$  від вологості  $W$  у загальному вигляді виражається функцією

$$R_x = \frac{C}{W^k}, \quad (7.5)$$

де  $C$  – додатна стала, яка залежить від властивостей матеріалу і умов вимірювання;  $k$  – показник степеня, що залежить від структури і природи досліджуваного матеріалу.

Опір  $R_x$  залежить від температури матеріалу. Для ліквідації температурної похибки у покази вологоміра вводять поправку.

Графік залежності  $f(W) = \lg R_x$  показаний на рис. 7.2. Він має дві характерні ділянки. По-чаткова (1-ша) ділянка, що відповідає малій і середній вологості, характеризується високою крутизною і може бути апроксимована прямою виду

$$\lg R_x = a - b \cdot W, \quad (7.6)$$

де  $a$  і  $b$  – сталі, які залежать від досліджуваного матеріалу і умов вимірювання.

На цій ділянці вологомір дуже чутливий до вологості, а вплив інших чинників на опір незначний. Ділянка підвищеної вологості (2-га) характеризується зниженням крутизни характеристики; чутливість вологоміра різко падає, починають впливати побічні чинники.

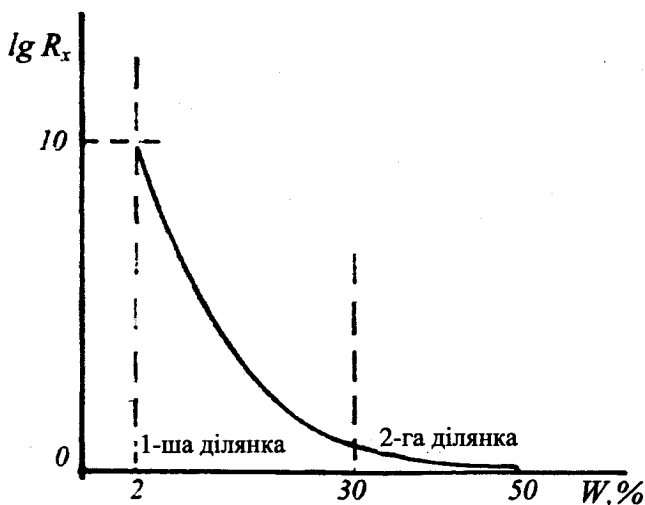


Рис. 7.2. Залежність електричного опору матеріалу від вологості

Основна область використання кондуктометричного методу обмежена за першою ділянкою кривої (вологість до 30 %). Але на цій ділянці є область 0–2 %, де практично неможливо вимірювати вологість унаслідок різкого збільшення електричного опору матеріалу.

Степенева залежність опору від вологості матеріалу визначає високу чутливість кондуктометричного методу вимірювання вологості капілярно-пористих матеріалів, але складна залежність опору від багатьох чинників (температури, структури матеріалу, щільності, наявності електролітів) робить цей метод малоприматним для автоматичного неперервного визначення вологості.

До недоліків кондуктометричних вологомірів зараховують також значні похибки, пов'язані із зміною хімічного і частково гранулометричного складу матеріалу, нерівномірним розподіленням вологи в ньому, поганим контактом електродів із матеріалом, перехідним опором тощо. У зв'язку з цим, а також внаслідок обмеження верхньої і нижньої межі вимірювань, кондуктометричні вологоміри використовують рідко.

Чутливим елементом кондуктометричних вологомірів є два електроди, виконані у вигляді пластин, шупів, трубок, роликів тощо.

Вимірювальним пристроєм є здебільшого електричні мости. Схема такого пристрою показана на рис. 6.11 (кондуктометричний метод вимірювання концентрації розчинів).

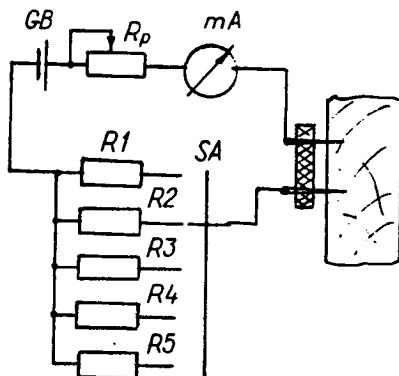


Рис. 7.3. Електрична схема приладу для вимірювання вологості деревини

На рис. 7.3 показано схему переносного приладу для вимірювання вологості деревини. В коло джерела живлення GB послідовно увімкнуті регульовальний опір  $R_p$ , міліамперметр, щупи і додаткові опори  $R_1$ – $R_5$ . Останні вмикаються перемикачем SA під час контролю різних порід деревини. Щупи, віддаль між якими строго постійна, забиваються на невелику глибину в дерево і за відхиленням стрілки мікроамперметра, шкала якого відградує в одиницях (відсотках) вологості, визначають вологість деревини.

### 7.3. Діелькометричний (конденсаторний) метод вимірювання вологості

Діелькометричний метод вимірювання вологості ґрунтується на залежності діелектричних властивостей (діелектричної проникливості  $\epsilon$  і тангенса кута діелектричних втрат  $\operatorname{tg} \delta$ ) матеріалу від його

вологівмісту. За температури  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$  чиста вода має  $\epsilon \approx 81$  (для частот мегагерцового діапазону), тоді як для майже всіх сухих компонентів будівельних матеріалів –  $\epsilon \leq 3...5$ .

Діелькометричний вологомір складається із конденсаторного перетворювача, який заповнюється досліджуваним матеріалом, і вимірювального пристрою, що вимірює повний опір перетворювача, рідше – його реактивну (ємнісну) або активну складову. Для вимірювань використовують резонансні, мостові або диференційні вимірювальні схеми, які працюють у діапазоні частот  $0,5\text{--}5$  МГц.

Вологоміри такого типу використовують як для дискретних, так і для безперервних вимірювань (автоматичні вологоміри). Конструкції перетворювачів визначають насамперед властивостями матеріалів, для яких їх призначено, а також умовами роботи вологомірів. У зв'язку з тим, що діелектричні параметри матеріалів залежать від їхньої щільності, для сипких і малозв'язаних матеріалів застосовують їхнє ущільнення між обкладками перетворювача. Конденсаторні перетворювачі мають найчастіше плиткі паралельні або співвісні циліндричні електроди. Відомі перетворювачі, які розраховані на одnobічний контакт із матеріалом і мають плиткі електроди різної форми, розташовані в одній площині. У таких приладах на результат вимірювання впливає зміна параметрів кабелю, тому для зменшення похибки вимірювальне коло і прилад розташовують поблизу перетворювача.

## 7.4. Нейтронний метод вимірювання вологості

Дія нейтронного методу ґрунтується на сповільненні швидких нейтронів атомами водню, який є у воді. Під час проходження потоку нейтронів через речовину внаслідок пружних зіткнень з атомними ядрами швидкі нейтрони з енергією  $0,5$  Мев і більше перетворюються в сповільнені і теплові, які розсіюються у доквітлі. Кількість теплових нейтронів визначається при цьому насамперед кількістю атомів водню в одиниці об'єму досліджуваного матеріалу, тобто його об'ємною вологістю.



Основними елементами нейтронного вологоміра є джерело живлення, перетворювач-зонд і лічильник імпульсів. Зонд вміщає джерело швидких нейтронів ( $Ra + Be$ ,  $Po + Be$ , або  $P_u + Be$ ) і детектор повільних нейтронів – сцинтиляційний або газорозрядний. Конструкція зондів розрахована на глибинне або поверхнєве вимірювання. Об'єм зони дії вологоміра визначається як сфера з радіусом, що дорівнює

$$R = 15 \cdot \sqrt[3]{\frac{100}{U_{06}}} \text{ см,} \quad (7.7)$$

де  $U_{06}$  – об'ємний вологовміст, тобто вологість, виражена у відношенні до об'єму сухої речовини у відсотках.

Нейтронний метод вимірювання вологості практично безінерційний. Він дає змогу вимірювати будь-які значення вологості до 100 %, вільний від температурних похибок і має малі похибки від коливання щільності та хімічного складу (за винятком вмісту аномальних поглиначів – заліза і, особливо, водню) у твердій фазі. Основним недоліком нейтронних вологомірів, як і багатьох інших приладів, що ґрунтуються на ядерно-фізичних методах, є необхідність їхнього біологічного захисту (табл. 7.1).

Таблиця 7.1

**Технічні характеристики  
деяких типів зарубіжних радіаційних вологомірів**

Марка приладу	Вимірювана величина	Вид вимірювання	Джерело випромінювання	Межі вимірювання вологості, %
1	2	3	4	5
“Ньюклеа Чикаго Корпорейшн”				
P19	Вологість	Глибинне	Am-Be	–
5901	Вологість і щільність	Поверхнєве		1,6–51
“Ньюклеа ентерпрайс”				
353A	Вологість і щільність	Глибинне і поверхнєве	Am-Be $C_5^{137}$	0–60
335A	Вологість	»	Am-Be	–

Продовження табл. 7.1

1	2	3	4	5
"Бертольд"				
LB3621	Вологість і щільність	Глибинне	Am-Be C <sub>5</sub> <sup>137</sup>	4-40
LB3624	»	»	Am-Be	0-100
LB66001	Вологість	»	Am-Be	-
LB3522	»	»	Am-Be	-
LB3640-1	»	Поверхнєве	Am-Be	-
LB3640	Вологість і щільність	»	Am-Be C <sub>5</sub> <sup>137</sup>	-
"Неа"				
BASC-1	Вологість	Глибинне	Am-Be	0-100
BASC-2	Вологість і щільність	»	Am-Be C <sub>5</sub> <sup>137</sup>	-
"Піт ман ЛТД"	Вологість	»	Am-Be	-
"Віллінг-Форд"	»	»	Am-Be	-
ВО "Ізотоп" НИВ-2	»	»	Pu-Be	0-40

Структурну схему нейтронного вологоміра показано на рис. 7.4. Пристрій складається з джерела випромінювання 1, детектора 2, електронного блока вимірювального перетворювача 3, з'єднувального кабелю 4 і пульта керування 6 (з вимірювальним пристроєм і блоком живлення). За необхідності прилад оснащують захисним контейнером 5 із поліетилену, оргскла тощо.

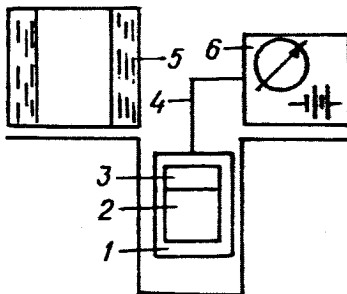


Рис. 7.4. Схема нейтронного вологоміра

Такі прилади використовують для регулювання водоцементного відношення під час приготування бетонної суміші. Структурну схему системи неперервного вимірювання вологості і коригування доз компонентів з використанням нейтронного вологоміра зображено на рис. 7.5. Основним елементом системи є нейтронний перетворювач 1, який встановлюють на нагромаджувальному бункері піску у його нижній частині, що вимірює вологість піску безпосередньо перед подаванням його у ваговий бункер дозатора. В системі використовують малопотужне джерело швидких нейтронів, що за надійного радіаційного захисту не створює небезпеки для обслуговуючого персоналу.

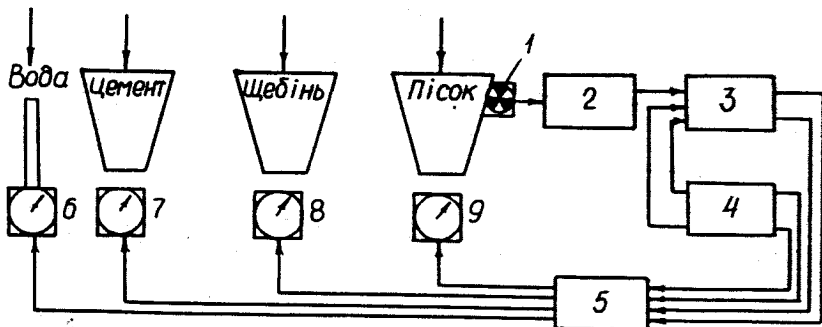


Рис. 7.5. Структурна схема системи неперервного вимірювання вологості та коригування доз компонентів з використанням нейтронного вологоміра

Сигнали з нейтронного перетворювача вологості 1 надходять на електронний корелятор 2, в якому відбувається перетворення цих сигналів у напругу, пропорційну до вологості піску. Напруга з виходу корелятора подається на відліковий пристрій 3, який коригує дози води і піску, що задаються з пульта керування 4. Команди з виходу відлікового пристрою потрапляють на блок виконавчих механізмів 5, які здійснюють корегування кількості цементу, заповнювачів і води зміною завдання на вагових головках 6, 7, 8, 9. Система дає змогу вимірювати відносну вологість у межах від 0 до 17 % за похибки вимірювання не більше 0,5 %.

## 7.5. Надвисокочастотний метод вимірювання вологості

Вимірювання вологості на надвисоких частотах (НВЧ) ґрунтується на взаємодії радіохвиль (переважно дециметрового і сантиметрового діапазонів) із вологим матеріалом. Із відомих методів НВЧ найчастіше застосовують метод вимірювання у вільному просторі з використанням прохідної хвилі. Він є безконтактним: досліджуваний матеріал розміщується між випромінювальною і приймальною антенами і просвічується пласкою хвилею із нормальним розповсюдженням. У таких вологомірах вимірюють послаблення потужності НВЧ в матеріалі, вираженої у логарифмічних одиницях – децибелах:

$$J = 10 \lg \frac{P_1}{P_2}, \quad (7.8)$$

де  $P_1$  і  $P_2$  – відповідно потужність НВЧ, що надходить на матеріал і проходить через нього.

Для більшості капілярно-пористих матеріалів у вузькому діапазоні вологості залежність  $J$  від вологості можна вважати лінійною (рис. 7.6):

$$J = k \cdot W \cdot S; \quad (7.9)$$

$$S = \rho \cdot d, \quad (7.10)$$

де  $k$  – коефіцієнт поглинання цього матеріалу;  $S$  – масова товщина матеріалу;  $\rho$  – щільність;  $d$  – товщина шару матеріалу.

Найрозповсюдженіші НВЧ-вологоміри працюють за принципом послаблення радіохвиль і фазового зсуву, їхні структурні схеми показано на рис. 7.7. НВЧ-генератор виробляє синусоїдальні коливання чітко фіксованої частоти, які для їхнього подальшого підсилення модулюються прямокутними імпульсами, що виробляються генератором 2. За допомогою передавальної антени 3 вузький пучок радіохвиль скеровується на зразок 4 вологого матеріалу. Електромагнітна хвиля, яка пройшла через нього, вловлюється приймальною антеною 5 і подається на вимірювальний атенюатор 6, а далі – на демодулятор 7, що виділяє низькочастотний сигнал, який підсилюється в підсилювачі 8 і вимірюється мікроамперметром 9.

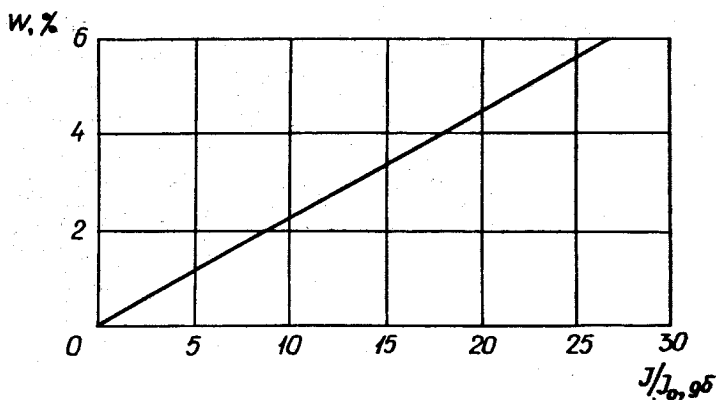


Рис. 7.6. Графік послаблення потужності НВЧ-коливань від вологості

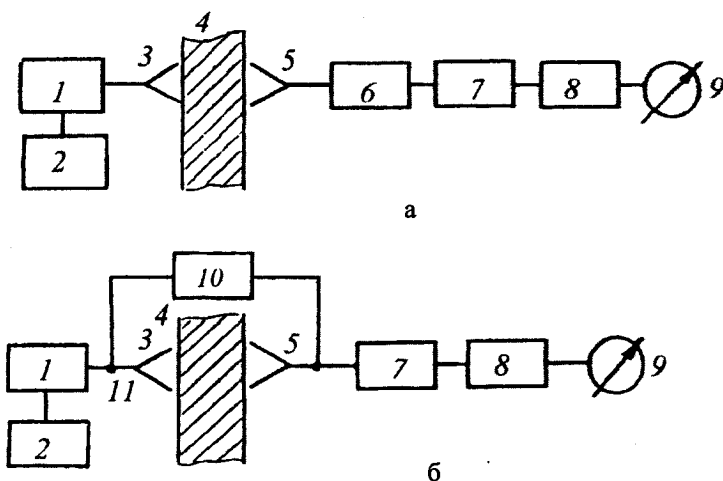


Рис. 7.7. Структурні схеми НВЧ-вологомірів, що працюють за принципом послаблення радіохвиль (а) і фазового зсуву (б)

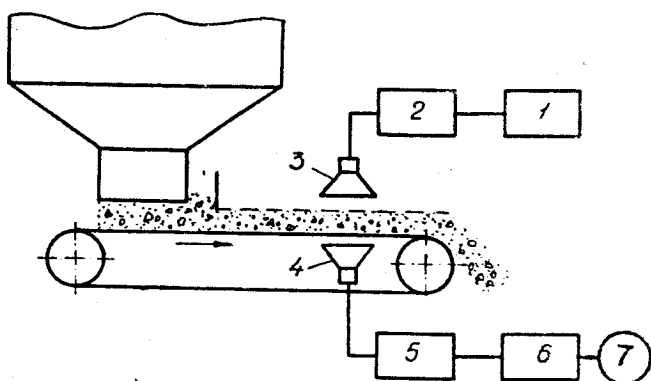
Процес вимірювання відбувається в такий спосіб. За відсутності вологого зразка вводять атенюатор на величину  $J_1$  і домагаються певного положення стрілки приладу 9. Вносять зразок у вимірювальний простір і зменшують послаблення, що вноситься атенюатором, до вели-

чини  $J_2$  за тих самих показів приладу. Різниця  $J_1 - J_2 = J$  відповідає послабленню енергії хвилі у вологому матеріалі. Користуючись попередньо побудованою залежністю  $J = f(W)$ , де  $W$  виражено у відсотках щодо маси вологого зразка, визначають вологість.

Фазовий НВЧ-вологомір (рис. 7.7, б) використовує залежність фазового зсуву (в кутових градусах) електромагнітної хвилі під час проходження через вологий матеріал від вологості цього матеріалу. Вимірювання відбувається так. Коливання, що виробляються генератором 1 і модулюються низькочастотним модулятором 2, в подільнику 11 розділяються на два канали – опорний і вимірювальний. У фазо-повертачі 10 передавальною і приймальною антенами вимірюється фаза сигналу так, щоб він став синфазним з коливанням, що пройшло через вологий зразок. У подільнику 12 обидва сигнали змішуються і вимірюється напруженість електромагнітного поля. В момент синфазності коливань покази міліамперметра мінімальні або дорівнюють нулю. Мірою вологості матеріалу є фазовий зсув, що вноситься фазоповертачем 10. Перед використанням фазовий вологомір градуують.

Фазові НВЧ-вологоміри мають деяку перевагу над вологомірами з послабленням радіохвиль. На їхню точність менше впливають коливання хімічного складу матеріалу, тому їх можна використовувати для контролю речовин із змінним складом твердої фази. Похибка вимірювання НВЧ приладами не перевищує 0,5 %.

На базі НВЧ-методу розроблено автоматичні вологоміри неперервної дії, які мають багато переваг над іншими пристроями, призначеними для цієї мети. На рис. 7.8 показано структурну схему НВЧ-вологоміра, який використовують для неперервного вимірювання вологості заповнювачів бетону (піску, щебеню, гравію) на заводах. Матеріал, що неперервно подається в змішувач транспортером дозатора неперервної дії, піддається просвічуванню радіохвилями надвисокої частоти, які промодульовано низькочастотними імпульсами з частотою 1–2 кГц. Сигнал, який пройшов через матеріал, вловлюється приймальною антеною, детектується для виділення низькочастотної складової, що містить інформацію про вологість, подається через підсилювач на вимірювальний пристрій. Останнім може бути стрілковий прилад або автоматичний самописець, шкалу якого відградувано в одиницях вологості.



*Рис. 7.8. Структурна схема НВЧ-вологоміра для неперервного вимірювання вологості заповнювачів бетону: 1 – генератор НВЧ; 2 – модулятор; 3 – передавальна антена; 4 – приймальна антена; 5 – детектор; 6 – підсилювач; 7 – вимірювальний прилад*

Доповнення НВЧ-вологоміра обчислювальним пристроєм (мікропроцесором або мікроЕОМ) і системою регулювання продуктивності дозатора за вологістю матеріалу дає можливість коригувати кількість води і цементу.

Вологоміри НВЧ мають багато переваг порівняно з приладами, які ґрунтуються на інших методах. Крім безконтактного вимірювання, цей спосіб універсальний (може контролювати різноманітні матеріали в межах до 100 % вологості), дає значно зменшені похибки від нерівномірності розподілення вологи, коливань хімічного і гранулометричного складу та інших властивостей матеріалу. Вони мають високу чутливість у всьому діапазоні вимірювань (крім області дуже низьких вологовмістів – до 2–3 %), а вплив товщини і температури можна зліквідувати введенням відповідного коригування. НВЧ-вологоміри мають високу точність (похибка 0,5–1,0 %) у широкому діапазоні вимірювань (до 100 %).

## 7.6. Ваговий метод вимірювання вологості

Ваговий метод вимірювання вологості належить до найточніших методів унаслідок відсутності паразитних впливів. Однак складність механічних пристроїв та необхідність герметизації зменшує надійність його експлуатації в умовах будівництва.

Існує декілька різновидів вагового методу вимірювання вологості:

- ваговий метод із дворазовим зважуванням і проміжним висушуванням;
- ваговий метод з вакуумним видаленням вологи і дворазовим зважуванням;
- ваговий метод із відважуванням проби, розчиненням водою і зважуванням.

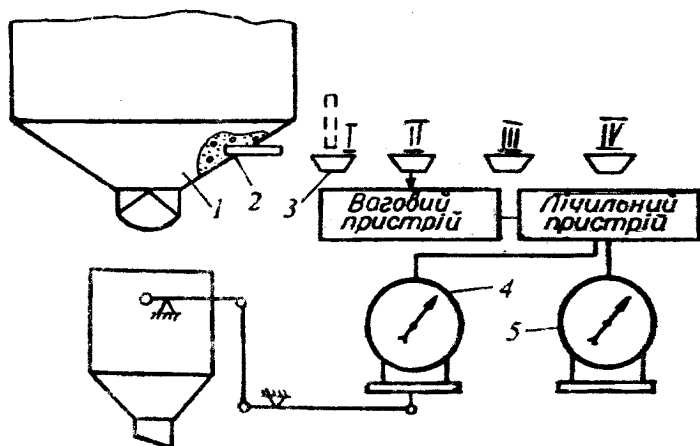


Рис. 7.9. Схема експресного вимірювання вологості ваговим методом:  
1 – нагромадчувальний бункер; 2 – пробовідбірник; 3 – чашечка;  
4 – дозатор піску; 5 – дозатор води

На рис. 7.9 показано схему експресного вимірювання вологості ваговим методом із уведенням поправок на дози піску та води.



Апаратура має пристрій для експресного вимірювання вологості ваговим методом і відліковий пристрій, який виробляє сигнал поправки доз піску і води. Пробовідбірник 2, встановлений безпосередньо під випускним затвором нагромаджувального бункера 1, відбирає пробу піску і висипає її в чашечку 3, яка в цей момент знаходиться в позиції I. Із пробєю піску чашечка автоматично пересувається на позицію II, де відбувається зважування проби, після чого, не зупиняючись в позиції III, подається в сушильну камеру (позиція IV). Після висихання проби у високотемпературному режимі (800–1000 °С) вона охолоджується в позиції III, а потім знову зважується в позиції II. Чашка після очищення від піску повертається у вихідну позицію I. Інформація про вагу проби піску до і після висушування подається у відліковий пристрій, де із врахуванням вологості піску виробляється сигнал поправки, що надходить на задавач автоматичних вагових дозаторів піску 4 і води 5.

Апаратура дає змогу вимірювати відносну вологість піску у межах від 1 до 15 % з похибкою, не більшою, ніж  $\pm 1$  %. Час висушування проби становить 2,5 хвилини, що дає змогу виконати 10–12 операцій вимірювання вологості за годину. Вологовміст піску і гравію, які постачають на завод, повинен бути не більшим від 5 % маси.

## 7.7. Вимірювання вологості газів

Вміст вологи в газі характеризують його абсолютною або відносною вологістю. За абсолютною вологістю газу розуміють масу водяної пари в  $1,0 \text{ м}^3$  газової суміші за нормальних умов. Абсолютна вологість вимірюється в  $\text{г/м}^3$ .

Відносна вологість газу  $\phi$  – це відношення маси (об'єму) водяної пари, вміщеної в  $1,0 \text{ м}^3$  суміші, до максимально можливої маси (об'єму) водяної пари в  $1,0 \text{ м}^3$  за тієї самої температури. Відносна вологість газу – величина безрозмірна і її виражають у відсотках (%).

До найвідоміших методів, які використовують для вимірювання вологості газів, належать:

- психрометричний метод, який ґрунтується на залежності швидкості випаровування вологи в оточуюче середовище від вологості цього середовища;
- метод “точки роси”, який полягає у визначенні температури, до якої необхідно охолодити (за незмінного тиску) насичений газ для того, щоб довести його до стану насичення;
- сорбційний метод, який ґрунтується на поглинанні вологості із аналізованого середовища будь-якою гігроскопічною речовиною;
- кондуктометричний метод, який ґрунтується на залежності електричних властивостей матеріалу від вологовмісту;
- спектрометричний метод використовує залежність поглинання випромінювання від вологості досліджуваного газу;
- електрохімічний метод, який ґрунтується на вимірюванні електричного потенціалу, що виникає у спеціальному розчині (розчин Фішера);
- метод теплопровідності, що ґрунтується на різниці теплопровідностей сухого і вологого газів.

У будівельній індустрії широко застосовують вимірювання вологості повітря, теплоносія в сушилах, газового потоку у відсмоктувальних каналах та пароповітряних сумішей у пропарювальних камерах. Найбільше застосовують психрометричний метод.

Основою цього методу є взаємозв'язок між нормальним тиском (пружністю) водяної пари і різницею показів сухого термометра і термометра, поверхня якого змочується водою (мокрим термометром). Різницю між показами сухого і мокрого термометрів називають психрометричною різницею.

Відносну вологість залежно від психрометричної різниці виражають залежністю

$$\varphi = \frac{P_v - A \cdot (t_c - t_m)}{P_c}, \quad (7.11)$$

де  $P_v$  – пружність пари, яка насичує досліджуване середовище за температури  $t_m$  вологого термометра;  $P_c$  – пружність пари, яка насичує досліджуване середовище за температури  $t_c$  сухого термометра;  $A$  – психрометричний коефіцієнт, який залежить від конструкції

психрометра, швидкості обдування вологого термометра газом і тиску газу; визначається за довідниковими психрометричними таблицями, складеними для певних конструкцій психрометрів.

На рис. 7.10 показано принципову схему електричного психрометра з термометрами опору. Вимірювальна частина приладу складається із двох мостів I і II. Обидва мости живляться змінним струмом від обмотки силового трансформатора електронного підсилювача і мають два спільних плеча  $R_1$  і  $R_3$ . Сухий термометр опору  $R_{т.с.}$  увімкнено в плече моста I, мокрий  $R_{т.м.}$  – в плече моста II. Міст I утворений постійними резисторами  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  і  $R_{т.с.}$ . Міст II утворено резисторами  $R_1$ ,  $R_3$ ,  $R_4$  і  $R_{т.м.}$ .

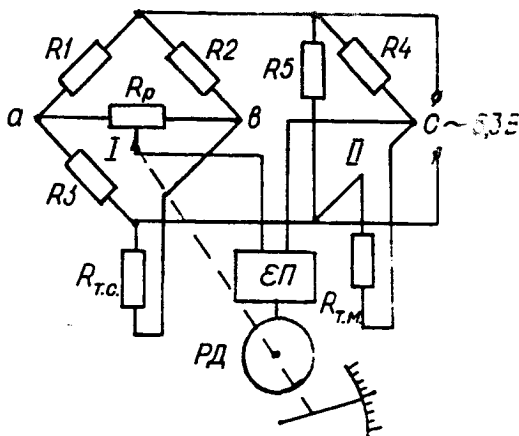


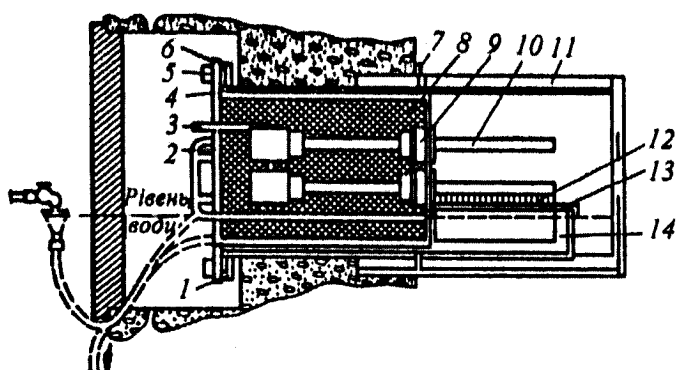
Рис. 7.10. Принципова електрична схема психрометра з термометрами опору

Напруга між точками  $a$  і  $b$  моста I пропорційна до температури сухого термометра опору, а напруга між точками  $a$  і  $c$  – до температури мокрого термометра опору. Величина напруги між точками  $b$  і  $c$  пропорційна до різниці температур сухого і мокрого термометрів. Якщо ця напруга не дорівнює нулю, то рівновага вимірювальної схеми встановлюється автоматично зміною повзунка  $R_p$ , що приводиться в рух двигуном РД. Шкала приладу відградуйована в одиницях вимірювання відносної вологості (%). Клас точності – 3,0.

Метод сухого і мокрого термометрів широко застосовують також для вимірювання вологості деревини під час її сушіння, для визначення вологості твердих капілярно-пористих будівельних матеріалів, а також для регулювання температури і вологості під час сушіння різних будівельних матеріалів та теплової обробки залізобетонних конструкцій та виробів.

Установлюють термометри в тунелях за допомогою спеціального знімного пристрою (рис. 7.11), що складається із чотирьох основних вузлів: рурки, чашки, накривки і огороження. Пристрій монтується на стіні тунелю на висоті 1,5–1,6 м від рівня рейки. Для монтажу пристрою в стіні камери роблять нішу діаметром 420 мм і завглибшки 250 мм. В отвір вставляють рурку 4 і закріплюють пластинами 7. У дно чашки 1 вставляють термоопорові перетворювачі 10 з відводами 3 і закріплюють шайбою 9, після чого чашку заповнюють теплоізоляцією 8 і закривають накривкою 2. Зібрану чашку вставляють у рурку і затискають гайками 5. Пристрій герметизований ущільнювальним виступом чашки і лабіринтом рурки, заповненим термостійкою гумою 6. Водночас із чашкою виконано ванночку 14 для живлення водою “мокрого” перетворювача. Її від забруднення захищає накривка 13. На усю довжину накривки зроблено щілину завширшки 10 мм для введення марлі 12 у ванночку. Чашка разом з перетворювачами, ванночкою і накривками вільно вставляється і витягається із рурки за ручки. Для захисту перетворювача і всього пристрою від ударів матеріалу під час завантаження камери встановлено огорожу 11. Конденсат для живлення “мокрого” термометра надходить через кран-лійку, гумовий шланг і латунну рурку у ванночку. Тут підтримується незмінний рівень води. Кран відкрито так, щоб вода із ванночки через латунну рурку капала у лійку (злив у каналізацію).

Корпус “мокрого” термометра обгортається за усією довжиною марлею або батистом у два шари, кінець марлі вставляється в щілину ванночки. Марлю міняють не рідше одного разу на місяць. Під час зміни марлі періодично перевіряють покази “сухого” і “мокрого” термометрів (без марлі). Обидва повинні давати однакові покази з похибкою до  $\pm 5$  °С.



*Рис. 7.11. Конструкція пристрою, що знімається, для встановлення термометрів опору в тунельних сушилах:*

- 1 – дно чашки; 2 – накривка; 3 – вивід проводів; 4 – рурка;  
 5 – гайка; 6 – термостійка гума; 7 – пластинка; 8 – теплоізоляція;  
 9 – шайба; 10 – термометр опору; 11 – огородження;  
 12 – марля; 13 – накривка; 14 – ванночка*

На цьому методі ґрунтується робота спеціальних психрометричних реле вологості (рис. 7.12), які дають змогу контролювати вологість середовища та використовувати їх навіть у системах позиційного регулювання. Як чутливі елементи в таких реле часто використовують манометричні термометри. Важіль 5, що перемикає контакти 10, знаходиться під дією різниці зусиль, що виникають під час переміщення сифонів. Налаштування діапазону спрацьовування реле здійснюють натягом пружини 3 з гайкою 4. Гайка 6 уможливає регулювання диференціалу, а магніт 9 забезпечує чіткість замикання контактів.

Друга велика група приладів для вимірювання вологості газів – сорбційні гігрометри. Їх поділяють на декілька видів: деформаційні, електролітичні та електричні. Дія деформаційних сорбційних гігрометрів ґрунтується на зміні пружності і геометричних розмірів деяких тіл під дією вологи. До найрозповсюдженіших зараховують волосяний, чутливим елементом якого є пасмо знежиреного людського волосся 1 (рис. 7.13), розтягнутого пружиною 4. Залежно від вологості повітря положення вказівника 3 і поєднаного із ним перетворювача 2

змінюватиметься, чим формуватиметься сигнал про зміну вологості. Останнім часом замість людського волосся почали використовувати вологочутливі елементи із пластиків у вигляді ниток, мембран і смуг.

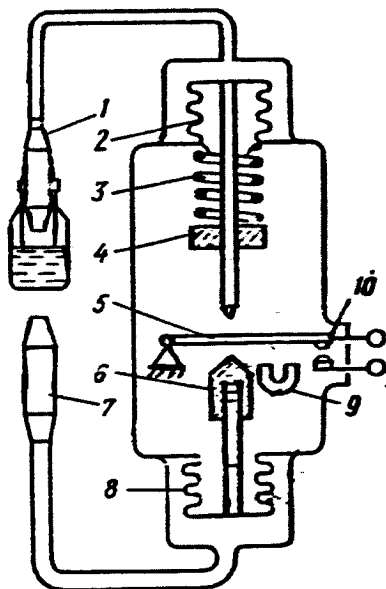


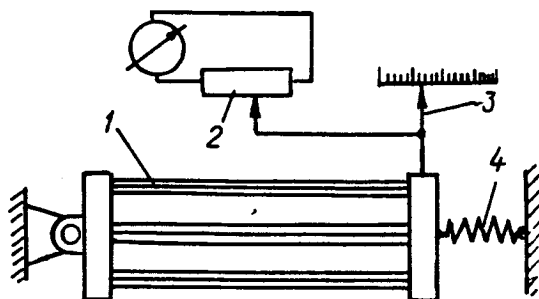
Рис. 7.12. Схема роботи психрометричного реле вологості з манометричними перетворювачами:

- 1 – “мокрый” термометр; 2, 8 – сільфони; 3 – пружина;  
 4, 6 – гайки; 5 – важіль; 7 – “сухий” термометр; 9 – постійний магніт;  
 10 – контактна група

В електролітичних перетворювачах змінюваною величиною є електропровідність ненасичених водних розчинів неорганічних кислот або солей, наприклад, хлористих солей свинцю, цирконію, суміші сегнетової або кухонної солі,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$  тощо.

Конструкцію електролітичного сорбційного гігрометра зображено на рис. 7.14. На поверхні гільзи із скловолокна або іншого водостійкого матеріалу, просоченого  $\text{LiCl}$ , розташовується біфілярна нагрівальна обмотка 2, з'єднана із джерелом змінного струму. В середині гільзи розміщено терморезистор 3. Нагрівання спіралі та

гільзи саморегулюється залежно від вмісту вологи, оскільки розчин добре проводить струм. Температура хлористого літію неперервно і автоматично встановлюється на точці роси. Це відбувається так. Під час подавання напруги на спіраль через розчин хлористого літію проходить електричний струм, що нагріває розчин до температури кристалізації хлористого літію. Утворення твердої солі призводить до різкого збільшення опору простору між витками спіралі, сила струму зменшується і температура перетворювача теж зменшується. Зменшення температури відбувається до того часу, доки внаслідок поглинання вологи із оточуючого середовища провідність розчину між витками спіралі знову не збільшиться, що зумовлює збільшення сили струму і підвищення температури перетворювача. В такий спосіб температура в перетворювачі автоматично підтримується на рівні рівноважної, що відповідає вологості оточуючого середовища (газового середовища).



*Рис. 7.13. Схема деформаційного сорбційного гігрометра:*

*1 – пасмо знежиреного волосся; 2 – перетворювач; 3 – вказівник; 4 – пружина*

Вторинний прилад, приєднаний до термометра опору (автоматичний міст або логометр), градуують в одиницях абсолютної вологості. За наявності другого термометра опору, що вимірює температуру оточуючого середовища, можна вимірювати відносну вологість.

Відомі сорбційні електрогігрометри, які діють за принципом зміни провідності поверхневого шару матеріалу, наприклад, порис-

того ебоніту, на який напиленням наносять шар металу, що є електродом. Останній змінює поверхневий опір залежно від вологості за законом, близьким до степеневого. Як поверхнево активні матеріали використовують алюмінієві оксидні плівки, двохлористе олово та інші матеріали.

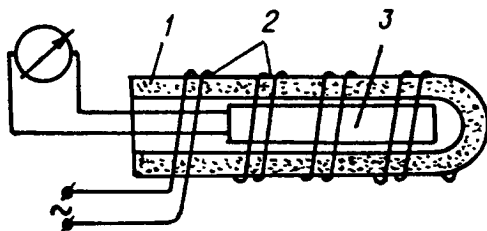


Рис. 7.14. Схема електrolітичного сорбційного гігromетра:

1 - гільза; 2 - обмотка; 3 - терморезистор

Таблиця 7.2

### Технічні характеристики гігromетрів для вимірювання відносної вологості газів

Тип приладу	Межі вимірювання, %	Допустима похибка	Параметри вимірюваного середовища
1	2	3	4
ГП-215	10-100	±3	Вологість пароповітряних сумішей. Гігromетр з LiCl
ГП-225	10-100; точка роси -20-80 °C	±1,5	Повітря в системах кондиціонування, 0-40 °C
ГС-210	15-98	±3	Пароповітряна суміш у різних галузях промисловості, температура 20-40 °C, тиск 0,1 МПа
ВВ-4	20-80; 40-90	±7	Повітря в приміщеннях, багатоточковий, 5-40 °C
АПГ-206	Точка роси, 34-90 °C	±7	Забруднене пароповітряне середовище в технологічних камерах, 40-200 °C
АПГ-210	10-100	±3	
АПВ-201	10-100	±3	Парогазова суміш у термічних камерах, 30-100 °C



Продовження табл. 7.2

“Волна-5”	0–100	$\pm 2,5$	Повітря в робочих приміщеннях
АГК-214	Точка роси $-25$ – $25$ °С	$\pm 1$	Природний газ, температура $5$ – $50$ °С, тиск $9,8$ МПа
ЭВ-2К	7–22, 22–60	$\pm 3$	Абсолютна вологість пиломатеріалів
ВПС-205	0–12	–	Будівельний пісок
АКВА	0–0,5	$\pm 10$	Нафтопродукти
ПАВН	0–5, 0–15	–	

На заводах залізобетонних конструкцій розроблений метод контролю вологості заповнювачів бетону способом вимірювання вологості повітря, взятого безпосередньо з поверхні контрольованого матеріалу. Однак цей метод допускає великі похибки вимірювання і вимагає температурної компенсації. Крім того, пробовідбірники та контрольно-вимірювальні прилади швидко забруднюються і потребують доброго аспіраційного захисту (табл. 7.2).

## Розділ 8

# ВИМІРЮВАННЯ МІЦНОСТІ ТА КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ БЕТОНУ

### 8.1. Загальні дані та характеристика методів

Технологічний процес виробництва бетонних і залізобетонних виробів та конструкцій доволі складний. Автоматизація цього процесу вимагає використання специфічних автоматизованих засобів для контролю основних збуджуючих дій і якісних характеристик бетонних і залізобетонних виробів та конструкцій, інформацію стосовно яких можуть використовувати для оптимального управління виробництвом.

Основними якісними параметрами, які потрібно контролювати і вимірювати, є міцність, тріщиностійкість і морозостійкість бетону, розміри захисного шару бетону для арматури залізобетонних виробів, наявність пустот, тріщин та інших дефектів у виробках і конструкціях. За наведеними вище параметрами можна визначати довговічність бетону та інші якісні характеристики.

Для вимірювання і контролю вищевказаних параметрів використовують руйнівні і неруйнівні методи. Руйнівні методи використовують здебільшого у лабораторних умовах, і вони уможливають здійснення прямих вимірювань досліджуваних параметрів. Неруйнівні методи дають змогу контролювати готові вироби, а також конструкції, що знаходяться в експлуатації. Методів неруйнівного контролю є багато, і для цього застосовують різноманітні

прилади та пристрої. Руйнівні методи забезпечують більшу точність, але вони не завжди придатні для вимірювань.

Найпоширенішими методами неруйнівного контролю є:

- а) за зразками;
- б) механічні;
- в) акустичні;
- г) радіометричні;
- д) магнітометричні.

Визначення якості та міцності конструкцій за зразками використовують під час випуску бетонних і залізобетонних конструкцій на заводах. Під час застосування цього методу використовують вимірювання деформацій зразка або виробу під навантаженням для визначення його модуля пружності або руйнування зразка для визначення його міцності.

Механічні випробування твердості поверхневого шару здійснюють методом пружного відбиття і пластичних деформацій за допомогою молотків і маятникових приладів різних систем. Залежність між міцністю бетону і твердістю його поверхні встановлюють дослідними методами.

Із всіх відомих методів механічні випробування мають найбільшу похибку вимірювань, тому їх застосовують доволі рідко і тільки для одержання попередніх даних.

Три останні методи розглядатимуться детальніше.

## **8.2. Акустичні методи вимірювання міцності та якості бетону і залізобетону**

Акустичні методи випробування і дослідження будівельних конструкцій, виробів і споруд розвиваються за такими основними напрямками:

- 1) вібраційний резонансний метод (звуковий метод) випробування зразків будівельних матеріалів;
- 2) ультразвуковий імпульсний метод випробування будівельних матеріалів, виробів і невеликих конструкцій;

3) метод хвилі удару для контролю якості масивних конструкцій, тонких і довгих покриттів;

4) метод біжучої хвилі для контролю якості укріпленого і ущільненого ґрунту, основ і конструкцій шляхових покриттів.

Акустичні методи ґрунтуються передусім на таких фізичних явищах:

- а) на спостереженні за розповсюдженням ультразвуку (дефектоскопія);
- б) на вимірюванні частоти і затухання власних коливань досліджуваного зразка (визначення модуля пружності і в'язкості);
- в) на вимірюванні швидкості розповсюдження хвиль і їхнього поглинання у виробках (контроль якості, вимірювання міцності).

Із перелічених вище методів найширше розглядатиметься ультразвуковий метод визначення міцності і якості залізобетонних конструкцій. Він є одним із найпоширеніших методів випробування будівельних матеріалів і конструкцій. Сфера його використання характеризується такими основними напрямками:

- визначення міцності бетону в бетонних і залізобетонних конструкціях і спорудах;
- контроль кінетики набору міцності в процесі тужавіння бетону;
- визначення несучої здатності залізобетонних конструкцій;
- контроль характеристик довговічності бетону під час стискування;
- контроль якості бетонних і залізобетонних конструкцій.

В основу ультразвукового методу покладено визначений теоретично та експериментально зв'язок між акустичними параметрами – швидкістю розповсюдження і ступенем затухання пружних хвиль ультразвукової частоти в бетоні, з одного боку, і його пружними і в'язкопластичними характеристиками, – з іншого. В'язкопластичні характеристики визначають основні механічні властивості бетону, а також міцність за осьового стиску або стиску за вигинання.

Типова залежність між швидкістю ультразвуку в бетоні і його міцністю під час стискування зображена на рис. 8.1. Така тарувальна

крива дійсна лише для того складу бетону, для якого її побудовано на підставі ультразвукових і механічних випробувань достатньої кількості зразків-кубів.

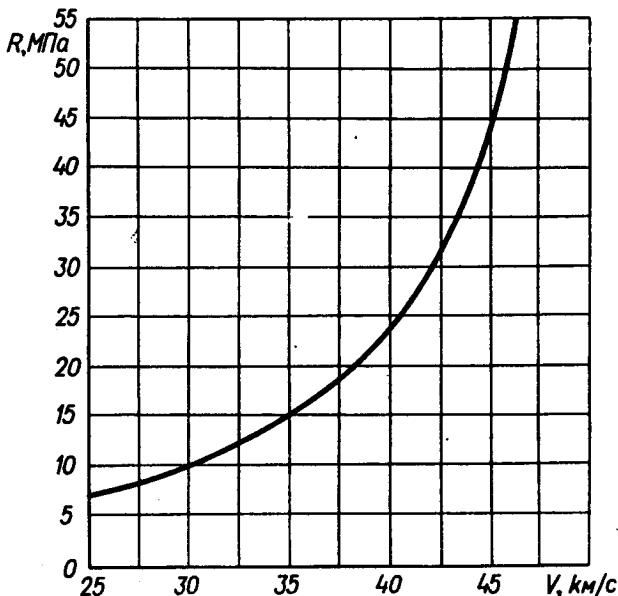


Рис. 8.1. Графік залежності швидкості ультразвуку від міцності бетону

На підставі багаточисленних підрахунків встановлено, що найточніше кореляційна залежність  $V = f(R)$  підлягає законіві

$$R = A \cdot e^{B \cdot \rho \cdot V}, \quad (8.1)$$

де  $R$  – міцність бетону;  $A$  і  $B$  – емпіричні коефіцієнти;  $e$  – основа натурального логарифму;  $\rho$  – об'ємна маса бетону;  $V$  – швидкість розповсюдження ультразвуку.

Для практичних цілей користуються залежністю

$$R = q \cdot V^4, \quad (8.2)$$

де  $q$  – коефіцієнт, що залежить передусім від складу бетону і умов тужавіння.

Для ультразвукового контролю бетону застосовують коливання з частотою в межах від 20 до 400 кГц. Вибір частоти контролю залежить від бази прозвучування або довжини конструкції. Чим більша база, тим менша частота, і навпаки.

Співвідношення між довжиною хвилі  $\lambda$ , швидкістю її розповсюдження  $V$  і частотою коливань  $f$  має такий вигляд:

$$\lambda = \frac{V}{f}. \quad (8.3)$$

Вимірювання швидкості розповсюдження пружних коливань здійснюють ультразвуковими імпульсними приладами. Вони являють собою електронно-акустичні пристрої, що дають можливість вимірювати час розповсюдження пружних хвиль ультразвукової частоти у бетоні і якісно оцінювати ступінь їхнього затухання. Ці дані є вихідними для одержання числових значень міцності і однорідності бетону в конструкції. Крім того, цією апаратурою можна здійснювати дефектоскопію бетону, знаходити зони неуцільненого бетону, тріщини, раковини, розшарування тощо.

На рис. 8.2 зображено структурну схему імпульсного ультразвукового приладу УКБ-1М. Задаючий генератор виробляє короткочасні імпульси з частотою слідування 50 Гц, які синхронізують роботу усього приладу. Під дією синхронізуючих імпульсів генератор імпульсів ультразвукових коливань (УЗК) з цією самою частотою (50 разів в секунду) виробляє зондуючі імпульси, які передаючою головкою перетворюються в механічні ультразвукові коливання, що надсилаються в бетон досліджуваної конструкції. Пройшовши через бетон з деяким запізненням, яке залежить від бази вимірювання і якості бетону, імпульси коливань сприймаються приймальною головкою, перетворюються нею в електричні коливання і, після підсилення, надходять на вертикально-відхиляючі пластини електронно-променевої трубки.

Синхронізуючі імпульси задаючого генератора запускають генератор розгортки, який виробляє пилоподібну напругу розгортки, що надходить на горизонтально-відхиляючі пластини електронно-променевої трубки. Під дією пилоподібного імпульсу розгортки електронний промінь плавно посувається зліва направо екраном трубки, а потім миттєво повертається назад.

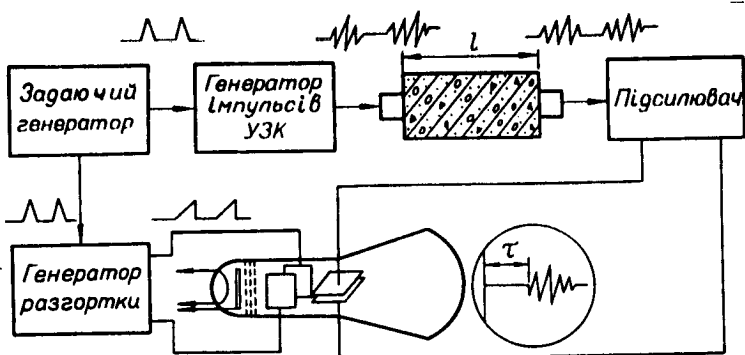


Рис. 8.2. Структурна схема імпульсного ультразвукового приладу УКБ-1М

Оскільки хід променя зліва направо екраном трубки починається одночасно з подаванням імпульсу ультразвукових коливань в бетон, то промінь встигне пройти екраном деякий відрізок, поки коливання, що пройшли через бетон, примусять його відхилитися ще й у вертикальному напрямку. Оскільки цей процес повторюється періодично (з частотою 50 Гц), то за рахунок післясвічення люмінофора трубки й інертності органів зору на екрані постає розгорнуте зображення імпульсу ультразвукових коливань.

Прямолінійний відтиск зображення характеризує час проходження ультразвуку через бетон. Час  $\tau$  вимірюють за допомогою міток часу або затримкою розгортки і суміщенням її початку з переднім фронтом імпульсу ультразвукових коливань.

Знаючи базу  $l$  і час  $\tau$  проходження ультразвуку, вираховують швидкість, за якою визначають міцність бетону в конструкції або його пружність із графіка (рис. 8.1):

$$V = \frac{l}{\tau}. \quad (8.4)$$

Відомо багато приладів для вимірювання міцності та контролю якості бетонних і залізобетонних виробів ультразвуковим методом. Київським НДІ будівельних конструкцій розроблено портативний прилад УК-14ПМ, який може працювати у двох режимах: вимірювання часу розповсюдження ультразвуку і тривалості першої

чверті прийнятого ультразвукового імпульсу, який пройшов через контрольований матеріал. Прилад комплектують набором перетворювачів з робочою частотою 20–300 кГц і можуть використовувати для контролю міцності бетону як у готових виробках, так і під час теплової обробки або природного тужавіння.

Таблиця 8.1

**Основні технічні характеристики ультразвукових приладів**

Марка приладу	Межі вимірювання часу розповсюдження ультразвуку, мкс	Дискретність відліку, мкс	Країна-виготовлювач
“Бетон-12”	20–999,9	0,1	РФ, Москва
“Бетон-17”	20–9999,9	0,1	РФ, Москва
УК-14П	20–999,9 1000–9900	0,1 1,0	Молдова, Кишинів
УК-1-ПМС	10–9999	0,1	Молдова, Кишинів
УФ-10П	20–999,9	0,1	РФ, Москва
УФ-50МЦ	20–100 100–1000	0,1 1,0	РФ, Москва
UNIFN-534	0–999,9 1000–9999	0,1 1,0	Польща
Е-46	0,1–1999,9	0,1	Італія
ВР-1У	0,1–999,9 1–9999	0,1 1,0	Німеччина
PUNDIT	0–9999	0,5	Велика Британія
С-4902 (V-METER)	0,1–999,9 1–9999	0,1	США
С-4903 (F-METER)	0,1–1999,9	0,1	США

Прилад “Бетон-12” призначено для визначення міцності бетону в конструкціях. Робоча частота перетворювачів становить 60 кГц.

Прилади УФ-30ПЦ та УФ-50МЦ виконані у вигляді двох електронних блоків – приймального і передавального, – які з’єднані між собою кабелем. Робоча частота перетворювача – 80 кГц. Їх призначено для контролю великих масивів бетону (табл. 8.2).



### Основні технічні характеристики радіаційних густиномірів бетону

Тип приладу	Межі вимірювання, кг/м <sup>3</sup>	Похибка вимірювання, кг/м <sup>3</sup>	Тип перетворювача
РПП-1	600–1500	Не більше 30	Поверхневий
РПП-2	1200–2500	Не більше 40	Поверхневий, Т-подібний
“Бетон-8УР”	600–1800	Не більше 30	Поверхневий
ИПР-Ц	600–1500	Не більше 30	Поверхневий
РПБС	1800–2500	Не більше 30	Поверхневий, Т-подібний

Вказані вище прилади побудовані на сучасній мікроелектронній базі, вони мають велику швидкодію та цифрову індикацію. Прилади портативні, тому мають малу вагу, швидко налагоджуються і споживають мало електроенергії.

Зарубіжні аналоги цих приладів: UNIPAN-534 (Польща), E-46 (Італія), ВР-ІУ (Німеччина), PUNDIT (Велика Британія), С-4902 і С-4903 (США). Принцип роботи цих приладів ґрунтується на вимірюванні з високою точністю часового інтервалу між моментом уведення в досліджуваний матеріал переднього фронту ультразвукових коливань і моментом приймання цих коливань, що пройшли через бетон. Прилади працюють за двошуповою системою і забезпечують вимірювання способами наскрізного і поверхневого прозвучування.

Для контролю якості бетону крупнорозмірних конструкцій, а також у шляховому і аеродромному покриттях застосовують метод, що ґрунтується на вимірюванні швидкості розповсюдження поверхневих хвиль, які виникають під час легкого вдарення по бетону (метод хвилі удару).

Швидкість розповсюдження поверхневих хвиль (хвиль Релея) визначають із залежності

$$v = \frac{0,87 + 1,12 \cdot \mu}{1 + \mu} \cdot \sqrt{\frac{G}{\rho}}, \quad (8.5)$$

де  $G$  – модуль зсуву;  $\rho$  – густина матеріалу;  $\mu$  – коефіцієнт поперечного розширення, або коефіцієнт Пуассона.

Залежність між модулем зсуву  $G$  і модулем пружності  $E$  виражають співвідношенням

$$G = \frac{1}{2} \cdot \frac{E}{1 - \mu}. \quad (8.6)$$

Під час випробування шляхових покриттів методом хвилі удару на покриття встановлюють два звукоприймачі, які послідовно сприймають хвилю, що поширюється від легкого удару в торець покриття. Час проходження поверхневих хвиль удару між двома звукоприймачами характеризує міцність покриття (границю міцності на розрив при згині). Цей час вимірюють за допомогою емнісних хроноскопів або електронних лічильних мікросекундомірів.

Здебільшого випробування конструкцій шляхових покриттів земляного полотна здійснюють методом біжучої хвилі, який полягає у вимірюванні швидкості поширення неперервних акустичних коливань. За допомогою цього методу можна визначати динамічний модуль пружності, модуль зсуву, ступінь ущільнення і оцінювати несучу здатність усієї конструкції шляхового покриття і його окремих шарів.

Структурна схема приладу, що працює за методом біжучої хвилі, показана на рис. 8.3. Принцип роботи приладу полягає в тому, що коливання ультразвукової або звукової частоти, що виробляється генератором, надсилається за допомогою випромінювача в покриття шляху і одночасно подається на вертикально-відхиляючі пластини електронно-променевої трубки. Прийняті приймачем коливання підсилюються і подаються на горизонтально-відхиляючі пластини трубки. Додавшись до коливань, які прийшли безпосередньо від генератора, вони утворюють на екрані трубки фігури Ліссажа. Модулятор використовується для підсвічування трубки подаванням прямокутного імпульсу на катод у момент часу, що відповідає фазі прийнятих коливань. Змінюючи типи випромінювачів і звукоприймачів, а також віддаль між ними, можна визначити пружні характеристики покриття шляху або земляного полотна.

Крім міцності і якості, ультразвуковий метод дає змогу визначати несучу здатність залізобетонних конструкцій за результатами вимірювань на ранніх стадіях завантаження. Ці вимірювання ґрунту-

ються на тому, що фізичні властивості бетону обумовлені насамперед його структурою, характерною особливістю якої є існування різного роду неоднорідностей (зерна крупного заповнювача, пори, мікротріщини тощо), внаслідок чого фізико-механічні параметри різних мікрооб'ємів бетону всередині однієї і тієї самої конструкції значно відрізняються один від одного. Це призводить до того, що за будь-якого завантаження, навіть за невеликого порівняно з руйнуючими навантаженнями, у бетоні відбуваються деструктивні зміни. В результаті змінюються його фізико-механічні характеристики і швидкість розповсюдження ультразвукових коливань.

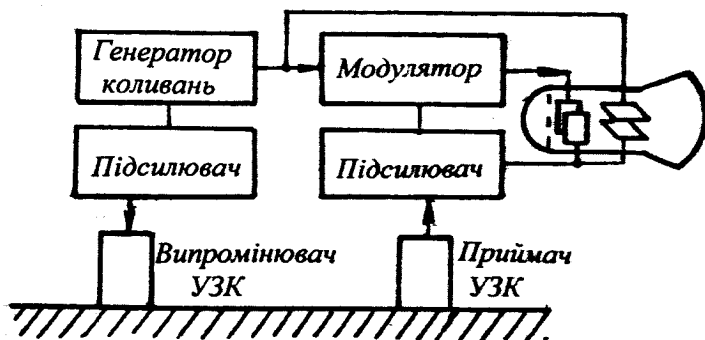


Рис. 8.3. Структурна схема приладу для випробовування залізобетонних конструкцій методом біжучої хвилі

Отже, фізичною основою ультразвукового імпульсного методу визначення несучої здатності залізобетонних конструкцій є залежність швидкості розповсюдження ультразвукових коливань від нагромадження пошкоджень у бетоні конструкції і максимального зусилля, яке може сприймати ця конструкція за вибраної схеми випробувань.

Для здійснення вимірювань ультразвукові перетворювачі наклеюють на поверхню контрольованої конструкції за допомогою легкоплавкої суміші.

У конструкціях, для яких відомий небезпечний переріз за певного виду навантаження (залізобетонні шпали, мостові плити, ригелі, ферми, балки тощо), зона контролю визначається цим пере-

різом. Для тих конструкцій, в яких місце руйнування заздалегідь визначити неможливо (залізобетонні труби, опори ЛЕП тощо), задача контролю перетворюється в статичну, в зв'язку з чим вимірювання необхідно здійснювати у декількох зонах контрольованої конструкції.

Методика прогнозування максимального навантаження, яке може сприймати конструкція, полягає у визначенні навантажень  $F_1$  і  $F_2$ , за яких швидкість розповсюдження ультразвукових коливань (під час контролю в декількох зонах – середня швидкість) змінюється відповідно на 1 і 2 % порівняно із швидкістю в бетоні ненавантаженої конструкції.

За допомогою ультразвукових коливань можна визначити також морозостійкість важких і легких бетонів. Його фізичною основою є взаємозв'язок між вимірюваннями структурних, міцнісних і акустичних характеристик бетону в процесі його почергового заморожування і розморожування. При цьому залежність часу розповсюдження ультразвукових коливань у бетоні від кількості циклів заморожування і розморожування, починаючи з деякого моменту, має у логарифмічних координатах лінійний характер, спочатку з одним коефіцієнтом нахилу, а потім з іншим, значно більшим. Це свідчить про якісну зміну процесів деструкції – початку етапу інтенсивного руйнування матеріалу. Критична кількість циклів, що відповідає точці перелому на вказаному графіку, а відповідно і початку інтенсивної деструкції бетону, є критерієм його морозостійкості за ультразвукового методу контролю.

Методика визначення морозостійкості зводиться до періодичного вимірювання часу розповсюдження ультразвукових коливань у шести зразках під час їхнього циклічного заморожування і розморожування. Вимірювання здійснюють у чотирьох, шести або десяти зонах зразка (за сторони куба-взірця відповідно 100, 150, 200 мм). Температура заморожування зразків під час використання основної методики  $-15 \dots -20$  °С, під час прискореної  $-50 \pm 2$  °С.

Після кожного вимірювання для кожного зразка визначають сумарний час розповсюдження УЗК усіма каналами. Потім за результатами вимірювань для кожного зразка встановлюють мінімальний час  $\tau_m$  і кількість циклів випробувань  $M_m$ , які відповідають

йому. Усі подальші результати вимірювань наносять на графік  $\lg(M - M_m) = f[\lg(\tau - \tau_m)]$ , де  $M$  – кількість циклів, а  $\tau$  – сумарний час розповсюдження УЗК. На побудованому графіку визначають абсцису  $K$  точки перелому і розраховують критичну кількість циклів  $A$  для досліджуваного зразка:

$$A = M_m + K. \quad (8.7)$$

### 8.3. Радіаційні методи контролю якості бетону і залізобетону

Радіаційні (радіометричні або радіоізотопні) методи контролю ґрунтуються на використанні параметрів взаємодії деяких видів ядерних випромінювань з матеріалами з метою визначення їхніх фізико-механічних і геометричних властивостей.

У будівництві випробування конструкцій ведуть за допомогою трьох видів випромінювання:

- а) рентгенівського – для дефектоскопії зварних з'єднань і будівельних матеріалів, а також для визначення глибини залягання арматури в залізобетонних конструкціях, її діаметра та напруження;
- б) гамма-випромінювання – для дефектоскопії бетону, деревини, пластмас, зварних з'єднань і положення арматури в залізобетонних конструкціях, а також для визначення об'ємної маси бетону;
- в) нейтронного випромінювання – для дефектоскопії і визначення вологості будівельних матеріалів.

Рентгенівський метод визначення товщини захисного шару бетону, розмірів і розташування арматури ґрунтується на здатності іонізуючого рентгенівського випромінювання проникати через контрольовані конструкції і давати зображення їхньої внутрішньої будови на рентгенівській плівці.

Рентгенівські промені являють собою надвисокочастотні електромагнітні коливання з довжиною хвилі в межах  $10^{-6}$ – $10^{-10}$  см,

які мають високу проникаючу здатність. Вони утворюються під час різкого гальмування потоку електронів атомами матеріалу-мішені або під час переходів електронів в атомі із зовнішніх шарів на внутрішні.

На рис. 8.4 показано схему визначення діаметра арматури та товщини захисного шару бетону за допомогою рентгенівських променів. Пересуваючи джерело випромінювання, на одному знімку отримують дві проекції арматурного елемента, що уможливило визначити його діаметр і глибину залягання:

$$D = \frac{(F - a) \cdot D^1}{F}; \quad (8.8)$$

$$a = \frac{F \cdot S}{S + S^1}; \quad (8.9)$$

$$b = a - \frac{D}{2}, \quad (8.10)$$

де  $F$  – фокусна віддаль;  $D^1$  – проекція арматурного стержня на рентгенівській плівці;  $D$  – діаметр арматури;  $S$  – величина зміщення джерела випромінювання;  $S^1$  – зміщення проекції арматурного стержня;  $b$  – товщина захисного шару бетону;  $a$  – віддаль від зовнішньої поверхні конструкції до половини діаметра арматури.

Найбільше практичне застосування у будівництві одержали гамма-промені, які мають велику проникну здатність. Вони випромінюються ядром атома, коли воно знаходиться у збудженому стані, і являють собою електромагнітне випромінювання з довжиною хвилі в межах  $10^{-6}$ – $10^{-10}$  см. Енергія гамма-променів, що поширюються із швидкістю світла, дорівнює

$$E = h_0 \cdot f, \quad (8.11)$$

де  $h_0$  – стала Планка;  $f$  – частота коливань  $\gamma$ -променів.

Більшість природних і штучних радіоактивних ізотопів випромінюють  $\gamma$ -кванти з енергією в діапазоні 0,05–3 МеВ. Під час взаємодії  $\gamma$ -променів з речовиною відбуваються переважно три процеси: фотоелектричне поглинання, комптонівське розсіювання і утворення пар електрон-позитрон. Гамма-промені широко використовують для визначення вологості заповнювачів бетону, визначення об'ємної маси та для дефектоскопії будівельних конструкцій.

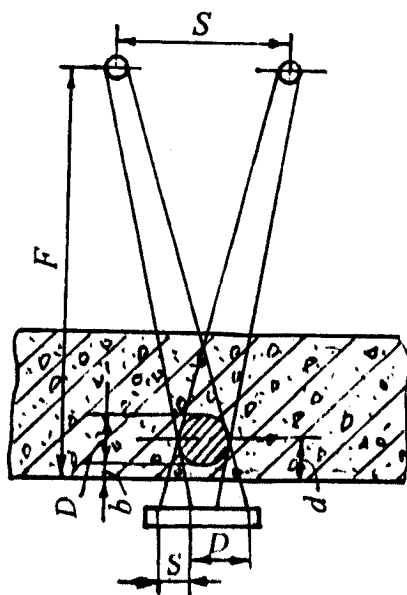


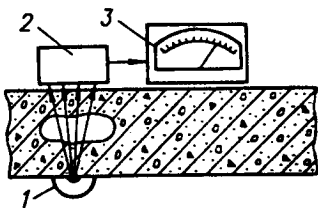
Рис. 8.4. Визначення глибини залягання арматури та її діаметра за допомогою рентгенівських променів

Дефектоскопію будівельних конструкцій ведуть способами наскрізного просвічування (рис. 8.5) та вимірюванням інтенсивності розсіювання  $\gamma$ -променів (рис. 8.6). Вимірювання густини (об'ємної маси) бетону радіаційним методом ґрунтується на залежності між густиною контрольованого бетону і послабленням або розсіюванням вимірюваного потоку гамма-променів (табл. 8.2).

Під час просвічування будівельних конструкцій їхню якість і густину (об'ємну вагу) визначають за послабленням  $\gamma$ -квантів, що пройшли через матеріал і досягли детектора. Так, наприклад, під час просвічування вузьким пучком інтенсивність  $\gamma$ -випромінювання після проходження через бетон становить

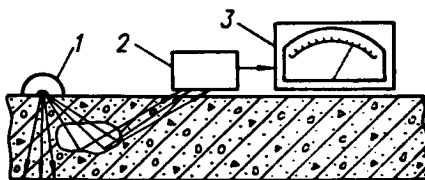
$$I = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot \rho \cdot d}, \quad (8.12)$$

де  $I_0$  – інтенсивність джерела  $\gamma$ -випромінювання;  $\mu$  – коефіцієнт послаблення;  $\rho$  – об'ємна маса матеріалу;  $d$  – товщина конструкції.



*Рис. 8.5. Дефектоскопія будівельних конструкцій методом наскрізного просвічування:*

- 1 – джерело випромінювання;
- 2 – детектор випромінювання;
- 3 – реєструвальний прилад



*Рис. 8.6. Дефектоскопія будівельних конструкцій методом вимірювання інтенсивності розсіювання  $\gamma$ -променів:*

- 1 – джерело випромінювання;
- 2 – детектор випромінювання;
- 3 – реєструвальний прилад

Як джерело гамма-променів у радіоізотопних густиномірах використовують кобальт-60 і цезій-137. Використання цих радіоізотопів обумовлено тим, що випромінювані ними гамма-промені мають енергію, за якої у результаті взаємодії з легкими елементами, що становлять основну масу будівельних матеріалів і ґрунтів, відбувається розсіювання променів. При цьому інтенсивність розсіяних гамма-променів пропорційна до об'ємної маси речовини.

Для визначення густини бетонів використовують дві схеми вимірювань – прямого просвічування і розсіяного випромінювання. За прямого просвічування джерело і приймач (детектор) випромінювання встановлюють співвісно з протилежних боків об'єкта. Густину визначають за послабленням пучка гамма-променів, що проходить через бетон. Під час реєстрування розсіяного випромінювання джерело і приймач (детектор) встановлюють з одного боку контрольованого середовища або вводять у нього на певну глибину. Подібні схеми були розглянуті під час дефектоскопії залізобетонних конструкцій (див. рис. 8.5 і 8.6). Метод розсіяного випромінювання широко застосовується за можливого доступу до конструкції лише з одного боку.

Радіаційні методи застосовують передусім для контролю важких, легких, пористих і силікатних бетонів у збірних і монолітних залізобетонних конструкціях, а також густини готових бетонних сумішей. Густину бетону визначають безпосередньо за показами приладів або градувальними залежностями, поданими у вигляді графіків чи формул.



Густиноміри складаються із вимірювального перетворювача, який має добре біологічно ізольоване джерело випромінювання, детектора гамма-випромінювання, що використовується для перетворення потоку гамма-променів у електричний сигнал, та електронного вимірювального блока з відліковим пристроєм. Градування приладів здійснюється заводом-виготовлювачем за стандартною методикою.

Вимірювання густини реалізують не менш як у 8 точках, що рівномірно розподілені за усім об'ємом досліджуваної конструкції. Схеми розташування перетворювачів для контролю об'ємної маси бетону в готових виробах і конструкціях зображено на рис. 8.7.

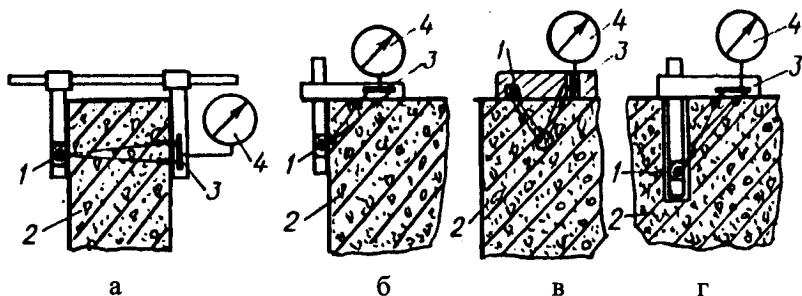


Рис. 8.7. Схеми перетворювачів для контролю об'ємної маси бетону в готових виробах і спорудах:  
1 – джерело випромінювання; 2 – бетон конструкції; 3 – детектор;  
4 – вимірювальний прилад

П-охоплюючий перетворювач (рис. 8.7, а) використовують для контролю об'ємної маси бетону у виробах невеликої товщини (до 400–500 мм), що мають паралельні грані.

Перетворювач типу “кутник” (рис. 8.7, б) використовується для контролю виробів з прямокутними ребрами.

Поверхневий зонд (рис. 8.7, в) використовують за одностороннього доступу до виробу або споруди і під час контролю масивних споруд і конструкцій; часто у спорудах його встановлюють у заздалегідь пробурених шпурах (рис. 8.7, г).

Перетворювачі типу Г- і Т-подібних зондів використовують під час контролю об'ємної маси бетону в масивних конструкціях.

У зонах визначення об'ємної маси не повинно бути арматури діаметром більше як 8 мм. Це стосується і закладних деталей.

Об'ємну масу бетонної суміші або бетону в готовому виробі визначають як середнє із результатів визначення об'ємної маси окремих ділянок виробу:

$$\gamma_{\text{сер.}} = \frac{\sum \gamma_i}{n}, \quad (8.13)$$

де  $\gamma_i$  – значення об'ємної маси бетону на одній ділянці, кг/м<sup>3</sup>;  $n$  – кількість ділянок вимірювання.

Для контролю об'ємної маси бетону в готових виробках використовують прилади ИОВ-4, ИОВ-4У, ИОВ-П. Перетворювачі такої самої конструкції застосовують і для контролю ущільнення бетонної суміші, яка характеризується коефіцієнтом ущільнення:

$$K_y = \frac{\gamma}{\gamma_{\text{max}}} \cdot 100 \%, \quad (8.14)$$

де  $\gamma_{\text{max}}$  – максимальна (теоретична) об'ємна маса для бетонної суміші цього складу, яку визначають теоретично або дослідними методами.

## 8.4. Магнітометричні методи контролю залізобетонних конструкцій

За допомогою магнітометричних методів можна контролювати діаметр арматури і її розташування в залізобетонній конструкції, якість зварювання арматури і закладних деталей, товщину захисного шару, якість антикорозійного покриття, визначати величину і характер напруження в арматурі, а також контролювати якість бетонних і залізобетонних конструкцій. Деякі питання, що стосуються вимірювання і контролю параметрів під час проведення арматурних робіт, розглядатимуться в 9 розділі.

Для визначення товщини захисного шару, знаходження арматури, її розташування і діаметра використовують прилади ИЗС-2, ИЗС-3 та ИЗС-10Н. Принципова електрична схема приладу ИЗС-3

зображена на рис. 8.8. Постійна напруга від джерела живлення перетворюється в змінну напругу за допомогою перетворювача, зібраного на двох транзисторах VT1, VT2, і трансформатора TV. Ця напруга подається на послідовно включені первинні обмотки трансформаторів TV1 і TV2. Обидва трансформатори зібрані на П-подібних сердечниках і становлять разом індуктивно-трансформаторний перетворювач.

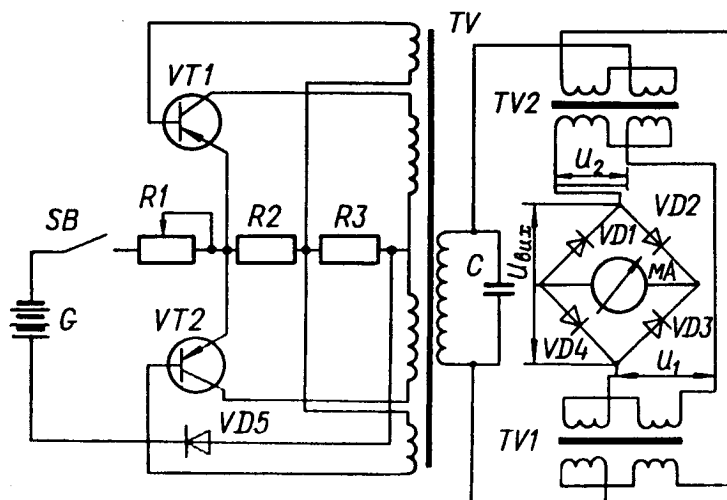


Рис. 8.8. Принципова електрична схема приладу ІЗС-3

Трансформатор TV1 знаходиться в корпусі приладу, і його магнітний потік замикається через феромагнітний шунт. Трансформатор TV2 є виносною частиною перетворювача і приєднується до приладу за допомогою чотирижильного кабеля. Цей трансформатор використовують для вимірювання, і його магнітний потік замикається через досліджувану арматуру залізобетонної конструкції (рис. 8.9, б).

Вторинні обмотки обидвох трансформаторів та їх напруги  $U_1$  і  $U_2$  включені зустрічно. Оскільки напруга  $U_1$  стабільна за постійної напруги живлення, то зміна напруги на виході залежатиме від напруги  $U_2$ , яка залежить від величини магнітного потоку, тобто від віддалі трансформатора до арматури.

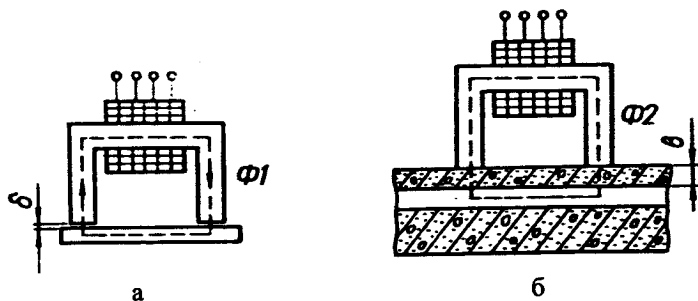


Рис. 8.9. Трансформаторні перетворювачі приладу ИЗС-3

Змінна напруга  $U_{\text{вих.}}$  перетворюється в постійну випрямлячем, зібраним на діодах VD1 – VD4, і подається на індикаторний прилад, шкала якого відградує в мм захисного шару для різних діаметрів арматури:

$$U_{\text{вих.}} = U_1 - U_2. \quad (8.15)$$

За невідомого діаметра арматури її параметри визначають у такий спосіб. Визначивши за найменшими показами індикатора розташування арматури, записують віддаль до нього за усіма шкалами. Потім, помістивши між перетворювачем і конструкцією прокладку із немагнітного матеріалу завтовшки 10–20 мм, записують нові покази індикатора. Зіставляючи одержані значення, знаходять те значення різниці між першим і другим вимірюванням, яке відповідатиме товщині прокладки. Діаметр арматури відповідатиме шкалі, на якій віднайдений збіг відповідає товщині прокладки.

Найудосконалішим із вказаних приладів є ИЗС-10. Він має ширший діапазон вимірювань і кращі характеристики:

- вимірювання товщини захисного шару для арматури:
  - діаметром 4–10 мм..... 5–30 мм;
  - діаметром 12–32 мм ..... 10–50 мм;
  - діаметр контрольованої арматури ..... 4–32 мм;
- крок поздовжньої арматури ..... 100 мм;
- основна допустима похибка ..... 5 %.

Прилад має стрілкову індикацію і дві шкали. Одна із них відградує в значеннях товщини захисного шару для одиничних

арматурних стержнів класу АІ (діаметром 4–8 мм) і класу АІІ (діаметром 10–32 мм). Налагодження на потрібний діаметр арматури здійснюють за допомогою перемикача, розташованого на лицьовій панелі приладу. Отже, градувальні залежності, які відповідають указанним класам арматурної сталі, закладено в приладі, і його додаткове градування в цьому разі не потрібне. Під час використання арматурної сталі інших класів, а також за близького розташування стержнів здійснюють побудову градувальних залежностей, що відповідають цим умовам. Покази в цьому випадку знімають із другої шкали, розміщеної від 1 до 100 у відносних одиницях.

Серед зарубіжних аналогів необхідно вирізнити портативний прилад Е-41 фірми *CONTROLS* (Італія) і С-4971 фірми *James Instruments* (США). Вони за своїми параметрами аналогічні до приладу ИЗС-10Н. Діаметр арматури – 10–40 мм, глибина залягання арматури – 6–200 мм.

У технічній літературі є дані про використання магнітометричних методів для контролю якості бетонних і залізобетонних конструкцій та виробів. У Естонії розроблено три типи приладів ВСМ-ВРМ, призначених для неруйнівного контролю міцності, однорідності і визначення класу бетону за міцністю на стиск.

Комплекс ВСМ/СК складається із портативного склерометра (СК) і блока вимірювання, запам'ятовування і математично-статистичної обробки даних вимірювання в момент контролю (ВСМ). Склерометр являє собою ударний пристрій, оснащений магнітопружним перетворювачем, який перетворює в електричний сигнал швидкість зміни контактного зусилля в момент проведення ударів склерометром поверхнею бетону. Сигнал із склерометра надходить у блок вимірювання, який одночасно із вимірюванням здійснює необхідні розрахунки і висвічує результати на табло у цифровій формі.

Прилад дає змогу вимірювати міцність бетону в межах 10–70 МПа. Енергія удару склерометра – 0, 02–0,01 Дж. Маса приладу разом із склерометром – 2,5 кг.

Комплекс ВРМ/М20 призначений для контролю стану бетону і внутрішніх сил у бетонних і залізобетонних конструкціях і спорудах. Магнітопружні перетворювачі М20 приладу закладаються в бетон у

процесі виготовлення конструкції. Вони реагують на зміну механічних напружень у контакті перетворювача з бетоном. Прилад дає змогу вимірювати напруження в бетоні на 18 каналах із часом математично-статичної обробки сигналів до 60 с. Робочий діапазон за напруженнями стиску – 2–30 МПа.

Комплекс ВРМ-5 призначений для автоматизованого вимірювання, реєстрування і попередньої обробки форми електричних сигналів, одержаних із стандартної вимірювальної апаратури (наприклад, із тензопідсилювачів з аналоговим виходом). Глибинні тензоперетворювачі Т-20 або стандартні тензоперетворювачі встановлюють у досліджуваній конструкції і під'єднують через тензопідсилювач до відповідного каналу ВРМ-5. Під час навантаження конструкції статичним або динамічним (ударним) навантаженням ВРМ-5 практично одночасно вимірює з інтервалом 20, 40, 80 або 160 мкс і запам'ятовує електричні сигнали. Всього є 480 вимірювань на кожному із 8 каналів. Опір тензоперетворювачів – 100–200 Ом.

## 8.5. Контроль якості ущільнення бетонної суміші

Процес формування бетонних і залізобетонних конструкцій – один із найважливіших. Завдання контролю якості формування – забезпечення потрібної щільності і якості відформованої конструкції. Операції, пов'язані із формуванням бетонних і залізобетонних конструкцій, є найбільш складними і місткими, а внаслідок значних вібрацій, ще і дуже шкідливими для здоров'я робітників.

Існує декілька способів ущільнення бетонної суміші: резонансне, ударно-вібраційне, пресуванням і центрифугуванням. Після цієї операції конструкції надається певна геометрична форма за допомогою формувального обладнання. Від ступеня ущільнення залежать якість та міцність конструкції. Відомі два способи контролю якості ущільнення:

1. Контроль ущільнення під час формування і роботи ущільнювача.
2. Контроль ущільнення після формування конструкції.

Система контролю ущільнення в процесі роботи ущільнювачів забезпечує видавання світлового або звукового сигналів за відхилення від заданого режиму. Суть способу полягає в тому, що за ущільнення бетонної суміші фіксують зміни характеру вібрації елементів формуючої устави, наприклад, вібростола. Вимірювання дають змогу зафіксувати зміни інтенсивності коливань вібростола, що супроводжують процес формування.

Для реєстрування інтенсивності коливань використовують індукційні перетворювачі, сигнал від яких подається на вторинний пристрій із стрілковою та світловою індикацією.

Віброперетворювач основного сигналу встановлюють на доважку і реєструють зміни характеру коливань доважки. Сигнал віброперетворювача пропорційний до коливань доважки. Віброперетворювач компенсуючого або опорного сигналу встановлюють на джерелі вібрації, його сигнал використовується для згладжування збуджень, які виникають з випадкових причин, що практично не впливають на режим віброущільнення. Показуючий і сигналізуючий вторинні прилади встановлюють на пульті керування.

Розроблено прилад для контролю ущільнення бетонної суміші за часом ущільнення вимірюванням споживаної потужності вібратора і порівнювання її із заданою.

В окремих випадках тривалість ущільнення бетонної суміші визначають за величиною струму, що проходить через бетон. Із збільшенням щільності суміші струм збільшується. Вкінці ущільнення наростання струму припиняється, що є сигналом для припинення вібрації.

На рис. 8.10 показано структурну схему безконтактного контролю якості ущільнення бетонної суміші з використанням гамма-ізопного методу. Гамма-перетворювач ГП перетворює гамма-кванти, що реєструються, в електричні імпульси; блок обліку гамма-квантів БО підраховує їх під час основних і додаткових інтервалів часу обліку; аналізатор А аналізує результати вимірювання, одержані в блоці обліку попередньо введеної інформації про граничні допуски норми або браку; друкувальний пристрій ДП призначено для кількісної оцінки об'ємної маси бетонної суміші; перетворювач повітряного проміжку ППП перетворює останній в електричний сигнал; блок вимірювання повітря-





обумовлено варіацією висоти форм-вагончиків щодо рівня встановлення гамма-перетворювача. Похибка оцінки щільності бетонної суміші – не більше 1,0 % за часу контролю – 100–120 с.

На процес ущільнення дуже впливає рухомість бетонної суміші. Питанням контролю і регулювання рухомості приділяють чимало уваги. Під час вирішення цієї проблеми вирізняють два основні напрямки:

- перший полягає в автоматичному корегуванні кількості води, яку вводять у бетонну суміш під час дозування з врахуванням результатів контролю вологості заповнювачів безпосередньо перед замісом;
- другий напрямок пов'язаний із здійсненням контролю і забезпеченням заданих формувальних властивостей бетонної суміші безпосередньо під час перемішування визначенням реологічних властивостей бетонної суміші і подаванням води в бетонозмішувач до досягнення необхідних результатів.

За першого способу з'являється можливість стабілізації усього складу бетонної суміші корегуванням доз води і заповнювачів залежно від вологості заповнювачів. Тут забезпечують також стабільність В/Ц об'єму замісу і виключають перевитрату цементу.

Другий спосіб здійснюють контролем реологічних властивостей бетонної суміші під час її приготування і вимірювання вологості та опору зсувові (в'язкості) під час перемішування.

У вітчизняній практиці найрозповсюдженіший другий спосіб контролю. Його реалізують переважно в системах контролю і регулювання рухомості бетонної суміші, в яких як інформативний параметр використовують активну потужність (або струм), що споживається електродвигуном бетонозмішувача.

На графіку рис. 8.11 показано зміну потужності електродвигуна протягом циклу приготування бетонної суміші. Чітко виділяють ділянки, що відповідають неробочому ходу змішувача, завантажуванню заповнювачів і цементу, подачі води і стабілізації суміші. Під час завантажування бетонозмішувача складниками бетонної суміші і подальшого перемішування потужність, яку споживає електродвигун,

змінюється, збільшуючись від потужності  $P_n$  – недовантажений бетонозмішувач, до величини  $P_m$  – під час завантаження бетонозмішувача повним об'ємом бетонної суміші. Після завантаження змішувача з моменту часу  $\tau_2$ , в міру перемішування суміші та збільшення її однорідності, потужність, яку споживає електродвигун, зменшується і до часу  $\tau_3$  стабілізується на певному рівні  $P_k$ , що характеризує консистенцію бетонної суміші у змішувачі.

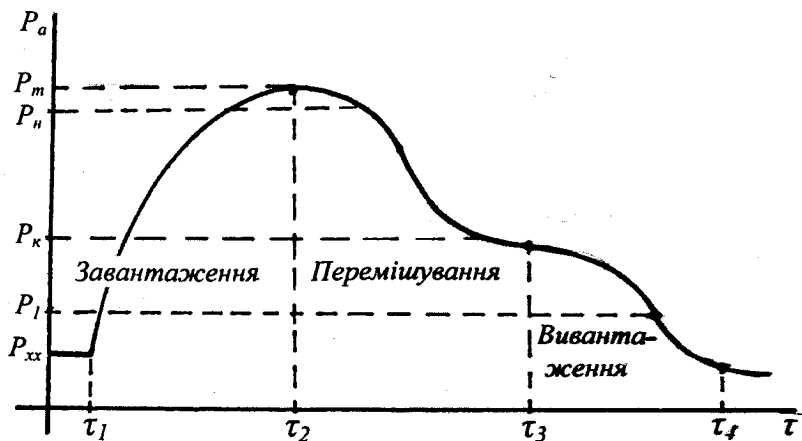


Рис. 8.11. Графік зміни потужності на валу бетонозмішувача

Описана закономірність є основою для багатьох пристроїв контролю рухомості бетонної суміші. На рис. 8.12 показано структурну схему приладу ИПА, що уможливорює вимірювання рухомості бетонної суміші в діапазонах:

від 0,5 до 4 –  $\pm 0,5$  см;

від 4 до 8 –  $\pm 1,0$  см;

від 8 до 12 –  $\pm 1,5$  см.

Під час подачі з пульта керування сигналу “завантаження бетонозмішувача” в один із лічильників АП з перетворювача потужності ПП через АЦП записується в цифровому коді усереднене значення  $P_n$ . На період завантаження змішувача в приладі формується пауза. Після закінчення завантаження прилад вимірює потужність, що витрачається на перемішування бетонної суміші, обробляє дані і видає кінцевий

результат на цифровому табло індикатора БІ. Живиться прилад від стабілізованого джерела живлення БЖ.

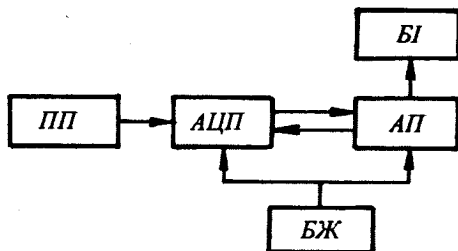


Рис. 8.12. Структурна схема приладу ИПА

Подібні прилади випускають зарубіжні фірми. Так, німецька фірма *Elba* виготовляє прилади типу “Consistor” багатьох модифікацій, що мають різний принцип дії. “Consistor-E” – працює за методом контролю електричної провідності і призначений для контролю рухомості особливо жорстких і жорстких бетонних сумішей. “Consistor-M” використовує інформацію про потужність, яку споживає привід змішувача, для контролю рухомих сумішей. “Consistor-C” – мікропроцесорний регулятор, що використовує для контролю вологості бетонної суміші результати вимірювань її діелектричних властивостей безпосередньо в бетонозмішувачі. “Consistor-EM” – комбінований прилад, що контролює консистенцію бетонної суміші за двома попередніми методами.

На багатьох підприємствах ефективний контроль якості залізобетонних виробів і конструкцій, який забезпечує їхню поставку на об’єкти будівництва з гарантованими параметрами, здійснюють на спеціальних автоматизованих стендах. Такі стенди дають можливість визначати міцність бетону в конструкціях, його щільність, вологість, розмір і розташування арматури та геометричні характеристики виробу. Стенд складається із механічної частини, що сприймає навантаження від контрольованого виробу і яка забезпечує розташування первинних перетворювачів та пульта керування з контрольно-вимірювальною апаратурою, обчислювальними пристроями та органами керування.

## Розділ 9

# КОНТРОЛЬ І ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ АРМАТУРИ

### 9.1. Загальні визначення та класифікація методів

Стійкість, тріщиностійкість і довговічність попередньо напружених залізобетонних конструкцій обумовлені якістю робіт і величиною попереднього напруження. Тому контроль цих параметрів має першочергове значення. За недостатнього зусилля натягу арматури і відповідно неповного обтискування бетону конструкція має понижену тріщиностійкість і жорсткість. З іншого боку, перенапруження арматури може призвести до надлишкового обтискування бетону і зумовити появу поздовжніх тріщин. В обох випадках дефекти в конструкціях приховані і виявити їх можна лише під час випробувань готових виробів або в процесі експлуатації. Досліди свідчать, що відхилення попереднього напруження в конструкціях може досягати 20–25 % і більше від заданого, що набагато перевищує допустимі значення.

Враховуючи аспекти технологічного процесу виготовлення попередньо напружених залізобетонних конструкцій, можливі два випадки контролю напруження в арматурі:

- вимірювання зусилля в арматурі в процесі її напруження (до фіксації видовження);
- контроль напруженого стану арматури після її натягу і фіксації видовження.

Відповідно до цього використовують обидва способи вимірювання напруження в арматурі, а саме:

1) у процесі самого натягу негайно використовують результати для регулювання напруження з метою забезпечення заданого зусилля до моменту фіксації одержаного видовження;

2) після завершення процесу натягу та фіксації одержаного видовження, їх результати використовують для контролю якості конструкції.

Перший спосіб доцільніший за механічного напруження арматури за допомогою гідродомкратів або інших пристроїв. Другий спосіб використовують під час електротермічного або електротермомеханічного способу напруження арматури і зрідка – під час механічного.

Для контролю величини напруження в арматурі використовують такі основні методи:

1. Вимірювання напруження в арматурі динамометруванням кінцевого зусилля.

2. Вимірювання напруження за видовженням натягнутої арматури.

3. Вимірювання напруження за величиною зусилля, прикладеного до арматури (тиску в домкратах).

4. Вимірювання напруження за величиною прогину ділянки натягнутої арматури.

5. Вимірювання напруження за частотою вільних коливань натягнутої арматури.

6. Вимірювання напруження за величиною зміни фізичного стану натягнутої арматури (магнітометричні методи).

Під час вимірювань напружень рекомендують дублювати вимірювання двома незалежними методами.

Для виготовлення різноманітних арматурних елементів, з'єднання арматури із закладними деталями, стикування арматурних стержнів, а також для анкерування натягнутої арматури широко використовують зварювання. Якість зварювання і зварних швів необхідно контролювати. Методи контролю і пристрої, які при цьому використовують, розглядатимуться в підрозділі 9.3. Деякі параметри арматури (глибину

залигання, діаметр, розташування) необхідно контролювати в готових залізобетонних конструкціях. Методи і прилади, які при цьому використовують, зазначено в розділі 8.

## 9.2. Вимірювання величини попереднього напруження в арматурі

### 9.2.1. Вимірювання напруження динамометруванням кінцевого зусилля

Цей метод вимірювання напруження в арматурі полягає у вимірюванні деформації пружного елемента механічного динамометра, який встановлюють на кінці арматурної заготовки між упором форми і кінцевим анкером на стержні (рис. 9.1). Натяг арматури здійснюють за допомогою гідравлічних домкратів.

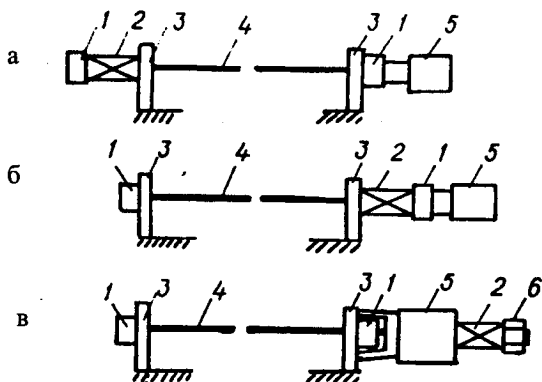


Рис. 9.1. Схеми встановлення динамометрів стискування під час напружування арматури домкратами:  
 а – між упорами форми і кінцевим анкером на стержні;  
 б – між домкратом і упором форми; в – між упорною гайкою інвентарної тяги і корпусом домкрата з порожнинним штоком;  
 1 – затискач (кінцевий анкер); 2 – динамометр; 3 – упори форми;  
 4 – напружувана арматура; 5 – домкрат; 6 – гайка тяги

Під час динамометрування кінцевого зусилля як силівимірювачі можуть бути використані:

- а) механічні динамометри розтягу, що включаються в силове коло між натягувальним домкратом і натягуваною арматурою;
- б) механічні динамометри стискування, що включаються в силове коло за схемами рис. 9.1; деформувальний пружний елемент такого динамометра виконується здебільшого у вигляді сталеві втулки;
- в) гідравлічні силоміри, що являють собою комбінацію із месдози і манометра.

Вимірювання деформацій пружного елемента здійснюють за допомогою індикаторів годинникового типу (рис. 9.2, а) або дротяних тензоперетворювачів, які наклеюють на нього і з'єднують у мостову схему (рис. 9.2, б). Вторинний прилад, до якого приєднують тензоперетворювачі, може видавати інформацію на цифрове табло, вхід ЕОМ або шкальний пристрій. Ця інформація може використовуватися також для визначення зміни напруження в арматурі у процесі тепловологісної обробки залізобетонних виробів.

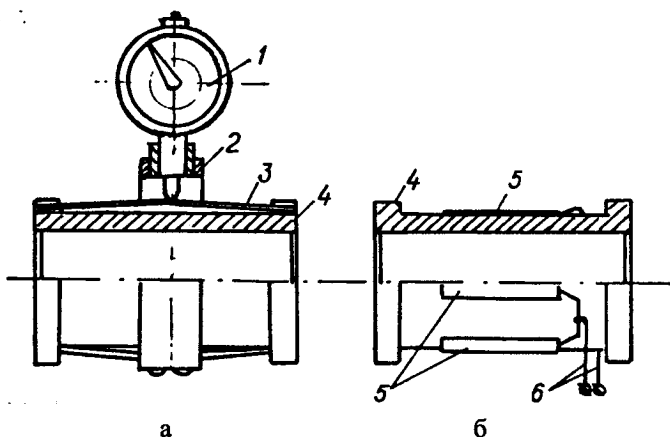


Рис. 9.2. Втулкові динамометри стискування:

а – з індикатором; б – з наклеєними тензоперетворювачами;

1 – індикатор годинникового типу; 2 – дистанційне кільце; 3 – сталеві упори;  
4 – динамометрична втулка; 5 – тензоперетворювачі; 6 – виводи

Вимірювання напруження гідравлічними силомірами здійснюють вимірюванням тиску в месдозі за допомогою манометра. Зусилля в перерізі силового кола визначають за показами приладу і градувальними таблицями або графіками, складеними для цього примірника месдоз. Конструкція глухої діафрагмової месдози зображена на рис. 9.3.

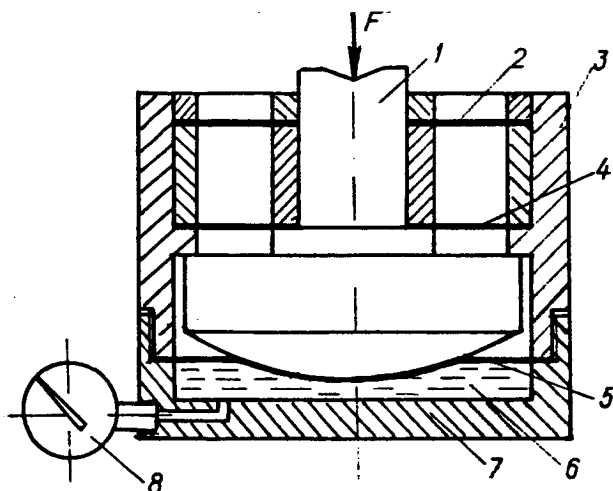


Рис. 9.3. Конструкція глухої діафрагмової месдозы:

- 1 – поршень; 2, 4 – ущільнювальні прокладки; 3 – корпус месдозы;  
5 – герметизуюча мембрана; 6 – олива; 7 – дно месдозы; 8 – манометр

Вимірюване зусилля, діючи на поршень, створює тиск у рідині, що знаходиться між корпусом і поршнем. Для герметизації порожнини з робочою рідиною використовують еластичну мембрану. Герметизуючі мембрани на тиск до  $10^6$  Па виготовляють із прогумованої тканини завтовшки 0,05–0,06 мм на скляній, шовковій і капроновій основі, або із берилієвої бронзи завтовшки 0,05–0,06 мм. Для мембран, що працюють за великих тисків, використовують оливостійку гуму середньої твердості завтовшки 2–3 мм.

Відомі й інші конструкції месдоз (проточна, діафрагмова, поршнева золотникового типу тощо), і їх використання залежить від:



конструктивної схеми вимірювань, необхідної точності, стану оточуючого середовища і необхідних зусиль.

Основна перевага глухих месдоз – це відсутність похибки за рахунок тертя поршня об стінку циліндра, однак високої точності досягти не вдається через температурну похибку, що виникає унаслідок замкнутості робочого об'єму гідравлічної системи.

### **9.2.2. Вимірювання напруження в арматурі за її видовженням**

Оцінка фактичного попереднього напруження в арматурі за її відносним видовженням ґрунтується на використанні відомої залежності

$$\sigma_0 = \varepsilon \cdot E_d = \left( \frac{\Delta l}{l} \right) \cdot E_d, \quad (9.1)$$

де  $\sigma_0$  – фактичне напруження в арматурі;  $\varepsilon$  – відносне видовження арматури;  $E_d$  – модуль деформації арматури;  $l$  – початкова довжина ділянки (база), на якій вимірюється видовження;  $\Delta l$  – повне видовження на базі  $l$ .

Під час електротермічного напруження із нагріванням стержнів поза формами видовження визначають як різницю віддалі між упорами форми і віддалі між торцями анкерів (або затискачів), виконаних або встановлених на стержні із врахуванням можливих втрат видовження внаслідок пружних деформацій упорів, змінання металу в місцях контактів, витягування затискачів і випрямлення стержнів. Однакові видовження стержнів забезпечують використанням шаблонів для перевірки віддалі між упорами форм і стержнів.

Здебільшого на нагрівану арматуру встановлюють важільний або індикаторний тензометри. Після нагрівання стержень вкладають в упори форми і відразу ж беруть перший відлік на тензометрі. Коли стержень охолідиться до температури оточуючого середовища, беруть другий відлік на тензометрі і за їхньою різницею, знаючи базу тензометра, вираховують величину відносного видовження.

За механічного напруження арматури видовження вимірюють за допомогою змінних деформометрів із індикаторами годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм на вимірювальній базі завдовжки 200–300 мм. Прилади встановлюють симетрично з метою ліквідації похибок від вигинаючих деформацій стержня.

Відомі прилади, де замість індикаторів, встановлюють перетворювачі, приєднані до вторинних приладів. Найчастіше на них встановлюють диференційно-трансформаторні перетворювачі.

### ***9.2.3. Вимірювання напруження за величиною зусилля, прикладеного до арматури***

Цей метод придатний тільки для механічного напруження арматури. За своїм принципом він подібний до методу вимірювання гідравлічними силомірами. Месдозою в цьому випадку є гідродомкрат, тиск в якому можна легко вимірювати манометром. Про зусилля міркують, коли є повний тиск оливи на поршень гідродомкрата:

$$P = p_1 \cdot F_n, \quad (9.2)$$

де  $P$  – повний тиск оливи на поршень гідродомкрата;  $p_1$  – тиск оливи в гідродомкраті, який виміряний манометром з похибкою, що не перевищує 4 %;  $F_n$  – активна площа поршня.

Слід врахувати, що зусилля в кінцевому розрахунковому перерізі арматурного елемента не дорівнює повному тиску  $P$  оливи на поршень гідродомкрата, бо частина зусилля витрачається на подолання сили тертя:

$$N = P - T, \quad (9.3)$$

де  $N$  – зусилля в арматурі, МПа;  $T$  – втрата зусилля на подолання сил тертя, МПа.

Тиск вимірюють безпосередньо в домкраті або гідросистемі гідропомпи. Цей процес легко автоматизується за принципами, описаними в розділі 3. Втрата зусилля на подолання сил тертя, як правило, визначається дослідними методами. Ці втрати деколи

можуть бути значні, оскільки поршні часто оснащують спеціальними ущільненнями для зменшення перетікання оливи під час напруження арматури або її витримування в напруженому стані.

#### **9.2.4. Вимірювання напруження за величиною прогину ділянки арматури**

Ширше застосування отримали силові методи вимірювання напруження в арматурі. Прилади переносні, тому такі вимірювання здійснюють як на заводах так і в умовах будівництва. Принцип роботи таких приладів ґрунтується на залежності між розтягуючим зусиллями натягу і прогином, який виникає від дії прикладуваної згинаючої сили. Прилади розташовують на чітко фіксованому відтинку (базі приладу), а прикладувана згинаюча сила має заздалегідь установлену величину або зумовлюється дією пружини за допомогою протарованого напірного механізму. Такі прилади найчастіше називають механічними динамометрами. Відомо багато конструктивних рішень таких приладів – від суто механічних до електронно-механічних. Технічні характеристики механічних динамометрів наведено в табл. 9.1.

Силу натягу арматури механічними динамометрами визначають за величиною прогину пружини або арматури, або разом цього та іншого (рис. 9.4). У цьому разі сила напруження арматури  $N$  залежить від її жорсткості і є функцією величини її прогину, а також від опору арматури поперечному вигину:

$$N = \frac{4 \cdot Q \cdot X}{l}; \quad (9.4)$$

$$N = \frac{\rho \cdot X \cdot E \cdot I}{l^3}; \quad (9.5)$$

$$E \cdot I = E \cdot 0,05 \cdot d^4 \quad (9.6)$$

за

$$P = \frac{4 \cdot Q \cdot X}{l} + 0,05 \cdot \beta \cdot E \cdot \frac{d^4}{l^3}, \quad (9.7)$$

де  $E$  – модуль пружності сталі;  $I$  – момент інерції арматурного стержня;  $Q$  – зусилля, яке вигинає напружену арматуру вгору або вниз;  $l$  – вимірювальна база динамометра;  $\beta$  – коефіцієнт, який характеризує ступінь защемлення арматури на опорах;  $d$  – діаметр арматурного стержня;  $X$  – величина прогину стержня.

Таблиця 9.1

**Технічні характеристики приладів  
для контролю напруження в арматурі**

Тип приладу	Діаметр арматури, мм	Граничні значення довжини арматури, м	Вага приладу, кг	Час одного вимірювання, с
<b>Пружинні динамометри</b>				
ДП-250	3–5	1–24	1,3	30
ДП-6	3–5	1–24	0,6	30
ДП-500	3–6	1–24	2,5	30
ДН-15	10–20	3–12	3,3	30
ДН-100	20–60	3–24	8	120
ДН-240	20–75	6–24	10	120
ДПР-250	3–6	1–24	2,2	30
ПРД-У	3–8	1–24	3,6	30
ПРД	7–28	4–24	3,1	120
ПН-1	10–20	3–24	3	60
ЗН-1	12–14	4,8–6,7	3,3	30
АД-60	10–28	3–24	12	60
<b>Електронно-механічні вимірювачі</b>				
ЭМИН-2	5–15	2–24	4,6	120
ЭМИН-3	5–15	2–24	4,6	120
ПИН	3–15	1,5–24	4,7	120
<b>Електронні частотоміри</b>				
ИНА-3	3–22	1,5–14	2	–
ИНА-5П	3–22	1,5–14	1,35	–
ИПН-7	3–25	3–20	4	40
АП-12	3–25	3–24	1,4	40
АП-23 ПР	4–22	1,5–18	2,2	–
АП-48	4–22	1,5–18	–	–

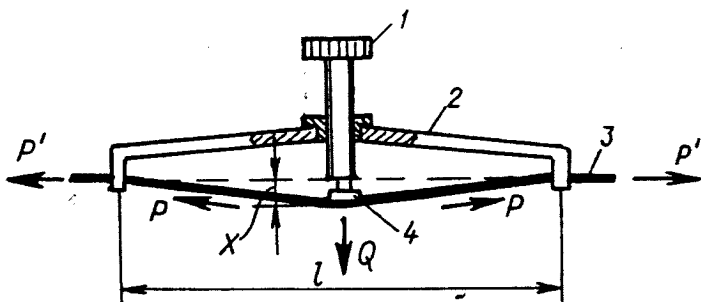


Рис. 9.4. Визначення сили натягу арматури механічним динамометром:  
 1 – натяжний гвинт; 2 – база (корпус); 3 – напружувана арматура;  
 4 – відтискуючий упор

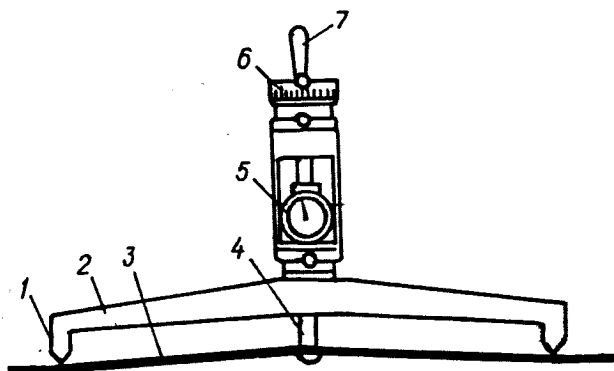
Величину прогину стержня  $X$ , одержану відтягуванням або відтискуванням, вимірюють індикатором годинникового типу, а потім обчислюють силу напруження арматурного стержня.

На рис. 9.5 показано конструкцію приладу ПРД-У. Базу 2 опорними виступами 1 встановлюють на арматурний стержень 3 за опущеного захоплювального гака 4. Арматура захоплюється гаком 4 і попередньо підтягується на задану кількість поділок на шкалі індикатора 5 стиску пружини. Відтягування відбувається за обертання тягового гвинта із жорстко посадженим на ньому лімбом 6 обертанням ручки. Після того, як встановлено вихідний стан приладу, попереднім підтягуванням зауважують покази на шкалі лімба 6. Залікове відтягування здійснюється обертанням лімба на деяку кількість обертів. Момент закінчення обертання лімба фіксується за допомогою візирної риски на корпусі за раніше відміченим показом на лімбі 6. Після цього з індикатора знімається показ, який заноситься у відомість для послідовного визначення контрольованого зусилля за градуальною характеристикою.

У такий самий спосіб працюють усі прилади типу ПРД. Дещо інакше працюють прилади типу ДП. На рис. 9.6 показано конструкцію приладу ДП-500. Це один із кращих дротяних динамометрів на власній базі.

Дві паралельно розташовані боковини 2 із сталеві смуги утворюють корпус (базу) приладу. Опорними стійками 3 прилад встанов-

люють на арматуру 1. Захоплювальний гачок 7 знаходиться в глухому з'єднанні з пружним елементом 8 (пластинчаста пружина), закріпленим всередині корпусу, і поєднаним із штоком індикатора 5. Під час відтягування арматури ручка 6 ексцентрика повертається за годинниковою стрілкою, відгинаючи вільний кінець пружини вгору. Разом із цим підіймається гачок 7. Відхилення арматури і прогин пружини реєструють індикатором 5. Деформація осі пружини (прогин) тим більша, чим вище контрольоване зусилля. Під час встановлювання приладу, використовуючи регулювальні гвинти 4, арматурі надають початкового прогину, який відповідає 20 поділкам шкали індикатора. Після цього обертанням ручки 6 до упору збільшують прогин арматури і знімають покази індикатора. Зусилля в арматурі визначають за показами приладу і градуовальною характеристикою.



*Рис. 9.5. Вимірювання натягу арматури приладом ПРД-У:  
1 – упорні виступи; 2 – база (корпус); 3 – напружена арматура;  
4 – захоплювальний гач; 5 – індикатор; 6 – лімба;  
7 – ручка натяжного гвинта і лімба*

Велика кількість різних типів механічних динамометрів не дає можливості описати їхню конструкцію і принцип роботи, тому обмежимося тільки двома приладами, які є найхарактернішими.

Електронно-механічні вимірники напруження арматури складаються із динамометра та вимірювального пристрою. Так само, як у пружинних динамометрах, тут забезпечується фіксована стріла

прогину арматури і вимірюється величина зусилля, потрібного для досягнення цього прогину. Величину зусилля вимірюють дротяними тензоперетворювачами, розташованими на пружному елементі. Під час вимірювання сигнал підсилюється і величина зусилля відраховується за допомогою лічильного пристрою.

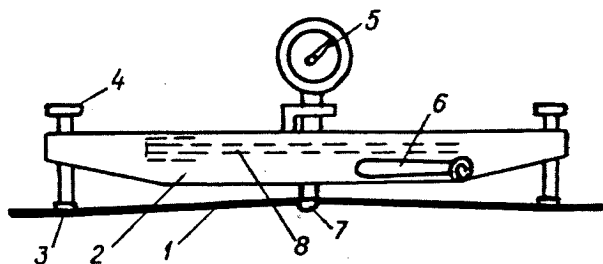
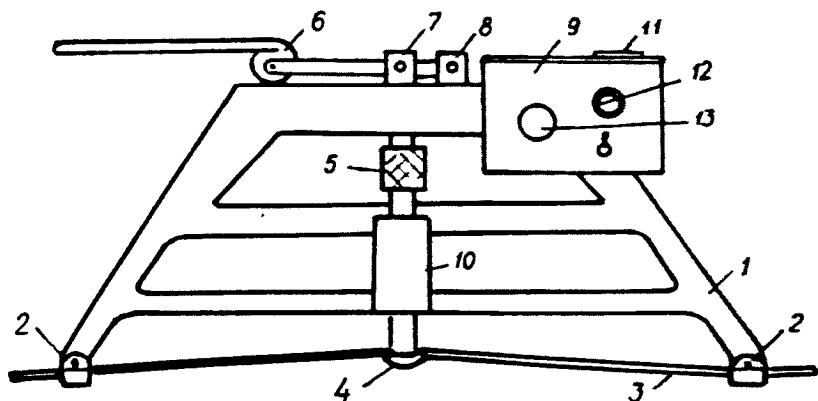


Рис. 9.6. Вимірювання натягу арматури приладом ДП-500:  
 1 – напружена арматура; 2 – корпус (база); 3 – упорні стійки;  
 4 – гайки попереднього підтягування; 5 – індикатор; 6 – ручка ексцентрика;  
 7 – захоплювальний гак; 8 – плитка пружина

Із цієї серії приладів найрозповсюдженіші прилади типу ЭМИН (рис. 9.7). Прилад ПИН – модифікація приладу ЭМИН-2. Вимірювання приладами здійснюють у такий спосіб. Корпус 1, виконаний у вигляді плиткої рами із похилими стійками, встановлюють опорами 2 на арматурний стержень 3. Арматура відтягується за допомогою силової ланки 4-5-6-7-8-10. Захоплюється арматура гаком 4, підвішеним до нижнього кінця пружного елемента 10. На нижньому кінці тяги, з'єднаної з пружним елементом, є гайка 5 для попереднього відтягування. Верхній кінець тяги шарнірно спряжений на стояку 7 із важелем, який може повертатися в площині корпусу приладу довкола шарніра упорного виступу 8.

На другому кінці важіль шарнірно з'єднаний з ексцентриковим диском з ручкою 6. Під час повертання ручки ексцентрика за годинниковою стрілкою тяга 7 підіймається і тим самим відтягує арматуру. Тяга 7 деформується (напружується) і разом з нею деформується пружний елемент 10, на якому наклеєно тензоперетворювачі (рис. 9.8), включені в мостову вимірювальну схему приладу.



*Рис. 9.7. Загальний вигляд приладу ЭМИН-3:*

- 1 – рама; 2 – упори; 3 – напружувана арматура; 4 – захоплювальний гачк;  
 5 – гайка регулювання; 6 – ручка з ексцентриком; 7 – важіль із стояком;  
 8 – упорний виступ; 9 – коробка із змонтованою схемою;  
 10 – пружний елемент з перетворювачами; 11 – мікроамперметр;  
 12 – ручка реостата для встановлювання нуля; 13 – ручка реохорди*

Вимірювання здійснюють у такій послідовності. Прилад вмикають і через 2–3 хвилини шкалу відліку за допомогою ручки реохорди  $R_p$  встановлюють на нульову відмітку. Потім повертанням ручки опору  $R_4$  домагаються мінімального показу нуль-індикатора, після чого шкалу відліку переводять у положення “налагодження”. Далі прилад встановлюють на арматуру, яка зачіпляється гачком. Закручуючи гайку 5, забезпечують контактування гачка з арматурою, домагаючись мінімального показу мікроамперметра. Навантажуючи і розвантажуючи пружний елемент за допомогою ручки ексцентрика, уточняють нульові покази. Далі, повернувши ручку ексцентрика до упору, забезпечують навантаження на пружний елемент. При цьому мікроамперметр покаже максимальне значення струму. Після цього шкалу відліку переміщують до того часу, поки мікроамперметр не покаже мінімальний струм. Із шкали реохорда знімають покази і за допомогою градуовальної характеристики визначають зусилля в арматурі.



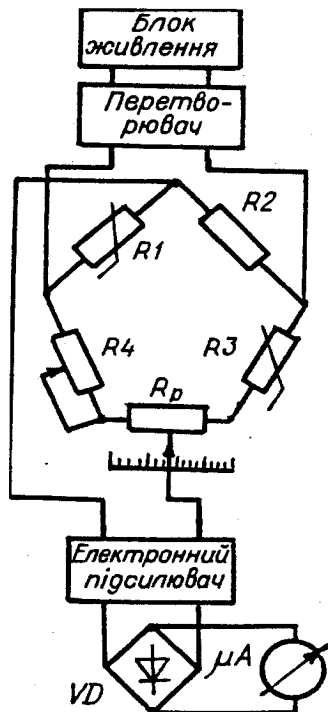


Рис. 9.8. Принципова електрична схема приладу ЭМИН-3

Електронна схема приладу розміщена в коробці 9. Прилад ЭМИН-3 – удосконалена модель приладу ЭМИН-2. Користування такими приладами вимагає деякого досвіду обслуговуючого персоналу.

Зняття відліків із приладів необхідно здійснювати не менше ніж три рази під час кожного вимірювання. У разі різкого коливання окремих показів граничні значення відкидаються і береться середня величина за мінімальними відліками. Похибка вимірювання пружними динамометрами і електронно-механічними вимірювачами не перевищує 2–2,5 %.

### 9.2.5. Вимірювання напруження в арматурі за допомогою частотомірів

Принцип роботи таких приладів ґрунтується на відомій фізичній залежності між напруженням і частотою вільних поперечних коливань натягнутої однорідної струни із нерухомо закріпленими кінцями (рис. 9.9). Аналітично ця залежність має вигляд

$$f = \frac{17,7}{l} \cdot \sqrt{\sigma}, \quad (9.8)$$

де  $f$  – частота власних коливань арматурного елемента, Гц;  $l$  – довжина арматурного елемента, м;  $\sigma$  – напруження в арматурі, МПа.

За таким принципом працюють прилади ИПН-7 і ИНА-3. Структурну схему приладів зображено на рис. 9.10, а технічні дані наведено в табл. 9.1. Конструктивно прилади складаються із вимірювального блока та індукційного перетворювача, з'єднаного із блоком кабелем. Ударивши не сильно по напруженій арматурі, здійснюють індукційний перетворювач близько до неї і за допомогою кнопки на приладі вмикають реле часу. Реле вмикає на 10 с лічильник коливань, який фіксує кількість електромагнітних коливань, що наводяться в індукційному перетворювачі. За допомогою формули визначають напруження в арматурі:

$$\sigma = 0,319 \cdot 10^{-3} \cdot l^2 \cdot N^2, \quad (9.9)$$

де  $N$  – покази лічильника коливань приладу (кількість коливань за 10 с).

Напружена арматура у момент вимірювання повинна бути вільна і не доторкатися до арматурної сітки чи закладних деталей.

Прилад ИНА-3 є також транзисторним частотоміром, який складається із лічильника імпульсів із стрілковим індикатором та індукційного перетворювача циліндричної форми. Структурна схема приладу складається із віброперетворювача, підсилювача-обмежувача, диференціюючої ланки і очікуючого мультівібратора із стріл-

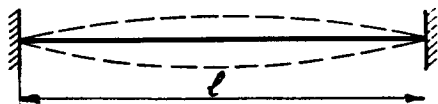


Рис. 9.9. Коливання однорідної струни із нерухомо закріпленими кінцями

ковим індикатором, що реагує на частоту вимірюваного сигналу. Прилади ИНА-5П відрізняються елементною базою.

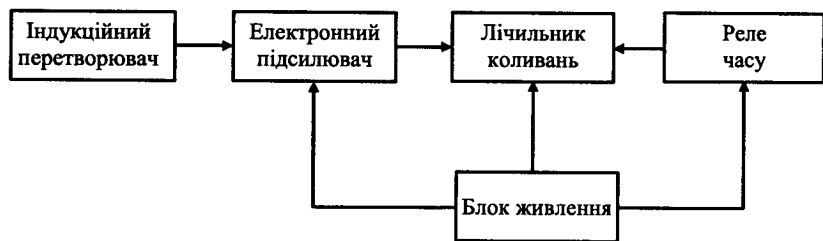


Рис. 9.10. Структурна схема приладу ИПН-7

На початку 90-х років ХХ ст. з'явився прилад АП-12. Його також призначено для вимірювання частоти власних коливань напруженої арматури. Прилад зібраний на мікроелектронних елементах і має доволі складну конструкцію. У ньому, замість індукційного перетворювача, використовується п'єзoeлектричний перетворювач, який прикріплюється безпосередньо до арматури за допомогою магнітів. Під час коливання арматури п'єзоелемент деформується і виробляє електричний сигнал з частотою, яка дорівнює частоті коливання арматури.

Київський НДІБК розробив прилад АП-23ПР, призначений для контролю напруження в арматурі частотним методом. У діапазоні 3–20 Гц він може бути використаний для вимірювання періоду вільних коливань інших об'єктів. Прилад виконаний на мікроелементній базі, і його програмне забезпечення розраховане для виконання таких операцій:

- вимірювання періоду вільних коливань арматурних елементів;
- розрахунку напружень в арматурі за уточненими формулами;
- введення даних контрольованої арматури;
- діагностування працездатності приладу за допомогою тестів.

Дані контрольованої арматури, а також виміряні значення періоду коливань або напруження записуються в пам'яті приладу і

за необхідності можуть бути відтворені на цифровому індикаторі приладу, а також на рознімі інтерфейсу в послідовному коді. Документація результатів контролю реалізується на зовнішньому пристрої (АЦДП, мікроЕОМ тощо).

Первинний перетворювач приладу складається із литого корпусу, на краях якого закріплено два магніти, призначені для прикріплення його до арматури. В середній частині є сталева пластина, до якої приклеєно поляризований п'єзоелемент. Під час коливання арматури п'єзопластина одержує деформації згину, пропорційні до діючого прискорення. При цьому на обкладках п'єзоелемента з'явиться знакозмінна напруга, що подається на вхід вимірювального приладу.

На передній панелі приладу є такі клавіші: 10 цифрових і 6 функціональних. Ними здійснюють управління приладом: И – вимірювання; Д – дані; L – довжина; d – діаметр; Т – тест; П – пам'ять. Для занесення в пам'ять даних про довжину арматури (у см) натискають послідовно клавіші Д і L; для діаметра (у мм) – Д і d. Після збудження коливань натискають на клавішу И і на цифровому табло висвічується значення напруження в арматурі. Його визначають як середнє арифметичне результатів трьох вимірювань.

### ***9.2.6. Магнітометричні методи вимірювання напруження в арматурі***

Використання розглянутих вище приладів обмежується довжиною і діаметром арматури. Так, наприклад, для попереднього напруження в умовах будівельного майданчика використовують арматуру діаметром 22–36 мм, завдовжки – від 1,0 до 24 м. Серед відомих приладів, які випускаються промисловістю, немає жодного, який би повністю задовольняв ці розміри.

Цю проблему можуть вирішити магнітометричні прилади. Із технічної літератури відомі такі прилади, але їхнього масового чи серійного виробництва не налагоджено. Робота таких приладів ґрунтується на явищі магнітопружності і магнітострикції. Загалом

залежність між напруженням у феромагнітному елементі і величиною зміни його магнітної проникливості має вигляд

$$\sigma = \frac{\Delta\mu}{\mu} \cdot \frac{B_s^2}{2 \cdot \mu \cdot \lambda_s}, \quad (9.10)$$

де  $\mu$  і  $\Delta\mu$  – магнітна проникливість феромагнетика і її зміна під дією механічних напружень;  $B_s$  – магнітна індукція;  $\lambda_s$  – магнітострикція феромагнетика.

Структурна схема приладу для вимірювання напруження в арматурі магнітометричним методом зображена на рис. 9.11. Стабілізована змінна напруга, що виробляється генератором, подається на первинну обмотку індуктивно-трансформаторного перетворювача. Під дією струму, що проходить в обмотці, в магнітопроводі перетворювача виникає магнітний потік  $\Phi$ , який замикається через напружений арматурний стержень. Відповідно до залежності (9.10) струм у вторинній обмотці залежатиме від напруження в арматурному стержні. Це зафіксує мікроамперметр, шкала якого відградуєвана в одиницях напруженості (МПа або кН/см<sup>2</sup>).

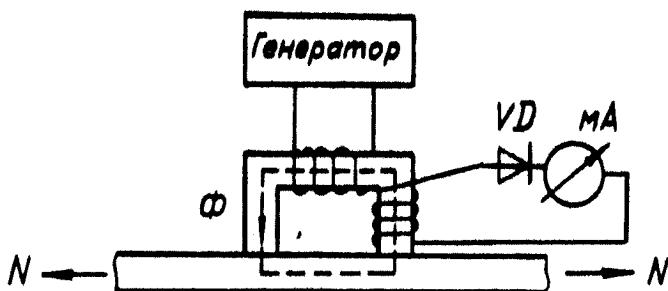


Рис. 9.11. Структурна схема приладу для вимірювання напруження в арматурі магнітометричним методом

На практиці з метою усунення впливу сторонніх чинників, перетворювачі виконують за диференційною схемою з обмотками, розташованими взаємно перпендикулярно.

Досконалішою є схема, зображена на рис. 9.12. Пристрій складається із двох перетворювачів з П-подібними магнітопрово-

дами, на які насаджено по дві однакові котушки, з'єднані за мостовою схемою. У вимірювальну діагональ моста включений мікроамперметр, шкала якого відградуєвана в одиницях вимірювання напруження. Один перетворювач установлюється на еталонному зразку арматури, а другий – на напружуваній арматурі. Обмотки створюють у магнітопроводах магнітні потоки  $\Phi_1$  і  $\Phi_2$ . Якщо еталонний зразок і напружувана арматура мають однакові параметри (арматура не напружена), то  $\Phi_1 = \Phi_2$ . Індуктивні і активні опори всіх котушок однакові, й міст знаходиться в рівновазі, на вимірювальній діагоналі напруга відсутня (рис. 9.13).

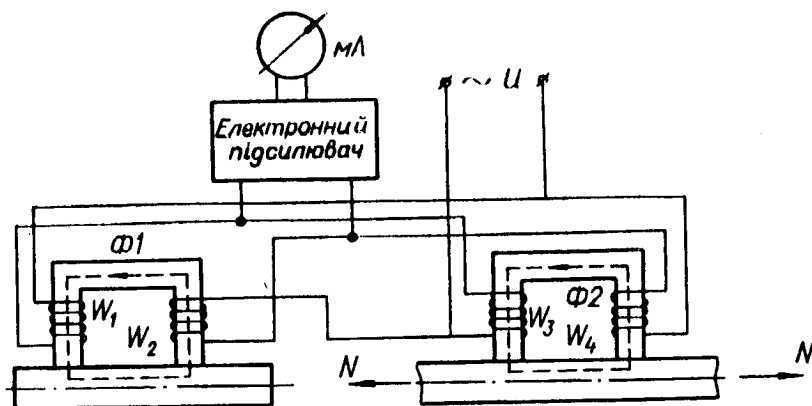


Рис. 9.12. Схема приладу для вимірювання напруження в арматурі магнітоелектричним диференційним методом

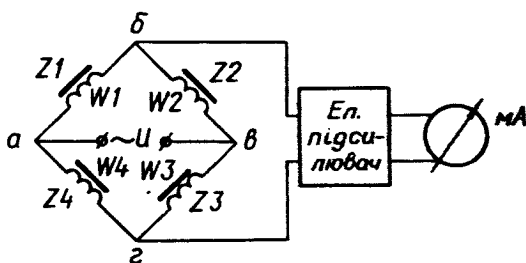


Рис. 9.13. Схема з'єднання перетворювачів приладу для вимірювання напруження в арматурі магнітометричним методом

Під час розтягування арматури змінюється її магнітна проникливість. Це призводить до зміни величини магнітного потоку  $\Phi_2$ , який замикається через напружену арматуру. Відповідно змінюється індуктивність котушок, насаджених на цьому магнітопроводі. Міст розбалансовується, і у вимірювальній діагоналі тече струм, який підсилюється і подається на вимірювальний прилад. Оскільки електрична напруга на вимірювальній діагоналі моста пропорційна до зміни механічного напруження в арматурі, то вимірювальний прилад показуватиме фактичне напруження в арматурі. За рахунок використання мостової схеми точність вимірювання підвищується.

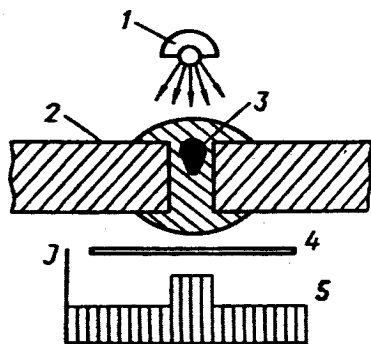
### 9.3. Контроль якості зварних стиків арматури

У будівельному виробництві контроль якості зварних швів здійснюють вибірково за допомогою різноманітних приладів або, випробовуючи зварні стики арматурних стержнів на розрив. Важливою проблемою є контроль якості зварних швів попередньо напруженої арматури, яка напружується електротермічним способом в умовах будівельного майданчика і анкерується за допомогою зварювання.

Застосовують такі методи контролю якості зварних стиків арматури:

- радіаційну дефектоскопію;
- ультразвукову дефектоскопію;
- магнітну дефектоскопію.

Принцип роботи радіаційної дефектоскопії був описаний у розділі 8. Дефектоскопію проводять рентгенівським і гамма-випромінюваннями. Для виявлення дефектів у зварних швах з одного боку виробу встановлюють джерело випромінювання (рентгенівську трубку або ізотоп), з другого боку – детектор, який реєструє інформацію про дефект (рис. 9.14). Детектором можуть бути рентгенівська плівка, електронно-оптичний перетворювач, ксерорадіографічна пластина, фотопапір тощо.



*Рис. 9.14. Схема просвічування звареного з'єднання:  
 1 – джерело випромінювання; 2 – контрольоване з'єднання;  
 3 – дефектне місце; 4 – детектор; 5 – графік інтенсивності  
 випромінювання, яке пройшло через контрольоване з'єднання*

Випромінювання від джерела 1, проходячи через зварне з'єднання 2, яке має внутрішній дефект 3, у дефектному і бездефектному місцях поглинається по-різному і приходить на детектор 4 з різною інтенсивністю. Випромінювання, проходячи через дефектні місця, заповнені повітрям, газом або неметалевими включеннями, послаблюється менше, ніж у суцільному місці. Різниця інтенсивностей буде зареєстрована детектором. Наприклад, у дефектному місці, де інтенсивність  $J$  випромінювання найбільша, плівка почорніє більше.

Використання рентгенівських плівок покладено в основу радіографічного методу дефектоскопії, який застосовується найчастіше для методів радіаційного контролю. Для одержання і використання рентгенівського і гамма-випромінювання використовують різноманітну радіаційну техніку: рентгенівські апарати, гамма-апарати і лінійні прискорювачі.

Загалом рентгенівський апарат складається із рентгенівської трубки в захисному кожусі, високовольтного генератора і пульта керування. У практиці радіаційної дефектоскопії широко використовують апарати із постійним навантаженням та імпульсні. Своєю чергою, апарати із постійним навантаженням поділяють на апарати-моноблоки і апарати кабельного типу (рис. 9.15). Апарати-моноблоки, у яких рентге-



нівські трубки і високовольтний трансформатор змонтовані в єдині блок-трансформатори, залиті оливою або заповнені газом (рис. 9.15, а). Моноблоки використовують переважно там, де потрібно віддалити випромінювач від пульта керування на велику віддаль (до 30 м і більше) і одержувати високу точність випромінювача. Доволі часто такі апарати випускають портативними для роботи у польових умовах під час монтажу конструкцій та в умовах будівництва.

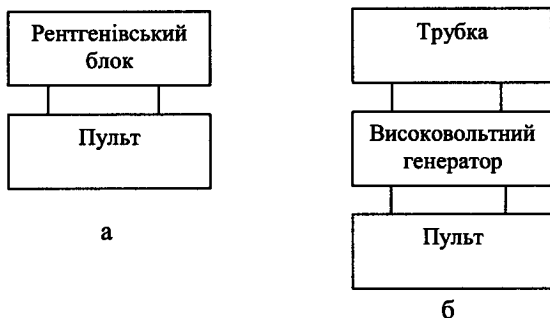


Рис. 9.15. Структурні схеми рентгенівського (а) і кабельного (б) апаратів

Апарати кабельного типу складаються із самостійного генераторного пристрою, рентгенівської плівки і пульта керування (рис. 9.15, б). Їх випускають, як правило, пересувними і використовують для роботи в цехових і лабораторних умовах. Невелика маса блока вимірювання і можливість встановлення високовольтного генератора і пульта керування на значну віддаль (до 10 м) від рентгенівської трубки дають змогу використовувати ці апарати для контролю важкодоступних місць (табл. 9.3).

Імпульсні рентгенівські апарати (табл. 9.2) конструктивно виконані із двох блоків: керування і рентгенівського (рис. 9.15, а). Їх використовують для контролю зварних з'єднань магістральних трубопроводів та під час монтажу будівельних конструкцій із товщиною стінок до 30 мм (табл. 9.4).

Радіоізотопний дефектоскоп (гамма-апарат) в найпростішому вигляді являє собою радіаційну головку із радіоактивним ізотопом, привід джерела, ампулопровід і пульт керування. Усі типи таких

дефектоскопів умовно можна розподілити на установки загально-промислового призначення (універсальні шлангові дефектоскопи) і спеціального призначення для фронтального і панорамного просвічування (замкового типу).

Таблиця 9.2

**Характеристики рентгенівських апаратів**

Тип апарата	Напруга на трубі, кВ	Маса апарата, кг	Товщина просв. сталі, мм
<b>Моноблоки</b>			
РУП-120-5	50–120	75	25
РУП-200-5	70–200	110	50
РУП-400-5	250–400	600	120
РУП-160-10П	50–160	60	40
<b>Кабельні</b>			
РУП-100-10	10–100	200	30
РУП-150-10 (2 трубки)	35–100	670	45
РУП-150-300-10 (3 трубки)	35–300	1000	70
ТАП-150/300-01 (4 трубки)	35–300	800	70
<b>Імпульсні</b>			
РИНА-1Д	100	12	10
РИНА-2Д	300	15	20
РИНА-3Д	400	46	40
МИРА-2Д	200	15	20
МИРА-3Д	300	25	40

Таблиця 9.3

**Основні характеристики гамма-апаратів**

Тип апарата	Джерело випромінювання	Діам. активн. частини, мм	Мобільність	Маса апарата, кг	Товщина просвіч. сталі, мм
“Гаммарид-11”	Тулій-170	3	Переносний	10,5	1–5
“Гаммарид-21”	Цезій-137	3	Переносний	16	6–50
“Гаммарид-23”	Цезій-137	5	Переносний	19	15–80

**Технічні характеристики рентгенівського  
наносекундоміра гострофокусного апарата “НОРА”**

Параметри	Значення
Ефективна енергія випромінювання, кеВ	160
Діаметр фокусної плями, мм	3
Контрастна чутливість рентгенівських знімків	1,5
Товщина сталі для рентгенографування, мм	20–40
Напруга мережі живлення, В	220
Маса, кг:	
рентгенівського блока	8,5
пульта керування	9,5

Для контролю зварного з'єднання кінців напруженої арматури можуть використовуватись тільки універсальні шлангові дефектоскопи. В них джерело випромінювання може подаватися в зону контролю із радіаційної головки гнучким ампулопроводом на віддалі 5–8 м. Спрямований пучок випромінювання формується за допомогою змінних колімуруючих головок.

Ультразвукові прилади для контролю зварних з'єднань відрізняються компактністю, мобільністю і доволі високою точністю. Для контролю зварних швів використовують дефектоскопи УД-11ПУ, УД-10П, УДЦ-100, УДЦ-105 М тощо.

Інформація про стан зварного з'єднання відображається на екрані електронно-променевої трубки. Ультразвукова дефектоскопія ґрунтується на властивості ультразвукових хвиль спрямовано розповсюджуватися в середовищах і відбиватися від границь середовищ або порушеної суцільності (дефектів), які мають інший акустичний опір. У практиці контролю якості зварних з'єднань використовують переважно луно-імпульсний метод (або метод лунолокації). Він полягає в прозвучуванні виробу короткими імпульсами ультразвуку і реєстрації луно-сигналів, відбитих від дефекту до приймача.

У деяких випадках ультразвуковий контроль доцільно здійснювати тіншовим або дзеркально-тіншовим способом. За тіншового способу ознакою дефекту є зменшення амплітуди сигналу, який пройшов від випромінювача до приймача. Ознакою дефекту за дзеркально-

тіньового методу є зменшення амплітуди сигналу, відбитого від протилежної (донної) поверхні. Спосіб прозвучування вибирають залежно від конфігурації конструкції. Стержнева арматура має періодичний профіль. Це істотно ускладнює їхній контроль луно-імпульсним методом, тому що різко погіршується акустичний контакт і збільшується рівень фальшивих сигналів. Про наявність і величину дефекту міркують після зменшення амплітуди  $A$  луно-сигналу, відбитого від нього. Величина послаблення амплітуди  $A_0$  пропорційна до площі дефекту (рис. 9.16 і 9.17).

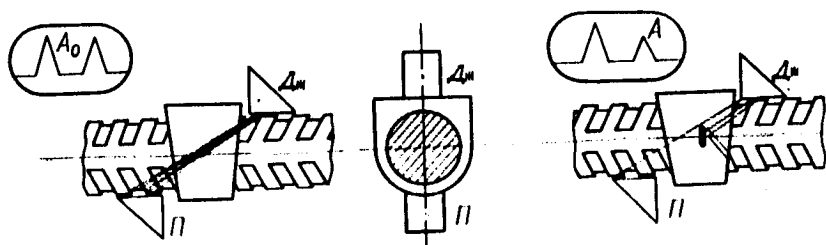


Рис. 9.16. Контроль заварених швів арматури:  
Дж – джерело випромінювання; П – приймач

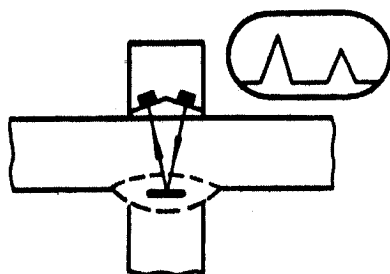


Рис. 9.17. Контроль завареного шва закладної деталі

Магнітні методи контролю ґрунтуються на знаходженні магнітних потоків розсіяння, які виникають за наявності різноманітних дефектів у намагнічених виробках із феромагнітних матеріалів. Залежно від способу реєстрування магнітного потоку розсіяння

магнітні методи поділяються на магнітопорошковий, магнітографічний, феродинамічний і магніто-напівпровідниковий. Під час дефектоскопії зварних з'єднань використовують два перші методи.

У магнітопорошковому методі потоки розсіяння виявляють за допомогою магнітного порошку, розсипаного тонким шаром на поверхні контрольованого шва. За магнітографічного методу дефекти реєструють на магнітофонній стрічці потоками розсіяння. Під дією втягуючої сили магнітних полів розсіювання частинки порошку переміщуються поверхнею деталі та скупчуються у вигляді валків над дефектом. Форма цих скупчень відповідає контурам дефекту. Часто феромагнітний порошок наносять на поверхню шва у вигляді суспензій із гасом, оливою, мильним розчином ("мокрый" метод) або у вигляді магнітного аерозолі ("сухий" метод).

Суть магнітографічного методу полягає в намагнічуванні контрольованої ділянки зварного шва і навколошовної зони із одночасним записом магнітного поля на магнітну стрічку (рис. 9.18) і подальшим зчитуванням одержаної інформації з неї спеціальним пристроєм магнітографічних дефектоскопів.

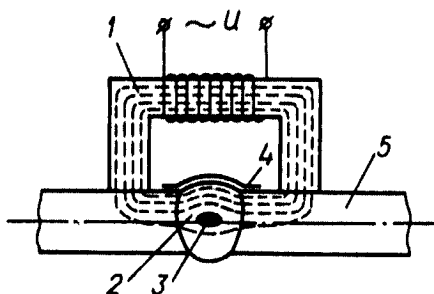


Рис. 9.18. Схема магнітографічного контролю звареного шва арматури:  
1 – намагнічувальний пристрій; 2 – зварений шов; 3 – дефект;  
4 – магнітна плівка; 5 – арматура

Якість контролю залежить від способу намагнічування, який здійснюють методами прикладеного магнітного поля і залишкової намагніченості. Перший метод використовують тоді, коли деталь виконана із магнітом'якої сталі і має складну конфігурацію.

Під час контролю за залишковою намагніченістю деталей попередньо намагнічують, а потім, через деякий час, на її поверхню наносять магнітну суспензію або порошок. Такий спосіб добре зарекомендував себе для магнітотвердих сталей і сплавів.

Промисловість випускає дефектоскопи, які мають два види індикації: імпульсну і телевізійну. За імпульсної індикації на екрані електронно-променевої трубки виникають імпульси, амплітуда яких характеризує величину дефектів у вертикальному напрямку, а за відео-індикації магнітний потенціальний рельєф полів розсіяння від дефектів переноситься на екран електронно-променевої трубки у вигляді телевізійного зображення магнітограми окремих ділянок шва.

Відомі дефектоскопи типу МД-9 із імпульсною індикацією і МД-11 з видимим зображенням. Більш удосконалені дефектоскопи МДУ-2У, МГК-1, МД-10ИМ, які мають подвійну індикацію. Для запису магнітних полів розсіяння під час магнітографічного контролю використовують магнітну стрічку, виготовлену на триацетатній або лавсановій основі з нанесенням на неї найдрібніших феромагнітних частинок.

Різновидом магнітографічного методу є вихрострумова дефектоскопія. Суть методу полягає в тому, що інтенсивність і розподіл вихрових струмів у виробі залежать від його геометричних розмірів та електромагнітних параметрів. За наявності дефектів зростає електричний опір поверхневого шару, що призводить до послаблення вихрових струмів, яке реєструється котушкою-перетворювачем.

Для контролю лінійних об'єктів використовують скануючі дефектоскопи з накладними перетворювачами, що обертаються довкола конструкції типу ВД-40Н, ВД-41Н і ВД-43Н. Ці прилади виявляють поверхневі дефекти зварних швів у феромагнітних або слабкомагнітних сталях і кольорових металах і сплавах.

## Розділ 10

# АВТОМАТИЗАЦІЯ ОБЛІКУ РОБОТИ БУДІВЕЛЬНИХ МАШИН

### 10.1. Класифікація приладів для обліку роботи будівельних машин

Системи автоматичного обліку і контролю роботи будівельних машин і механізмів дають змогу одержати об'єктивні дані про режими роботи машини, завантаження окремих вузлів і продуктивність. Їх можна використовувати як складові частини систем автоматичного управління або самостійно для визначення обсягу виконаної роботи. Системи контролю і обліку роботи машин сприяють зменшенню втрат і зниженню собівартості робіт, стимулюють підвищення продуктивності праці.

Побудова таких систем має багато особливостей, головна із яких полягає в тому, що інформація, одержана від них, покладена в основу розрахунків на оплату праці, тому такі системи повинні мати підвищену надійність. Одночасно ці системи повинні давати інформацію про зміну декількох параметрів, які визначають роботу машини.

Ще дотепер на багатьох будівельних майданчиках та заводах будівельної індустрії облік роботи землерийних, транспортних та інших машин ведуть диспетчери, будівельні майстри тощо. Контроль показників роботи машин складний, вимагає значних затрат продуктивності праці і не завжди об'єктивний. У зв'язку з цим виникає необхідність широкого впровадження у будівництво авто-

матичних приладів і пристроїв для об'єктивного і точного обліку продуктивності будівельних машин і механізмів.

Отже, із вищенаведеного аналізу можна дійти висновку, що автоматизувати контроль та облік роботи будівельних машин і механізмів потрібно для:

- правильного планування і контролю за використанням техніки в технологічному процесі і на будівництві;
- аналізу ефективності використання машин і механізмів залежно від стану організації робіт;
- розрахунку заробітної плати обслуговуючого персоналу;
- своєчасного проведення ремонтних та профілактичних робіт.

## **10.2. Автоматизація обліку роботи автосамоскидів**

Для обліку роботи повновантажних рейсів автосамоскида використовують спеціальний лічильник. Принципова електрична схема приладу і розташування основних вузлів та перетворювачів на автосамоскиді показані на рис. 10.1 і 10.2. Прилад складається із перетворювачів завантаження ВР2, підймання кузова ВS і тиску рідини в гідросистемі підіймача ВР1, а також лічильника рейсів РС, розташованого у кабіні водія.

Напруга від акумулятора GB подається через контакти ключа запалювання SB. За незавантаженого кузова в перетворювачі завантаження ВР2 групи контактів 1 і 3 замкнуті і сигнальна лампочка НЛ світиться. Під час завантаження кузова до номінальної вантажопідйомності відбувається прогинання ресор автомашини, що призводить до перемикання контактів у перетворювачі завантаження ВР2. Лампочка гасне і одночасно починається заряд конденсатора С через опір R1. Під час руху автомобіля з вантажем відбувається повний заряд конденсатора до напруги 12 В.

Під час розвантажування автомобіля кузов підіймається на певну висоту. Контакти перетворювача тиску ВР1 у час підймання



розмикаються, а контакти перетворювача підймання BS замикаються. Після висипання вантажу в перетворювачі завантаження BP2 знову відбувається перемикання контактів.

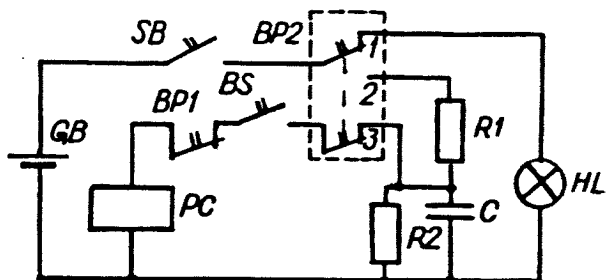


Рис. 10.1. Принципова електрична схема лічильника рейсів автосамоскида

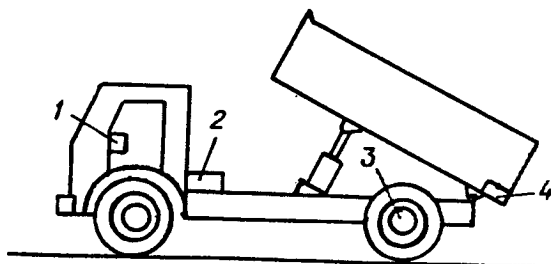


Рис. 10.2. Схема розташування основних вузлів приладу для обліку повновантажних рейсів автосамоскида:

- 1 – пульт приладу; 2 – перетворювач тиску рідини в гідросистемі;  
3 – перетворювач завантаження; 4 – перетворювач підймання кузова

Одночасно замикаються контакти перетворювача тиску рідини в гідросистемі підймача. При цьому утворюється коло для розряду конденсатора С через лічильник імпульсів РС. Останній спрацьовує і вибиває одну цифру чергового рейсу.

Опір R2 призначений для захисту схеми від фальшивих спрацьовувань. За їзди із незавантаженим кузовом нерівною дорогою заряд, що утворюється на конденсаторі С від короткочасних перемикань контактів 1–2, стікатиме через опір R2. Досконалішим є

лічильник, який фіксує не тільки кількість повновантажних рейсів, але і віддаль, пройдену автомобілем з вантажем. Принципову електричну схему такого приладу зображено на рис. 10.3.

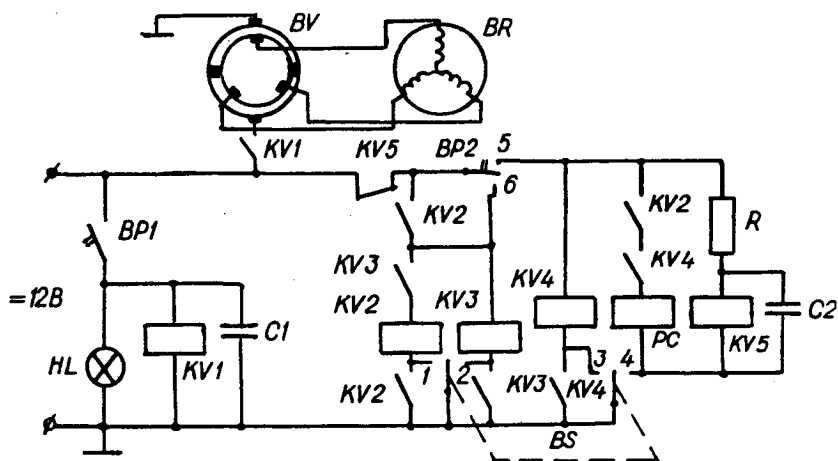


Рис. 10.3. Принципова електрична схема приладу для автоматичного обліку роботи автосамоскида

Під час завантаження кузова автомашини до номінального значення перетворювач завантаження BP1 у зв'язку із прогином ресори замикає електричне коло лампи HL і електромагнітного реле KV1, що замикає свої контакти в колі живлення перетворювача електроспідометра BV. Автосамоскид починає транспортування вантажу і електроспідометр BR відраховує пройдений шлях. Відключення перетворювача завантаження BP1 у момент поштовхів компенсується ємністю C1. Розвантажуючись, самоскид підіймає кузов з вантажем. У зв'язку з підвищенням тиску в гідросистемі реле тиску BP2 замикає контакти в точці 6 і перетворювач кута нахилу кузова BS послідовно в часі замикає контакти 2, а потім 1. На електромагнітне реле KV3 подається живлення, воно стає на самоблокування і замикає контакти в колі живлення реле KV2. Потім подається живлення на реле KV2, яке блокується своїми замикаючими контактами і замикає контакти в колі живлення реле-лічиль-

ника імпульсів РС. Тепер, після висипання вантажу, порожній кузов опускається. Тиск у гідросистемі падає і реле тиску ВР2 замикає коло в точці 5. Перетворювач кута нахилу кузова ВS під час його опускання замикає контакти в точках 3, а потім 4. На реле КV4 подається напрута, і воно блокується власними контактами і замикає контакти в колі реле-лічильника імпульсів РС, яке спрацьовує і відраховує імпульс (рейс). Після закінчення часу затримки ланки С2 реле КV5 розмикає свої контакти і підготовляє схему до повторного пуску.

### **10.3. Прилади для обліку роботи землерийних і землерийно-транспортних машин**

Землерийно-транспортні машини здійснюють різання і переміщення ґрунту за одночасного поступального руху самої машини. За характером технологічного процесу розрізняють машини неперервної і циклічної дії.

До машин неперервної дії належать грейдери (автогрейдери), які використовують для планувальних робіт, і грейдер-елеватори, призначені для різання ґрунту і одночасного його переміщення у відвал або в транспортний засіб. До землерийно-транспортних машин циклічної дії зараховують скрепери і бульдозери, робочий процес яких характеризується періодичною повторюваністю операцій.

Збільшення продуктивності землерийно-транспортних машин залежить від якнайповнішого використання потужності двигуна і часу роботи, що пов'язано з обліком роботи машини. Для землерийних машин типу бульдозера і автогрейдера доцільним є застосування приладів, що уможливають враховувати час різання і переміщення ґрунту.

На рис. 10.4 показано схему пристрою для обліку часу активної роботи бульдозера. Прилад складається із генератора імпульсів, електронного ключа і лічильника часу. Лічильник часу – це електромагнітний лічильник імпульсів, які виробляє малогабаритний генератор імпульсів, що приєднується до нього за допомогою електрон-

ного ключа. Останній керується системою контактів, розташованих близько до найважливіших вузлів керування машиною: SQ1 – під підлогою кабіни біля важеля реверсу; SQ2 – біля куліси коробки передач; SQ3 – під підлогою кабіни водія біля важеля муфти зчеплення; SQ4 – біля гідроциліндра бульдозера.

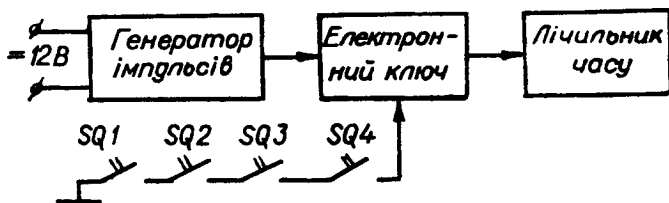


Рис. 10.4. Структурна схема приладу для обліку часу активної роботи бульдозера

Для руху бульдозера вперед з опущеним відвалом усі контакти, розташовані послідовно, повинні бути замкнуті. Генератор при цьому підключається до лічильника за допомогою електронного ключа, і відбувається відлік кількості імпульсів. Час роботи одержують множенням показів лічильника на величину періоду імпульсу генератора за формулою

$$t = \frac{T \cdot N}{3600} \text{ год,} \quad (10.1)$$

де  $N$  – покази лічильника;  $T$  – період імпульсу.

Величина періоду за необхідності може змінюватися.

Для скреперів розроблено прилад, призначений для автоматичного обліку, рейсів і шляху, пройденого скрепером з вантажем. Принципову електричну схему приладу показано на рис. 10.5.

Під час заповнення ковша скрепера ґрунтом до заданого об'єму перетворювач об'ємного заповнення ВР1 замикає електричне коло живлення сигнальної лампи НЛ1, яка сигналізує машиністу про достатність заповнення ковша. Перетворювач ваги ВР2 замикає коло живлення проміжних реле КВ1 і КВ2, а перетворювач кута нахилу ковша ВС1 послідовно в часі замикає контакти в точках 1 і 2. Реле спрацьовують, стають на саможивлення і замикають контакти в колі

живлення перетворювача електроспідометра BV. При цьому спрацьовує реле KV3 і блокує замикаючі контакти реле KV1 і KV2. Скрепер починає рух і електроспідометр BR відраховує шлях, пройдений машиною із вантажем.

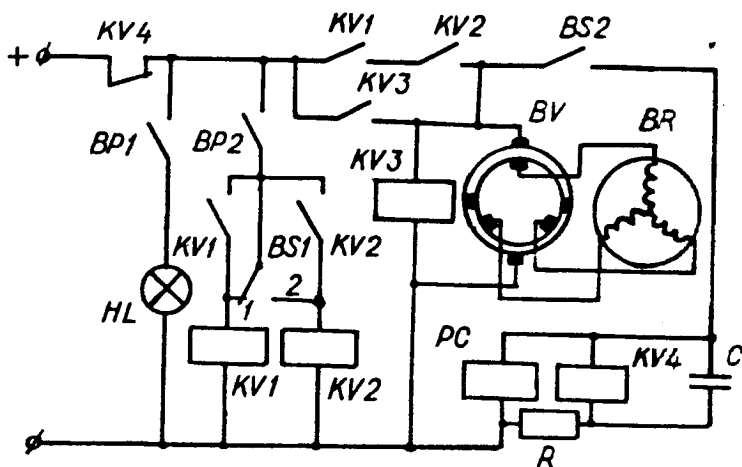


Рис. 10.5. Принципова електрична схема приладу для обліку роботи скрепера

На місці вивантаження ґрунту машиніст підіймає днище ковша, і перетворювач кута нахилу днища BS2 замикає коло живлення лічильника імпульсів PC і реле KV4. Після закінчення часу затримки ланки RC подається напруга на реле KV4, яке розмикає свої контакти в колі живлення усієї схеми, підготувавши її до повторної роботи. Лічильник імпульсів відраховує рейс, а електроспідометр припиняє відлік кілометрів, пройдених машиною із вантажем.

Для автоматичного обліку роботи самохідних скреперів створено досконаліший прилад. Він доповнений перетворювачем об'єму BS3 і блоком логіки. Схему приладу зображено на рис. 10.6.

Під час заповнення ковша ґрунтом до номінального об'єму перетворювач BP1 вмикає сигнальну лампу HL1, яка сигналізує машиністу про заповнення ковша. Машиніст дає команду на підймання

ковша і замикає контакти в колі живлення проміжних реле KV1 і KV2. Одночасно перетворювач положення ковша BS1 в процесі підймання ковша послідовно в часі замикає контакти в точках 1 і 2. Реле спрацьовують, стають на саможивлення і замикають контакти в колі живлення електроспідометра і реле KV3, що блокується власними контактами. Сигнальна лампа сигналізує машиністу про початок транспортування ґрунту. Електроспідометр BR відраховує шлях, пройдений скрепером з вантажем.

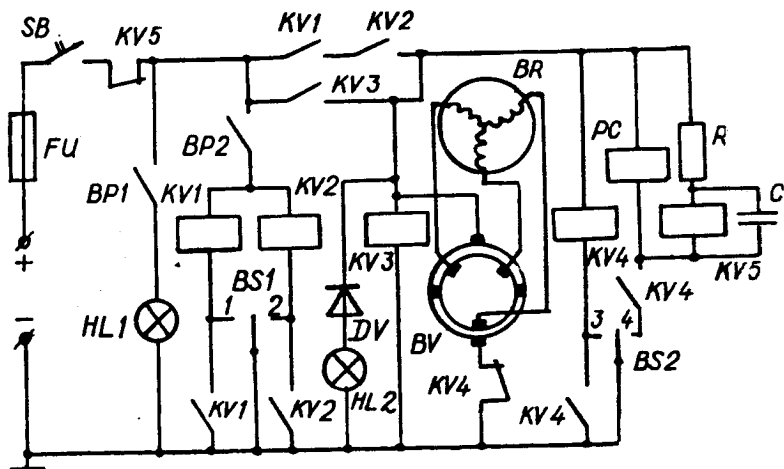


Рис. 10.6. Принципова електрична схема приладу для обліку роботи самохідного скрепера

На місці вивантаження машиніст, висуваючи задню стінку ковша, вивантажує ґрунт. Перетворювач положення стінки BS2 послідовно замикає контакти в точках 3 і 4. При цьому спочатку спрацьовує реле KV4, яке стає на саможивлення, і своїми розмикаючими контактами відключає перетворювач електроспідометра BV, а замикаючими контактами вмикає лічильник імпульсів PC і проміжне реле KV5. Через деякий час, який визначається ланкою затримки RC, реле KV5 розімкне свої контакти в колі живлення усієї схеми, готуючи її до повторного пуску.

Для обліку продуктивності екскаваторів розроблені прилади РЭ-1 і РЭ-2, так звані роботоміри. Роботомір РЭ-1 призначений для автоматичного обліку роботи екскаватора для будівельних робіт за такими параметрами:

- сумарною вагою переробленого ґрунту;
- кількістю циклів екскавації;
- сумарним часом екскавації.

Для визначення сумарної ваги переробленого ґрунту використовують такий принцип. Оскільки зусилля у вантажній линві залежить від ваги ґрунту в ковші, ваги руків'я, ковша, канатів і від ступеня вильоту руків'я, то вага ґрунту в ковші визначається залежністю

$$G = [P - F(x)] \cdot k, \quad (10.2)$$

де  $P$  – зусилля у вантажній линві;  $F(x)$  – складова від зусилля у вантажній линві, яка залежить від вильоту руків'я на величину ( $x$ );  $k$  – перевідний коефіцієнт, який враховується приладом.

Цей математичний вираз перетворюється в електричний сигнал за допомогою потенціометричних перетворювачів зусилля в линві і на вильоті руків'я. За результуючим сигналом, величина якого пропорційна до ваги ґрунту в ковші, здійснюють облік переробленого ґрунту.

Схему розташування основних вузлів приладу показано на рис. 10.7. Вага ґрунту в ковші визначається за допомогою перетворювача зусилля 1. Він виконує роль електричного динамометра і конструктивно виконаний у вигляді пружного динамометричного кільця. Деформація його, що виникає від дії прикладеного зусилля, за допомогою реостатного перетворювача перетворюється в електричний сигнал. Перетворювач вильоту руків'я 4 також містить реостатний перетворювач, що подає електричний сигнал, пропорційний до кута повороту барабана напірного механізму, тобто до величини висунення руків'я.

Операція зважування відбувається в процесі повертання екскаватора. В цей період за командою від перетворювача повертання 3 в лічильний пристрій 2 подаються сигнали від перетворювачів 1 і 4, а також фіксується черговий цикл екскавації. Кількість перекопаного

грунту в тоннах і кількість циклів екскавації реєструються електро-механічним лічильником. Сумарний час роботи машини підрахо-ується за допомогою спеціального електромеханічного лічильника часу типу 5634П і реле часу. Похибка приладу не перевищує 5 %.

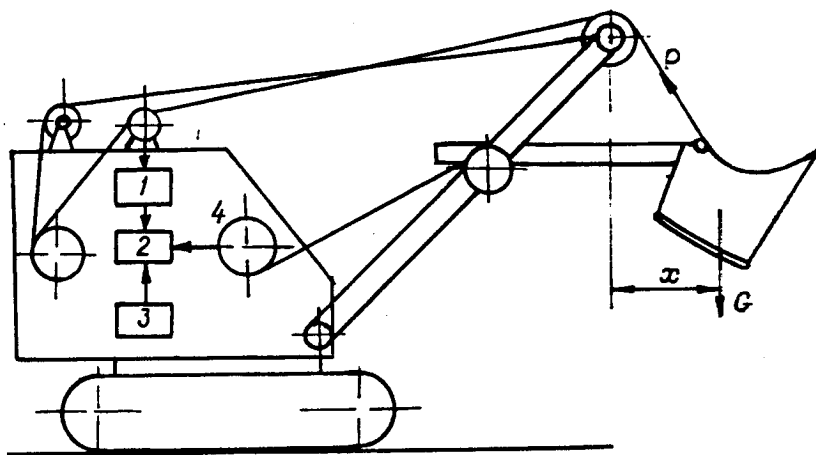


Рис. 10.7. Розташування основних блоків приладу екскаватора:  
 1 – перетворювач зусилля; 2 – лічильний пристрій;  
 3 – перетворювач повороту; 4 – перетворювач вильоту руків'я

Прилад РЭ-2 застосовується для потужних екскаваторів кар'єрного типу і відрізняється від приладу РЭ-1 напругою живлення, способом і місцем кріплення перетворювача зусилля, конструкцією перетворювачів повороту і вильоту та наявністю перетворювача нахилу екскаватора. Принципова схема РЭ-2 аналогічна до схеми приладу РЭ-1.

Під час виконання земляних робіт часто необхідно контролювати глибину копання. На рис. 10.8 показано принципову електричну схему глибиноміра із потенціометричними перетворювачами положення робочого органа. Принцип роботи глибиноміра ґрунтується на вимірюванні довжини ливни, відмотаної із барабана головної лебідки, і кута підймання стріли. Повзунки потенціометрів  $R_{л}$  і  $R_{с}$  поєднані через передачі з барабаном головної лебідки і стрілою екскаватора. Перед початком роботи змінними опорами  $R1$  і



$R_2$  мікроамперметр  $PA$ , включений у діагональ моста, встановлюють на нуль. При цьому загоряється лампа  $HL$ . Потім за допомогою тих самих опорів встановлюють глибину копання. Сигнал, зумовлений розбалансуванням моста, подається на віброперетворювач, підсилювач і вихідне реле  $KV$ . Коли під час роботи екскаватора буде досягнуто заданої величини заглиблення, опори  $R_d$  і  $R_c$  набудуть такого значення, що міст буде зрівноважений і реле  $KV$  видасть відповідний сигнал у систему керування і на сигнальну лампу  $HL$ .

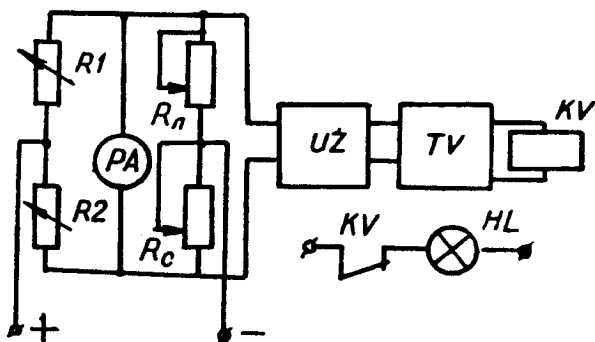


Рис. 10.8. Принципова електрична схема глибиноміра

#### 10.4. Автоматизація обліку роботи кранів

У будівництві використовується велика кількість кранів різноманітних конструкцій. Для їхньої нормальної експлуатації необхідна інформація про режими роботи: фактичний час роботи і простою, кількість викликів окремих вузлів і агрегатів тощо. Такі системи повинні давати одночасно інформацію про декілька параметрів, які визначають роботу машини.

Найпростіші з таких пристроїв: автоматичні лічильники машинного часу і простою для машин із електроприводом. Принципова електрична схема приладу зображена на рис. 10.9. У силову лінію, що веде до двигуна одного із механізмів крана, включено два

трансформатори струму ТА1 і ТА2, які використовують для живлення лічильника електроенергії РЈ. Час роботи механізму фіксується лічильником РТ під час подавання напруги на електродвигун. Така сама кількість циклів роботи фіксується лічильником циклів РС.

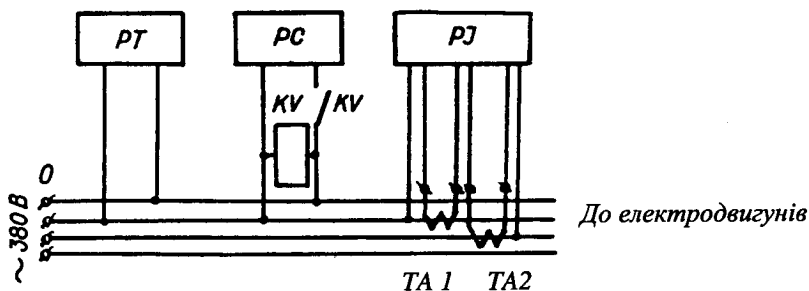


Рис. 10.9. Схема приладу для визначення режиму роботи будівельних машин з електроприводом

У схемі використовуються лічильники, що видають інформацію у числовій формі. Для обліку часу роботи використовують імпульсний лічильник. Тривалість імпульсу вибирають найчастіше завбільшки в одну хвилину. Лічильник електроенергії – трифазний, серійного виготовлення. Для реєстрування кількості циклів використовують електромеханічний лічильник типу А-440 з напругою живлення 220 В.

Для кранів розроблений роботомір РК-3С. Він уможливує враховування кількості підйомів гака крана і загального часу (машинного часу) його роботи. Принципову електричну схему роботоміра РК-3С зображено на рис. 10.10, а. За загальний час роботи крана приймається час, коли працює хоча б один електродвигун. Підйомом гака крана вважається його рух угору не менше як на 1,5 м.

Моменти включення двигунів визначаються за струмом, який споживається ними від мережі. Для цього в загальне коло живлення двигунів увімкнено трансформатор струму ТА, у вторинній обмотці якого увімкнено реле струму КА. Під час включення в роботу будь-якого електродвигуна крана реле спрацьовує і, замикаючи контакти, вмикає лічильник машинного часу РС1.

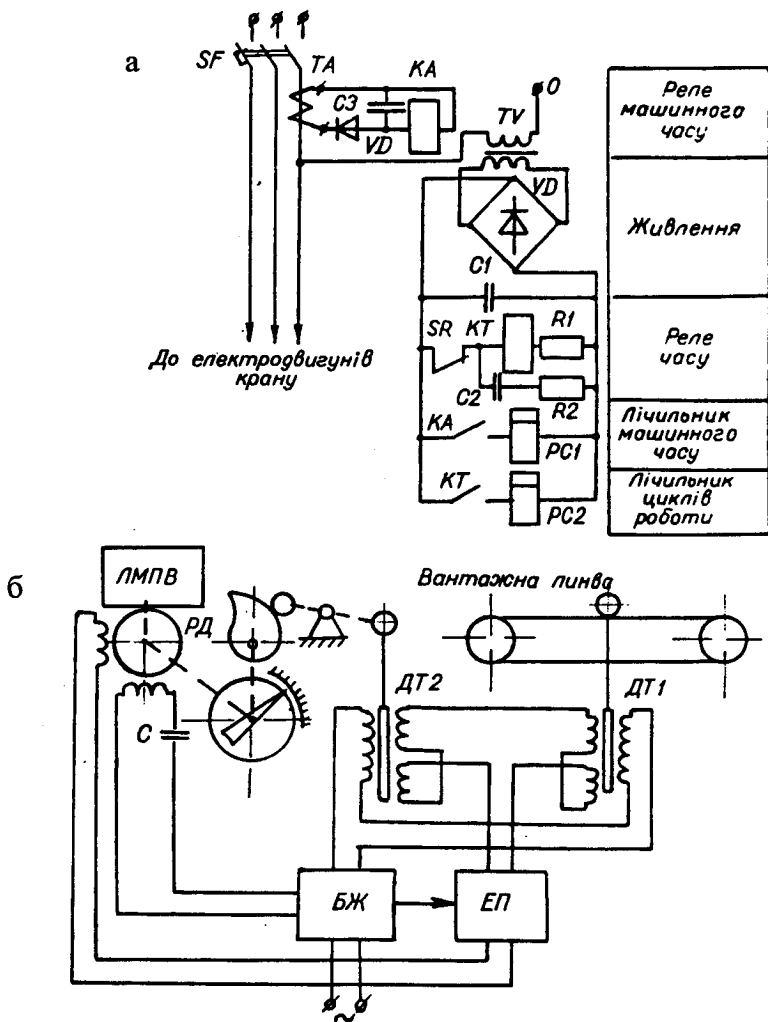


Рис. 10.10. Принципова електрична схема роботоміра РК-3С

Кількість циклів фіксується електромагнітним лічильником 2, який спрацьовує під час замикання контакту реле часу КТ. Своєю чергою, реле часу КТ спрацьовує від контакту SR, який розмикається під час роботи електродвигуна на підймання

вантаж, решта часу він замкнутий. Реле часу має витримку часу на відключення до 5 с, що забезпечує спрацювання лічильника за умови підймання вантажу на висоту, не менше 1,5 м. Завдяки цьому всі випадкові або маневрові підймання гака лічильником не враховуються. Роботомір здебільшого оснащується блоком, що враховує масу переробленого вантажу. Принципову електричну схему блока зображено на рис. 10.10, б. Блок має вузол завантаження, який складається з диференційно-трансформаторних перетворювачів ДТ1 і ДТ2, включених у диференційну схему. Осердя ДТ1 з'єднане з пружним елементом (вантажною линвою), а осердя ДТ2 за допомогою кінематичного зв'язку і редуктора пов'язане з ротором реверсивного двигуна РД.

Під час підймання вантажу пружний елемент деформується і осердя перетворювача ДТ1 переміщається, що призводить до розбалансування диференційної схеми. Напруга розбалансування через підсилювач ЕП подається на двигун РД. Двигун приводить в рух лекало, яке переміщає осердя ДТ2 до балансу диференційної схеми. Двигун зупиниться, а стрілка на шкалі вимірювального приладу покаже масу підійнятого вантажу. Одночасно з цим лічильник маси переробленого вантажу ЛМПВ зафіксує цю масу.

Під час зняття вантажу осердя перетворювача ДТ1 повертається в початкове положення, що призводить до нового розбалансування в схемі. Однак у цьому випадку напруга розбалансування має протилежну фазу, що змушує двигун обертатися в інший бік. Стрілка вказівника маси повертається в нульове положення, а лічильник ЛМПВ, що накопичує покази, не змінить свого показу.

Електрична схема пристрою складна, але її робота доволі стійка і надійна. Пристрій забезпечує точність зважування до 1,5 %.

Певну специфіку у конструкції має автоматична кранова вага, яка може бути важільною або тензометричною. Більше застосовують тензометричні ваги, виконані у вигляді пружного елемента, вмонтованого у нерухоме відгалуження вантажної линви. Вказівник ваги встановлено у кабіні машиніста. Пружний елемент оснащений д्रो-тяними тензометричними перетворювачами, які увімкнуті у вимірювальну мостову схему.

Деякі модифікації кранів оснащують пружинними динамографами, змонтованими на підвісці гака, що реєструють вантажопереробку механізмів. Динамограф вмикається за натягу вантажної линви і фіксує на діаграмну стрічку вагу вантажу, який підіймає кран, і тривалість його знаходження на гаку. Недоліком такого пристрою є те, що графіки, які рисує самописець, вимагають додаткової обробки та розшифрування.

На підприємствах будівельної індустрії експлуатується і багато інших пристроїв, які контролюють час активної роботи дробарок, сит, ПТС, змішувачів та іншого обладнання з електричним приводом.

## Розділ 11

# ВИМІРЮВАННЯ І КОНТРОЛЬ ОКРЕМИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

### 11.1. Вимірювання напружень (деформацій) у будівельних конструкціях

Міцність усіх матеріалів, зокрема й бетону, залежить від характеру напруженого стану. В залізобетонних конструкціях, особливо в попередньо напружених, бетон знаходиться в умовах неоднорідного і складного напруженого стану, тому питання міцності бетону в цих умовах є дуже важливим.

Дослідний аналіз міцності елементів залізобетонних конструкцій повністю ґрунтується на визначенні величини і характеру розподілу механічних напружень у деталях, які сприймають навантаження. Безпосереднє вимірювання місцевих (а не середніх) напружень у реальних складних конструкціях здійснити неможливо, оскільки напруження являють собою похідну величину, яку вираховують через відношення діючої сили до одиниці площі перерізу, що перпендикулярна до дії сили. Значення напружень визначають, як правило, вимірюванням деформацій за подальшим обчисленням шуканих напружень на основі відомого співвідношення між цими величинами.

Коефіцієнт пропорційності між напруженням  $\sigma$  і відносною деформацією  $\bar{\epsilon}$ , що встановлюється законом Гука, відомий як модуль пружності матеріалу, або модуль Юнга:

$$\sigma = E \cdot \bar{\Delta l}; \quad (11.1)$$

$$\bar{\Delta l} = \frac{l}{\Delta l}, \quad (11.2)$$

де  $l$  – база, віддаль між двома точками деталі до навантаження;  $\Delta l$  – абсолютна деформація під навантаженням.

Із вищевикладеного зрозуміло, що для визначення локальних напружень необхідно вимірювати абсолютну деформацію на найменшій можливій базі, а вимірювач деформацій (первинний перетворювач) повинен мати дуже малі розміри. Якщо врахувати при цьому необхідність вимірювань в статичному і динамічному режимах, то первинний перетворювач повинен також мати високу чутливість і незначну масу.

Відомі різні принципи дії і конструкції таких вимірювачів: механічні, оптичні, струнні, магнітострикційні тощо, але найрозповсюдженішими є тензometri. Їхня дія ґрунтується на залежності активного опору провідників і напівпровідників від зміни їхніх розмірів (див. підрозділ 1.7.1.2).

До матеріалу тензоперетворювачів ставлять багато специфічних вимог (табл. 11.1). Він повинен мати лінійну залежність опору від температури, високий питомий опір, велику міцність, не мати гістерезису, бути стійким до корозії і старіння, а також розвивати малу термоЕРС у парі з матеріалом з'єднувальних провідників. Очевидно, що одночасно задовольнити таку велику кількість вимог надзвичайно важко. Найбільше вищевказаних властивостей має константан. Перетворювачі можуть виконуватися з тонкого дроту, травленої фольги або із спеціальних плівок. Такі перетворювачі наклеюють на досліджувану конструкцію за допомогою спеціальних клеїв. Залежно від умов експлуатації (передусім температурного режиму) використовують целюлозно-ацетатний, епоксидний, фенольний клеї або кремнійорганічні цементи.

Точність і чутливість приклеєних тензoeлементів залежать від якості їхнього контакту із конструкцією, на яку їх наклеюють. Для підкладок найчастіше використовують спеціальні сорти паперу, бакеліт, нержавіючу фольгу або скловолокно.

## Дані матеріалів тензоперетворювачів

Матеріал	Склад, %	Чутливість, $K_T$	Питомий опір, $\text{Ом}\cdot\text{м}\cdot 10^{-8}$	Термічний коефіцієнт опору, $1/^\circ\text{C}\cdot 10^{-6}$	Коефіцієнт лінійного розширення, $1/^\circ\text{C}\cdot 10^{-6}$
Константан	60Cu+40Ni	1,9–2,1	46–50	$\pm 50$	14–15
Ніхром	80Ni+20Cr	2,1–2,3	90–170	150–170	14
Манганін	84Cu+12Mn+4Ni	0,47–0,5	40–45	$\pm 10$	16–18
Нікель	Ni	-12	11	6000	12
Хромель	65Ni+25Fe+10Cr	2,5	10–110	100–500	14,8

Тензометричні дротяні перетворювачі переважно мають чутливість, на 25–30 % меншу, ніж чутливість матеріалу. Це пояснюється тим, що під час виготовлення решіток перетворювача в місцях заокруглення дротини утворюються ділянки, які не сприймають деформацій у напрямку осі бази, тому вплив таких ділянок зменшується із збільшенням бази.

Найбільший зовнішній вплив на характеристики тензоперетворювача має температура. Це зумовлено тим, що опір дроту змінюється із зміною температури і що температурні деформації дротин не дорівнюють температурним деформаціям конструкції, на яку вони наклеєні. Отже, навіть за нульового температурного коефіцієнта опору все ж виникає похибка у вимірюванні деформації унаслідок нерівності коефіцієнтів лінійного розширення дроту і бетону.

Температурна компенсація найпростіше досягається за допомогою додаткових аналогічних тензоперетворювачів, наклеєних у такий спосіб, що за використання мостових вимірювальних схем, сигнали, наведені зміною температури, самовиключаються.

На рис. 11.1 показано три схеми розташування тензоперетворювачів, які забезпечують термокомпенсацію за одночасного збільшення головного сигналу. Перший варіант установа використовують у випадках, коли обидві поверхні деталі, що випробовують на згин, доступні для наклеювання перетворювачів. Тензoeлементи включаються в суміжні плечі моста R1 і R2 (або R3 і R4); оскільки



температурні деформації рівні, то вони виключаються, але коли деформації, зумовлені силою  $F$ , рівні і різні за знаками, то сигнали двох елементів додаються, що збільшує тензочутливість схеми удвічі. Якщо наклеювання тензоперетворювачів із двох боків неможливе, то використовують другу схему. Тут тензоперетворювач  $R2$  розташований безпосередньо біля  $R1$  під прямим кутом. Увімкнення  $R1$  і  $R2$  в суміжні плечі моста забезпечує повну температурну компенсацію, як і в попередньому випадку. За розтягу перетворювача  $R1$  перетворювач  $R2$  стискається, але його деформація менша, ніж  $R1$ . Відношення цих деформацій дорівнює коефіцієнту Пуассона, і відповідно вихідний сигнал моста буде приблизно на 30 % більший, ніж у випадку використання тільки одного перетворювача  $R1$ . Під час вимірювання крутного моменту температурна компенсація легко досягається встановленням перетворювачів за третьою схемою (рис. 11.1), оскільки деформації розтягу і стиску під час кручення завжди рівні.

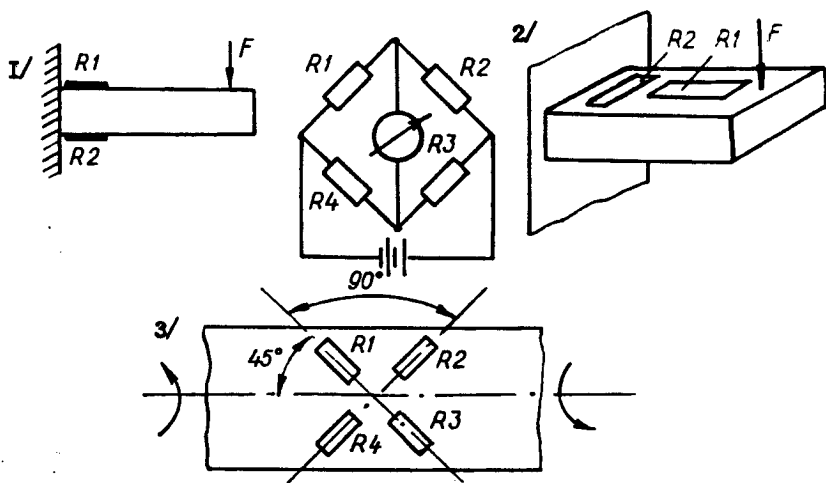


Рис. 11.1. Схеми розташування тензоперетворювачів на досліджуваних конструкціях

Зміну опору тензоперетворювачів визначають за допомогою мостових або компенсаційних схем. Використовують мости, що

живляться змінним і постійним струмом і розраховані на приєднання перетворювачів з початковим опором 30–500 Ом. Частота живлення вимірювального моста переважно визначає динамічні можливості тензоперетворювачів, оскільки останні здатні передавати сигнал про деформації у доволі високих частотах (50 кГц і вище). Перевагу одержали прилади із підсилювачами на промисловій частоті. Ці прилади здебільшого називають тензопідсилювачами, або тензостанціями, і вони відзначаються простотою конструкції, низькою чутливістю до завад від електромагнітних полів, і забезпечують можливість одночасного вимірювання як статичних, так і динамічних деформацій. Більшість сучасних тензостанцій виконують багатоканальними (табл. 11.2) з кількістю каналів 3–100 і більше. Відомі пристрої, які суміщають візуальну індикацію із автоматичним записом результатів у цифровій формі та виводом їх на ЕОМ (табл. 11.2).

Таблиця 11.2

**Технічні характеристики тензометричних станцій**

Тип приладу	Кількість каналів	Межі вимірювання відносних деформацій	Межі вимірюваних частот, кГц	Опір тензоперетворювача, Ом	Частота живлення вим. моста, кГц	Вихідний сигнал, видавання інформації
УТС1-ВТ-12 ТА-5, 8АНЧ-7М	12	$4 \cdot 10^{-3}$	До 7000	100–400	3,5	Вихід на вим. прилад або осцилограф
	4	$(0,25-10)10^{-3}$	До 1000	100–400	7,5	
	8	$(0,5-5)10^{-3}$	До 500	200–400	3,5	
АТ-98	98	$10^{-5}-10^{-3}$	0 (стат. деформ)	100–300	0,565	Друк, цифр. форма
А-100	100	$6 \cdot 10^{-5}-6 \cdot 10^{-2}$	–	100–200	–	Запис на пап. стр.
ЦТМ-5	100	000–3999.5 відн. од.	–	50–200	–	ЕОМ, цифр. табло
АИД-4	100	–	–	100–400	–	Шкала

Структурну схему вимірювального каналу тензостанції зображено на рис. 11.2. Тензорезистори R1 і R2 включені в суміжні плечі

мостової вимірювальної схеми М, що живиться змінним струмом від генератора Г. Вихідний сигнал моста підсилюється підсилювачем ЕП, а потім модулюється за допомогою синхронного детектора D і фільтра нижніх частот Ф. Сигнал із виходу фільтра подається на вимірювальний пристрій ВП.

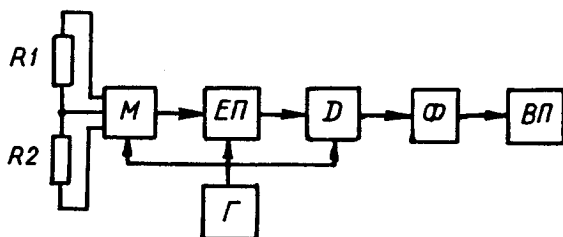


Рис. 11.2. Структурна схема вимірювального каналу тензостанції:  
*R1, R2* – тензорезистори; *М* – мостова вимірювальна схема;  
*ЕП* – електронний підсилювач; *D* – синхронний детектор; *Г* – генератор;  
*Ф* – фільтр нижніх частот; *ВП* – вимірювальний пристрій

Сьогодні розповсюджені вимірювальні кола, в яких вихідний струм тензомоста зрівноважується струмом додаткового джерела (квазі-зрівноважені мости). Промисловістю випускаються автоматичні самописні прилади змінного струму типу КСТ для роботи з тензорезисторними перетворювачами. Це – автоматичні мости для вимірювання і запису сигналів силовимірювальних тензорезисторних перетворювачів в електронних автоматичних вагах, дозаторах тощо. Можлива робота з перетворювачами, вихідний опір яких не перевищує 400 Ом. Прилади випускаються таких модифікацій: КСТ4 (основна похибка вимірювання  $\pm 0,25\%$ ), КСТ3-И і КСТ3-С (основна похибка вимірювання  $\pm 0,5\%$ ). В останніх двох модифікаціях запис показів здійснюється на дискову діаграму діаметром 250 мм. Механічні напруження можна вимірювати тензоперетворювачами без спеціальних вторинних приладів, вимірюючи електричні параметри моста. Величину нормального механічного напруження для випадку, коли перетворювач увімкнений в одне із плечей мостової вимірювальної схеми, визначають із формули

$$\sigma = E \cdot \varepsilon = \frac{F}{S} = E \cdot \frac{\Delta R / R}{K_T} = E \cdot \frac{4 \cdot \Delta U}{K_T \cdot U}, \quad (11.3)$$

де  $\sigma$  – нормальне механічне напруження, МПа;  $E$  – модуль пружності, МПа;  $\varepsilon = \Delta R/R$  – відносна деформація;  $F$  – прикладене зусилля, кН;  $S$  – площа перерізу деталі, мм<sup>2</sup>;  $K_T$  – коефіцієнт тензочутливості;  $R$  – активний електричний опір тензоперетворювачів, Ом;  $\Delta R$  – приріст опору тензоперетворювача, Ом;  $\Delta U$  – напруга на вимірювальній діагоналі моста, В;  $U$  – напруга на діагоналі живлення моста, В.

Аналіз формули (11.3) виявляє, що якщо виміряти напругу в діагоналі моста  $\Delta U$ , то за відомими  $K_T$ ,  $U$  і  $E$  можна визначити механічне напруження  $\sigma$ . В цьому разі тензоперетворювач наклеюють на балку в такий спосіб, щоб його поздовжня вісь збігалась з напруженням деформації. За наявності двох робочих тензоперетворювачів  $R_1$  і  $R_2$  (рис 11.1), увімкнутих у суміжні плечі мостової схеми, тобто коли тензоперетворювачі розташовані симетрично на верхній і нижній сторонах балки, величина механічного напруження дорівнюватиме

$$\sigma = 2 \cdot E \cdot \frac{\Delta U}{K_T \cdot U}. \quad (11.4)$$

За формулою (11.4) вираховують також величину механічного напруження у разі використання повної мостової схеми. На досліджувану балку наклеюють два робочі тензоперетворювачі, а два інші перетворювачі наклеюють на допоміжну деталь із того самого матеріалу, який не піддається деформації.

Якщо компенсаційні тензоперетворювачі наклеюють на ту саму вимірювану балку, то їх розташовують перпендикулярно до напрямку дії сили (рис. 11.2). Із врахуванням появи бокової чутливості тензоперетворювача напруга на вимірювальній діагоналі моста дорівнюватиме

$$\Delta U = \frac{U \cdot (1 + \mu) \cdot K_T \cdot \varepsilon}{2}, \quad (11.5)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт Пуассона.

Механічне напруження для цього випадку розраховують за формулою

$$\sigma = \frac{2 \cdot E}{U \cdot K_T \cdot (1 + \mu)} \cdot \Delta U. \quad (11.6)$$

У тих випадках, коли вимірюють напруження згину, використовують аналогічні мостові схеми. Однак тензоперетворювачі наклеюють в такий спосіб, щоб виключити нормальні напруження.

Чутливість дротяного тензоперетворювача – це відношення відносної зміни його опору до відносної зміни лінійного розміру дроту:

$$K_T = \frac{dR/R}{dl/l} = 1 + 2 \cdot \mu + \frac{1}{\rho} \cdot \frac{d\rho}{dl}. \quad (11.7)$$

## 11.2. Вимірювання і контроль зусиль

У розділі 10 було розглянуто проблему вимірювання і контролю зусиль у напруженій арматурі. Але в будівництві та на заводах будівельної індустрії існує багато технологічних процесів, де також потрібно вимірювати і контролювати зусилля (випробування залізобетонних конструкцій, дозатори, вагові та захисні пристрої тощо).

Для вимірювання зусиль найчастіше використовують пружні елементи, які здійснюють перетворення зусилля в електричний сигнал. Часто деформацію пружного елемента в електричний сигнал перетворюють за допомогою наклеюваних тензоперетворювачів (рис. 11.3). У цьому випадку деформація динамометра перетворюється в зміну опору, який легко можна вимірювати за допомогою різноманітних мостів або спеціальних тензостанцій. Часто шкала таких приладів відградуйована в одиницях зусилля.

Широко застосовують магнітопружні перетворювачі, дія яких ґрунтується на магніто-пружному ефекті. Останній полягає в тому, що якщо на намагнічений зразок феромагнітного тіла діяти механічною силою, то тіло деформується, і в матеріалі змінюється магнітна індукція:

$$\mu_a = \mu_r \cdot \mu_0 = \frac{B}{H}, \quad (11.8)$$

де  $\mu_a$  – магнітна проникливість феромагнетика;  $\mu_r$  – відносна магнітна проникливість середовища;  $\mu_0$  – магнітна проникність пустоти або магнітна стала;  $H$  – напруженість магнітного поля;  $B$  – магнітна індукція.

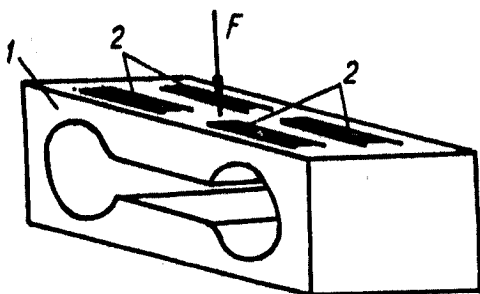


Рис. 11.3. Конструкція динамометра з тензоперетворювачами:  
1 – динамометр; 2 – тензоперетворювачі

Зміна індукції або магнітної проникливості в феромагнітних тілах за дії на них механічної сили називається магнітопружним ефектом.

Конструкції деяких магнітопружних перетворювачів зображено на рис. 11.4. Вони являють собою феромагнітні осердя із намотаними на них однією або двома обмотками. У перетворювачах із однією обмоткою зусилля в електричний сигнал перетворюється за таким колом:

$$F \rightarrow \sigma \rightarrow \mu_r \rightarrow R_m \rightarrow L.$$

У перетворювачах із двома обмотками така формула має вигляд

$$F \rightarrow \sigma \rightarrow \mu_r \rightarrow R_m \rightarrow M \rightarrow E,$$

де  $R_m$  – магнітний опір осердя;  $L$  – індуктивність обмотки;  $M$  – взаємоіндуктивність;  $E$  – ЕРС вторинної обмотки.

Найкращі метрологічні характеристики має магнітоанізотропний трансформаторний перетворювач, конструкцію якого зображено на рис. 11.4, в. Доки вимірювана сила не діє, магнітопровід такого перетворювача – магнітоанізотропний: його магнітна проникливість однакова в усіх напрямках. Під дією зусилля магнітна проникливість змінюється в напрямку напруження, і це змінює магнітний опір матеріалу в тому самому напрямку. Під дією механічного напруження матеріал стає магнітоанізотропним.

Магнітопружні індукційні перетворювачі включаються в мостові вимірювальні кола. Вони здатні вимірювати зусилля  $10^5$ – $10^6$  Н і більше.

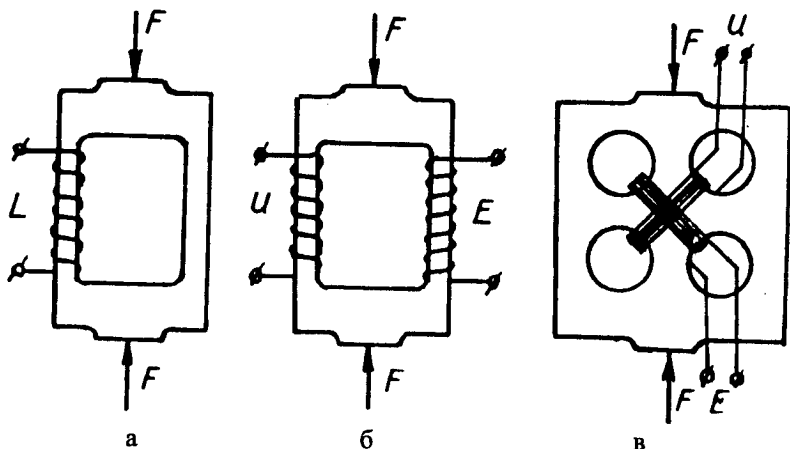


Рис. 11. 4. Конструкції магнітопружних перетворювачів зусиль:  
*а* – магнітопружний перетворювач; *б* – магнітопружний трансформаторний перетворювач; *в* – магнітоанізотропний трансформаторний перетворювач

Для вимірювання великих зусиль широко застосовують динамометри із проміжним перетворенням сили в переміщення. Таким перетворювачем доволі часто є пружина, яка деформується під дією зусилля. Ця деформація (переміщення) перетворюється в електричний сигнал за допомогою реостатного, індуктивного чи іншого перетворювача переміщення.

На рис. 11.5 зображено конструкцію силовимірного елемента із динамометричним кільцевим пружним елементом. Основою пристрою є кільцева динамометрична пружина 1, до якої через шарнірні з'єднання 2 і 3 прикладається розтягуюче зусилля. Всередині пружини змонтовано два магнітопроводи 4 і 5 трансформаторного перетворювача; ярмір перетворювача 6 з'єднано із верхньою частиною пружини. За дії розтягуючої сили ярмір переміщається між полюсами магнітопроводів. Його переміщення перетворюється в електричну напругу.

Конструкцію динамометричного перетворювача від захисного пристрою самохідного крана показано на рис. 11.6. Пристрій працює аналогічно до описаного вище, але деформація динамометричного кільця в ньому перетворюється в електричний сигнал за допомогою диференційно-трансформаторного перетворювача. Осереддя перетворю-

вача з'єднане з динамометричним кільцем за допомогою важільної системи з регулюючим гвинтом, що дає можливість корегувати точність спрацьовування захисного пристрою. Такі пристрої широко використовуються в дозаторах неперервної дії для контролю ваги матеріалу на стрічці живильника (див. рис. 5.27). Такий пристрій може бути приєднаний до автоматичного приладу з диференційно-трансформаторною вимірювальною схемою, що уможливує підвищення точності та контролювання кількості переробленого вантажу.

Під час випробування залізобетонних конструкцій застосовують динамометри із проміжним перетворенням сили в деформацію матеріалу. Перетворення деформації динамометра в електричний сигнал здійснюють тензоперетворювачем. У різних модифікаціях діапазон вимірювання такими пристроями знаходиться у межах 0,16–10 т. Клас точності – 1,0.

Крім наклеюваних тензорезисторів, у системах автоматичного вимірювання і керування використовують ненаклеювані дротяні перетворювачі. Вони мають багато цінних якостей, основна із яких – висока стабільність нульової точки.

На рис. 11.7 зображено конструкцію перетворювача ДСТБ-С-016, який використовують у вагових дозаторах циклічної дії та в системах автоматичного зважування матеріалів, що зберігають в бункерах і закритих ємностях.

Перетворювач складається із циліндричного корпуса 5, у гнізді якого розташовано пружний елемент, що опирається на кульковий підшипник 6. Із внутрішнього боку пружний елемент має дванадцять стержнів 4, розташованих по колу. На них намотано два тензочутливі елементи 9. До пружного елемента кріпиться металевий

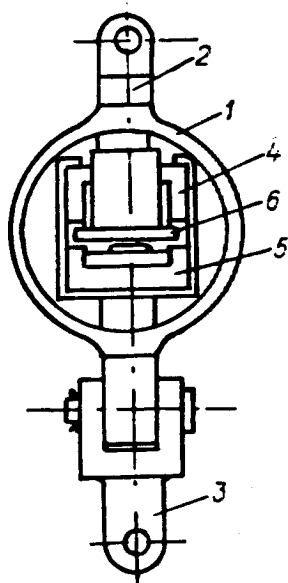
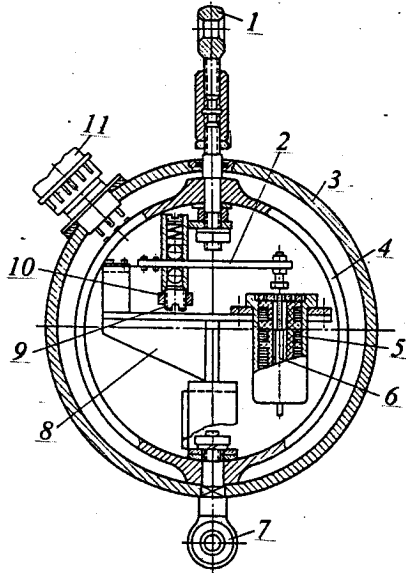


Рис. 11.5. Силувимірний елемент від захисного пристрою крана



каркас 3 з двома компенсаційними елементами 10 для виключення температурної похибки перетворювача. Тензочутливі і термокомпенсаційні елементи з'єднані в електричний міст. За зміни тензочутливих опорів за рахунок деформації від вимірюваного зусилля на виході моста з'являється напруга, пропорційна до вимірюваного зусилля. Виводи елементів за допомогою ізолятора 2 ідуть на монтажну плату 1. Зверху і знизу перетворювач закрито накривками 8 і 11.



*Рис. 11.6. Конструкція динамометричного перетворювача від захисного пристрою самохідного крана:*

- 1 – кільце верхньої підвіски; 2 – важільна система; 3 – корпус;*
- 4 – динамометричне кільце; 5 – котушка диференційно-трансформаторного перетворювача; 6 – осердя перетворювача; 7 – кільце нижньої підвіски;*
- 8 – кронштейн; 9 – регулювальний гвинт; 10 – контргайка;*
- 11 – вивідний рознім*

Механізми з тензорезисторними перетворювачами не мають вагової важільної системи, що значно спрощує їхню конструкцію, умови експлуатації і обслуговування. Сигнал, одержаний від тензо-

резисторного перетворювача, легко перетворити у команду, яка може контролювати роботу механізму. Такі пристрої мають багато переваг: невелику інерційність, велику жорсткість ваговимірювальних елементів, просту конструкцію та високу точність.

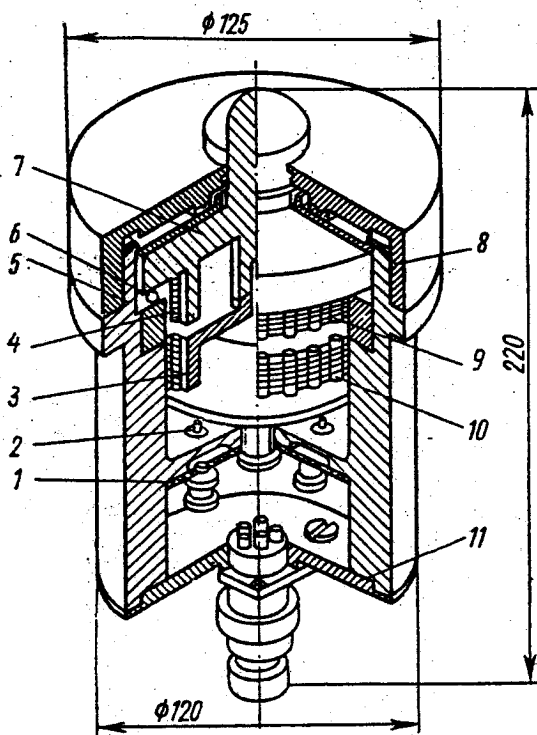


Рис. 11.7. Конструкція перетворювача DSTB-C-016:

- 1 – контактна плата; 2 – прохідний ізолятор; 3 – металевий каркас;
- 4 – опори тензорезисторів; 5 – корпус; 6 – опорний кульковий підшипник;
- 7 – пружний елемент; 8 – верхня накривка; 9 – тензорезистор;
- 10 – резистор температурної компенсації; 11 – нижня накривка

Для вимірювання динамічних зусиль, що швидко змінюються, використовують п'єзоелектричні перетворювачі. Принцип роботи таких пристроїв ґрунтується на перетворенні механічної енергії в

електричну відповідно до п'єзоелектричного ефекту (рис. 11.8). Такі перетворювачі використовують для вимірювання динамічних зусиль з частотою  $15-3 \cdot 10^5$  Гц, а для статичних зусиль їх застосовують дуже рідко. Це пояснюють тим, що під час прикладення статичного навантаження відбувається стікання заряду і значення напруги зменшується за експоненціальним законом.

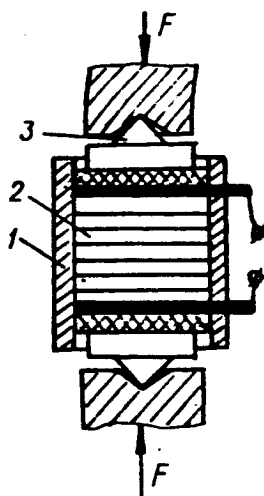


Рис. 11.8. П'єзоелектричний перетворювач зусиль:  
1 – корпус; 2 – п'єзоелектричні пластини; 3 – опорна плита

П'єзоелектричні перетворювачі виготовляють із кристалів кварцу або п'єзокераміки і застосовують для контролю роботи машин і механізмів.

Порівняно з тензометричними перетворювачами п'єзоелектричні мають багато переваг. Вони компактніші, на їхні покази не впливають зміна температури і електромагнітне поле, вони мають більшу чутливість, але для вимірювання значних зусиль не придатні.

### 11.3. Автоматизація контролю і захисту роботи вантажопідіймальних механізмів

Для виконання умов техніки безпеки і захисту технологічного обладнання усі вантажопідіймальні механізми оснащуються спеціальними пристроями контролю і захисту. До них насамперед належать різні обмежувачі та захисні пристрої. Найбільшого розповсюдження тут набули різноманітні кінцеві (шляхові) вимикачі, які використовують для обмеження ходу крана або його механізмів (візка, стріли), вильоту гака, перевантаження тощо. Контакти кінцевого вимикача знаходяться в колах керування відповідного механізму.

Для забезпечення безпечної роботи вантажопідіймальних кранів необхідно контролювати величину навантаження в такий спосіб, щоб за досягнення перевантаження виключались небезпечні рухи крана і подавався відповідний сигнал. З цією метою на кранах установлюють різноманітні пристрої, будова яких залежить від конструкції кранів та умов експлуатації. Найбільше такі пристрої використовують на стрілових кранах, оскільки за перевантаження порушується стійкість, що може призвести до аварій і нещасних випадків.

Широко застосовується захист кранів від аварійних вітрових навантажень. На рис. 11.9 показано структурну схему такого пристрою, що встановлюється на баштових і козлових кранах. До складу пристрою входять первинний перетворювач швидкості вітру 1 і блок керування, з'єднаний із протигінним пристроєм та двигуном переміщення крана.

Блок керування БК складається із вимірювального модуля 2, модуля індикації 3, модуля затримки часу 4 і виконавчого пристрою 5. Перетворювач швидкості вітру являє собою анемометр з лопатями і тахогенератор, з виходу якого напруга  $U_{\pi}$ , пропорційна до швидкості вітру, подається у вимірювальний модуль із вторинним приладом. Шкала приладу проградуєвана в одиницях швидкості – м/с. Частина шкали, що відповідає небезпечним швидкостям вітру, зарисована у червоний колір.

Із вимірювального модуля сигнал  $U_2$  подається в модуль індикації 3, що має реле К1 і сигнальну лампу. Під час небезпечних

поривів вітру реле К1 вмикає сигнальну лампу і реле часу КТ у блоці затримки часу. Якщо час дії пориву вітру більший від затримки реле часу КТ, то воно вмикає лампу аварійної сигналізації і подає напругу  $U_4$  на проміжне реле в блоці 5, що вмикає протигінний пристрій (рис. 11.10) і відключає двигун переміщення крана М.

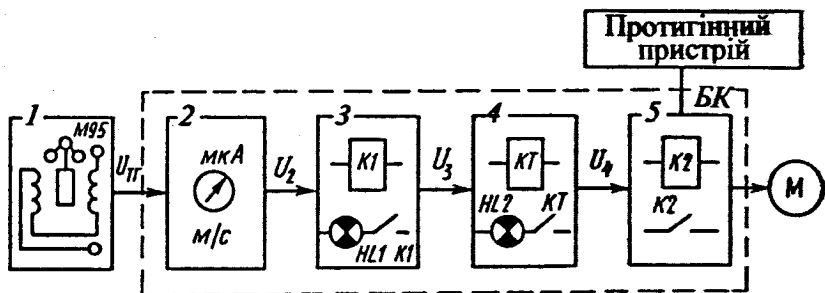


Рис. 11.9. Схема захисного пристрою крана від вітрових навантажень: 1 – перетворювач швидкості вітру; 2 – вимірювальний модуль; 3 – модуль індикації; 4 – модуль затримки часу; 5 – виконавчий блок

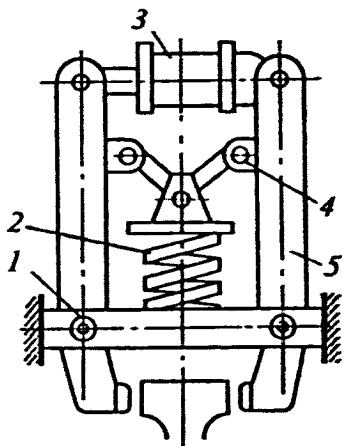


Рис. 11.10. Конструкція протигінного пристрою: 1 – вісь; 2 – пружина; 3 – пневмоциліндр; 4 – перемички; 5 – важелі

Під час включення протигінного пристрою у пневмоциліндр 3 подається стиснуте повітря, і він переміщає важелі 5 довкола осі 1, які обтискають головку рейки. Одночасно за допомогою перемичок 4 розтягується пружина 2, що за відсутності тиску у пневмоциліндрі повертає важелі у вихідне становище.

Крім пневматичних протигінних пристроїв, широко застосовують електричні, в яких важелі затискають головку рейки електромагнітом або на рейку опускається електромагнітна лижа чи інший подібний пристрій.

На дільницях, на яких на одних підкранових шляхах працює декілька механізмів, використовують електромеханічні та оптико-електронні пристрої, що запобігають їхньому зіткненню. Для підтримання мінімальної віддалі між кранами широко використовують радіоелектронні пристрої, що складаються із передавача, приймача і вихідного блока. Приймач і передавач встановлюють в такий спосіб, щоб їхні антени були зорієнтовані у напрямку руху крана. За зближення кранів на віддаль, меншу від допустимої, спрацьовує реле вихідного блока – і кран зупиняється.

З метою захисту стрілових баштових і автомобільних кранів від небезпечного нахилу використовують креноміри. Ці прилади складаються із маятникового перетворювача кута нахилу (рис. 11.11) і блока вимірювання та сигналізації, що встановлюється у кабіні. На панелі приладу встановлено два стрілкові індикатори і дві сигнальні лампи (рис. 11.12). Зелена лампа HL2 світиться, коли кут нахилу крана не перевищує допустимого значення; червона – HL1 сигналізує про перевищення кута нахилу в одній із площин.

Потенціометричні перетворювачі 4 і 5 креноміра встановлено у герметичному корпусі 2, який жорстко закріплений на поворотній платформі і нахилиється разом з краном. Маятник 8 підвішений на карданному шарнірі 1, внаслідок чого він зберігає вертикальне положення. При цьому відбувається переміщення зв'язаних з ним повзунків 3 і 6 потенціометрів 4 і 5 (на схемі рис. 11.12  $R_{п1}$  і  $R_{п2}$ ). В корпус перетворювача залито оливу для демпфування коливань маятника 8, який оснащено лопатями 7.

Потенціометри  $R_{п1}$  і  $R_{п2}$  разом з резисторами R1, R2, R31, R32 утворюють дві мостові схеми I і II. У вимірювальні діагоналі цих

схем  $ab$  і  $cd$  включено діодні мости 1-2-3-4 і 5-6-7-8, виходи яких 3-4 і 7-8 під'єднано паралельно з котушкою поляризованого реле КР.

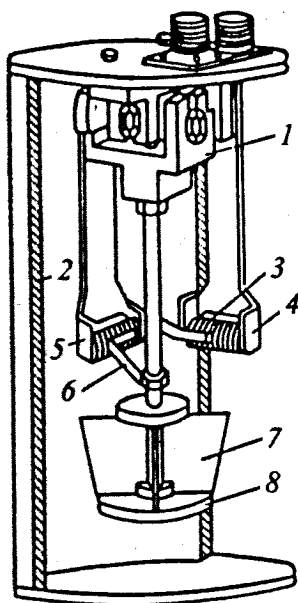


Рис. 11.11. Перетворювач креноміра:  
1 – шарнір; 2 – корпус; 3, 6 – повзунки потенціометрів;  
4, 5 – потенціометри; 7 – лопать; 8 – маятник

За нахилу крана щітки потенціометрів переміщуються, порушуючи баланс мостових схем. Це приводить до включення реле КР, яке контактами 2КР відключає зелену лампу HL2, а контактами 1КР вмикає червону лампу HL1. Величину крена і його характер визначають за приладами PV1 і PV2, увімкненими в діагоналі живлення діодних мостів 1-2 і 5-6.

У багатьох подібних приладах як перетворювачі кута використовують безконтактні перетворювачі, що покращує їхню роботу.

На самохідних будівельних кранах використовуються прилади для визначення небезпечної зони за наближення до ліній електропередач ЛЕП. Пристрій складається з приймальної антени, підсилю-

вального і виконавчого блоків і блока сигналізації. Принцип роботи приладу ґрунтується на наведенні ЕРС в котушці під час перетину її змінним магнітним полем ЛЕП. Цей сигнал використовується для роботи схеми.

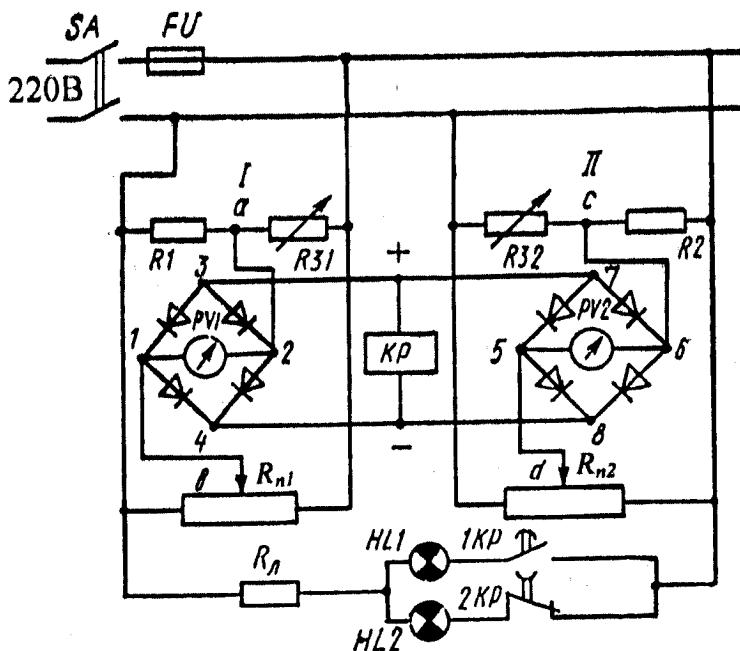


Рис. 11.12. Принципова електрична схема креноміра

#### 11.4. Вимірювання і контроль параметрів транспортних засобів

На заводах залізобетонних виробів використовують багато різноманітних транспортних засобів (транспортери, живильники, конвеєри, трубопровідний транспорт тощо). Їх можна розділити на пристрої неперервного транспорту (транспортери, конвеєри, трубо-



привідний транспорт) і циклічного транспорту (скіпи, підвісні візки, вузькоколіїний транспорт). Системи автоматизації обох груп пристроїв відрізняються між собою. Механізми неперервного транспорту повинні керуватися за певними програмами, що вказують на послідовність і напрямок вантажопотоків, обладнуватися засобами контролю, захисту, сигналізації та обліку. Засоби контролю повинні давати вичерпну інформацію про стан механізму під час його роботи, а також забезпечувати своєчасне автоматичне відключення механізму, запобігаючи в такий спосіб аварії. Вибір системи і об'єктів контролю для кожної конкретної схеми здійснюється індивідуально.

Сигнали для контролю за роботою механізмів неперервного транспорту можуть бути одержані від блокуючих контактів магнітних пускачів привідних двигунів; від привідного, натяжного або відхиляючого барабанів конвеєра чи транспортера; від рухомої стрічки або роликоопори.

Контроль і вимірювання швидкості руху транспортних засобів – одне із найрозповсюдженіших завдань автоматизації поточно-транспортних систем. Швидкість руху транспортних засобів визначають за швидкістю обертання привідного або натяжного барабанів, натяжних роликів чи роликоопор. Завдання подальшого перетворення полягає в одержанні сигналу, який лінійно пов'язаний зі швидкістю, зручний для передавання вимірювальними колами і подальшого перетворення. Під час вимірювання малих швидкостей основна вимога до перетворювачів полягає в забезпеченні найбільш можливої чутливості за найменшого впливу зовнішніх збурень.

Прийнято швидкість обертання виражати частотою обертання  $n$  або кутовою швидкістю  $\omega$ :

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n . \quad (11.9)$$

У тих випадках, коли вимоги до точності вимірювань невеликі і допускається відбір потужності від валів, які обертаються, широке застосування знаходять тахогенератори і тахометри (див. підрозділ 1.7.3). Тахогенератори – це малопотужні (до 100 Вт) генератори постійного або змінного струмів. Тахогенератор постійного струму – це генератор незалежного збудження, з колектора якого знімається наведена ЕРС.

Тахогенератори змінного струму поділяють на синхронні і асинхронні. Вихідним сигналом синхронних тахогенераторів є або

ЕРС, або її частота. В останньому випадку як вторинний прилад використовують частотомір. Похибка вимірювання при цьому буде дещо меншою, ніж під час вимірювання ЕРС, оскільки при цьому виключається нестабільність величини вихідної напруги перетворювача. Найвищу точність дають цифрові частотоміри, але вони дуже складні і дорогі.

Вихідним сигналом асинхронних тахогенераторів є ЕРС, яка за зміни напрямку обертання, змінює фазу на протилежну. Статична характеристика асинхронного тахогенератора лінійна і реверсивна. Вторинним приладом для нього є вольтметр, шкала якого відградуєвана в одиницях швидкості.

Крім тахогенераторів, для вимірювання швидкості широко використовують різноманітні індукційні перетворювачі (табл. 11.3). Залежно від їхньої конструкції сигнал на виході буде неперервним або імпульсним. Імпульсні перетворювачі мають значну перевагу, оскільки частота імпульсів прямо пропорційна до швидкості обертання вала і не залежить від якості виконання системи, старіння постійного магніту та зовнішніх збурень. Магнітоіндукційні тахогенератори дають змогу вимірювати швидкість обертання з похибкою до 1,0 % в межах робочого діапазону, а решта шкали – не більше 1,5 % від верхньої межі вимірювання.

Магнітоіндукційні тахометри складаються із первинного перетворювача і показуючого приладу для щитового монтажу. Первинні перетворювачі Д-1М і Д-1ММ працюють із одним приладом, що показує, а Д-2М і Д-2ММ – з двома. Шкала показуючого приладу відградуєвана у відсотках. Приєднання приладу до об'єкта здійснюється за допомогою гнучкого вала і амортизаторів або через пружину.

Наведені вище прилади і перетворювачі швидкості вимагають механічного контакту із контрольованим механізмом, але існує велика кількість перетворювачів, що не потребують його. Робота таких перетворювачів ґрунтується на різноманітних фізичних явищах (оптичні, ємнісні, ультразвукові, радіоактивні, холлівські тощо). До них зараховують також і деякі типи індукційних перетворювачів (рис. 11.13). Конструкція їх залежить від діаметра контрольованого об'єкта.

Оптичні перетворювачі швидкості виконують у двох принципових варіантах: фотоелектричних модуляторних систем або стробо-

скопічних тахометрів. Дія фотоелектричних перетворювачів ґрунтується на модулюванні освітленості робочої поверхні фотоелектричного елемента (фотодіода, фотоопору, фотопомножувача) дискретними збуджувачами сигналу, жорстко пов'язаними з валом об'єкта. Ними можуть бути диск із отвором (або отворами), отвори у робочому валу, заслінки або світловідбиваючі мітки, нанесені на вал чи на стрічку транспортера.

Таблиця 11.3

**Технічні характеристики магнітоіндукційних тахометрів**

Тип приладу	Межі вимірювання, об/хв	Тип приладу	Межі вимірювання, об/хв
ТМи1	250–2000	ТМ-2	100–2000
ТМи2	250–2500	ТМ-3	150–3000
ТМи3	300–3000	ТМ-4	200–4000
ТМи4	400–4000	ТМ-16	800–16000
ТМ-0,5	25–500	8ТМ-0,1	5–100
ТМ-0,75	40–750	8ТМ-1	50–1000
ТМ-1	50–1000	8ТМ-3	150–3000

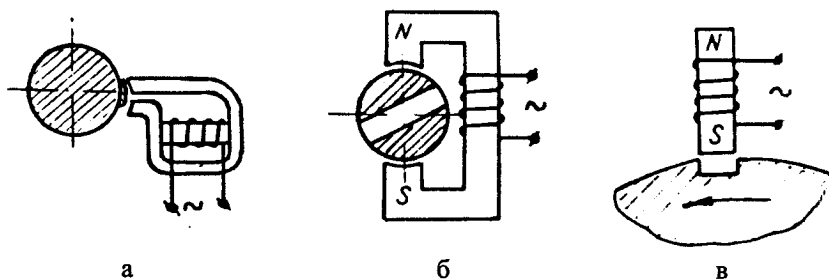


Рис. 11.13. Індукційні перетворювачі швидкості:  
*a і б – за діаметра контрольованої поверхні до 50 мм;  
 в – за діаметрів, більших ніж 50 мм*

Під час обертання вала з диском (рис. 11.14) світло потрапляє на фотоперетворювач тільки тоді, коли між ним і лампочкою буде

отвір у диску. В результаті кількість імпульсів на виході перетворювача відповідатиме кількості обертів диска.

За стробоскопічного методу вимірювання швидкості використовується властивість ока спостерігача утримувати протягом деякого часу зображення, яке вже минуло. У стробоскопічних тахометрах спостерігають за диском із спеціальними мітками на його поверхні, який періодично освітлюється безінерційним джерелом світла. За частоти спалахів, синхронної із частотою обертання вала, диск здається нерухомим (табл. 11.4).

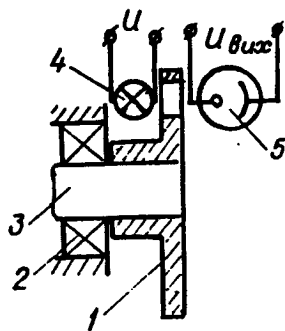


Рис. 11.14. Фотоелектричний перетворювач швидкості:  
1 – диск з отвором;  
2 – підшипник; 3 – вал;  
4 – лампочка; 5 – фотоеlement

Таблиця 11.4

### Технічні характеристики тахометрів та оберткових перетворювачів

Тип приладу	Межі вимірювання, об/хв	Конструкція (комплект) приладу
ПІКП2-1Ф ПІКП2-2Ф ПДФ-3 ПДФ-5	6000 10000 3000 4000	Фотоелектричні пристрої з цифровим вихідним сигналом
ТЭ1 ТЭ2 ТЭ2,5 ТЭ5	20–1000 20–1500 20–2500 20–5000	Перетворювач – генератор змінного струму з постійними магнітами. Вторинний прилад із стрілковою індикацією Ц1600/К
7ТЭ	10–1000, 20–8000, 30–12000, 50–20000, 60–24000, 20–40000, 40–80000, 60–90000, 100–75000	Магнітоелектричний імпульсний перетворювач з підсилювачем. Вторинний прилад – частотомір
К1803	0–100, 0–200, 0–3000, 0–500, 0–1000, 0–2000, 0–4000	Тахогенератор і показуючий прилад М1850 або И1619

Ємнісний перетворювач швидкості в найпростішому випадку виконаний у вигляді конденсатора, одна із пластин якого обертається стосовно іншої. Робота таких перетворювачів ґрунтується на тому, що за зміни ємності  $C$  конденсатора, до якого прикладено постійну напругу  $U$ , зарядний струм “ $i$ ” змінюється пропорційно до швидкості зміни ємності:

$$i = \frac{dq}{dt} = U \frac{dC}{dt}, \quad (11.10)$$

де  $q = U \cdot C$  – заряд конденсатора.

Якщо зміна ємності пропорційна до переміщення пластини конденсатора, то вихідний струм пропорційний до швидкості цього переміщення.

Часто замість конденсатора з джерелом живлення використовують електрет. Електрет – це спеціальний діелектрик, що має постійну поляризацію. Густина залишкових зарядів електретів становить приблизно  $10^{-7} \dots 10^{-8}$  Кл/см<sup>2</sup>. Заряд зберігається протягом

багатьох років. Перетворювач швидкості із електретом складається із конденсатора із рухомих електродом 1 і електрета 2 (рис. 11.15). Вихідний струм перетворювача – близько  $10^{-7}$  А.

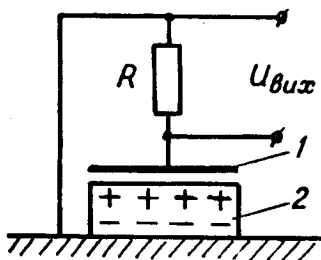


Рис. 11.15. Перетворювач швидкості з електретом:

1 – рухомий елемент; 2 – електрет

Вище уже було сказано, що вторинними приладами для перетворювачів швидкості є прилади для вимірювання напруги і частотоміри. В системах контролю і керування широко застосовують різноманітні реле швидкості.

Їх призначено для дистанційного контролю і керування швидкістю руху стрічки транспортера або конвеєра. Крім того, вони дають змогу контролювати поперечний розрив стрічки, її пробуксовування і взаємне блокування кіл керування.

Реле швидкості працюють у комплекті із магнітоіндуктивними перетворювачами ДМ-2 або тахогенераторами УПДС. Такі прилади

дають змогу контролювати швидкість руху транспортерної стрічки від 0,4 м/с і вище. Технічні характеристики деяких реле швидкості наведено в табл. 11.5. Із таких пристроїв широке розповсюдження має реле швидкості РС-67, яке працює із вказаними вище перетворювачами. Реле забезпечує виконання таких режимів:

- витримку часу на вмикання;
- контроль швидкості, пробуксовування і поперечного розриву стрічки транспортера або конвеєра;
- автоматичне відключення приводу механізмів за аварійних режимів, які пов'язані із пробуксовуванням, що зменшує швидкість стрічки більш ніж на 25 %, або з поперечним розривом;
- витримку часу на вимикання після зникнення сигналу перетворювача.

Таблиця 11.5

#### Технічні характеристики реле швидкості

Параметр	РСА	ЭРС-1	РС-67	РСИМ	РУК-2М
Напруга живлення, В	36	10; 15	127; 220	–	36
Максимальна швидкість, м/с	0,4	0,6–6	0,4–6		
Перетворювач	ДМ-2		ДМ-2		ТГ
Допустима похибка, %		5			10

На рис. 11.16 показано принципову електричну схему простого тахометричного реле швидкості, де перетворювачем є тахогенератор змінного струму ВГ, ротор якого приводиться в рух від неробочої ланки стрічки транспортера (опорного ролика або натяжного барабана). Випрямлений сигнал перетворююча надходить на релейний підсилювач, що має два реле: поляризоване КР і виконавче КМ. Поляризоване реле забезпечує необхідну чутливість, а виконавче – комує ланки керування транспортером. Налаштування схеми на задану швидкість спрацювання здійснюється потенціометром R1. Під час досягнення заданої швидкості спрацьовує чутливе поляризоване реле КР, яке своїми контактами вмикає виконавче реле КМ.

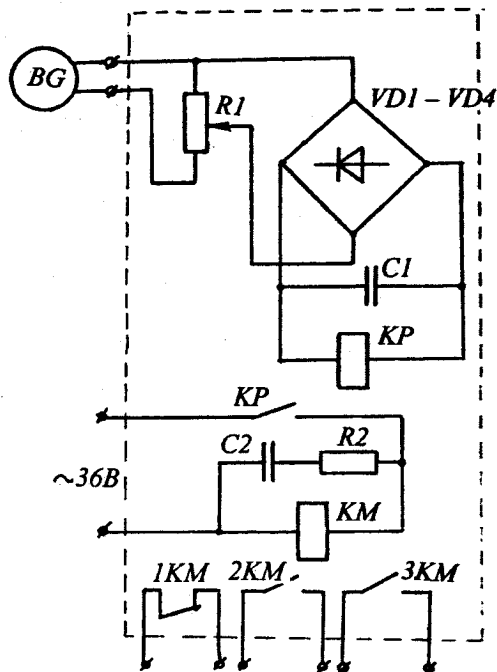
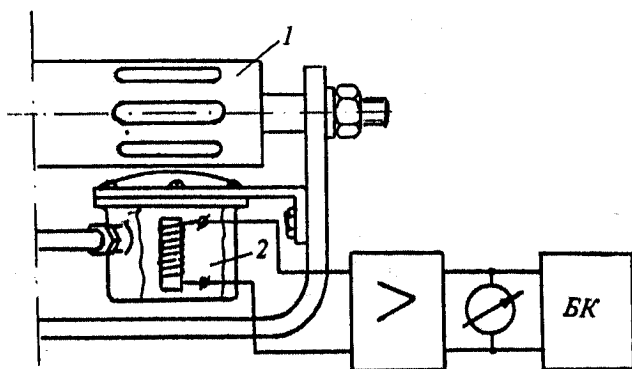


Рис. 11.16. Принципова електрична схема тахометричного реле швидкості

Схему монтажу та приєднання первинного і вторинного імпульсного реле швидкості показано на рис. 11.17. Імпульсний перетворювач 2 кріпиться біля феромагнітного опорного ролика 1, в якому зроблено поздовжні вирізи. Під час обертання опорного ролика в обмотці первинного перетворювача наводиться ЕРС, частота імпульсів якої пропорційна до кутової швидкості. Підсилені імпульси надходять на вимірювальний пристрій та блок керування, який вмикає виконавче реле, коли частота імпульсів досягне певного значення.

Крім швидкості, під час роботи транспортерів потрібно контролювати й інші його параметри. За поперечного розриву стрічки транспортера необхідна миттєва зупинка привідного двигуна і всієї поточно-транспортної системи (ПТС) у напрямку проти транспор-

тованого потоку, починаючи від пошкодженого транспортера. Реле швидкості часто не забезпечують такої миттєвості, тому з цією метою використовують спеціальні пристрої, які контролюють одночасно і положення, і цілісність стрічки транспортера.



*Рис. 11.17. Схема монтажу первинного і вторинного приставів імпульсного реле швидкості*

На рис. 11.18 показано конструкцію поворотного перетворювача положення і цілісності стрічки транспортера. Він складається із двох роликів 1, які притискаються до стрічки транспортера протилежною стороною до ролика 2. За зміщення або обриву стрічки один із роликів (чи обидва разом) звільняється і повертається важіль, що діє на контактний пристрій 3. У такий спосіб працює натискний перетворювач (рис. 11.18, б). За зміщення стрічки ліворуч чи праворуч одна із лиж 4 переміщується, діючи на мікроперемикач 5. Найчастіше для контролю цілісності стрічки застосовують роликівий перетворювач (рис. 11.18, в). У ньому за обриву стрічки ролик 6 провисає і діє на мікроперемикач 7, який здійснює перемикання в колах керування транспортером і всієї ПТС.

Часто відбувається поздовжній розрив транспортерної стрічки, на який не реагують пристрої контролю і захисту, описані вище. Такий розрив може призвести до важкої аварійної ситуації, оскільки транспортований матеріал засипатиме конструктивні елементи ПТС. Для контролю поздовжньої цілісності стрічки транспортера викорис-



товують спеціальний пристрій, первинний перетворювач якого встановлюють під стрічкою між опорними роликками. Цей перетворювач складається із ізовлених між собою стержнів, до яких прикладено напругу (рис. 11.19). Під час потрапляння на них через розрив транспортованого матеріалу в колі починає протікати струм, який призводить до спрацювання блока керування і зупинки транспортера і відповідних ланок ПТС.

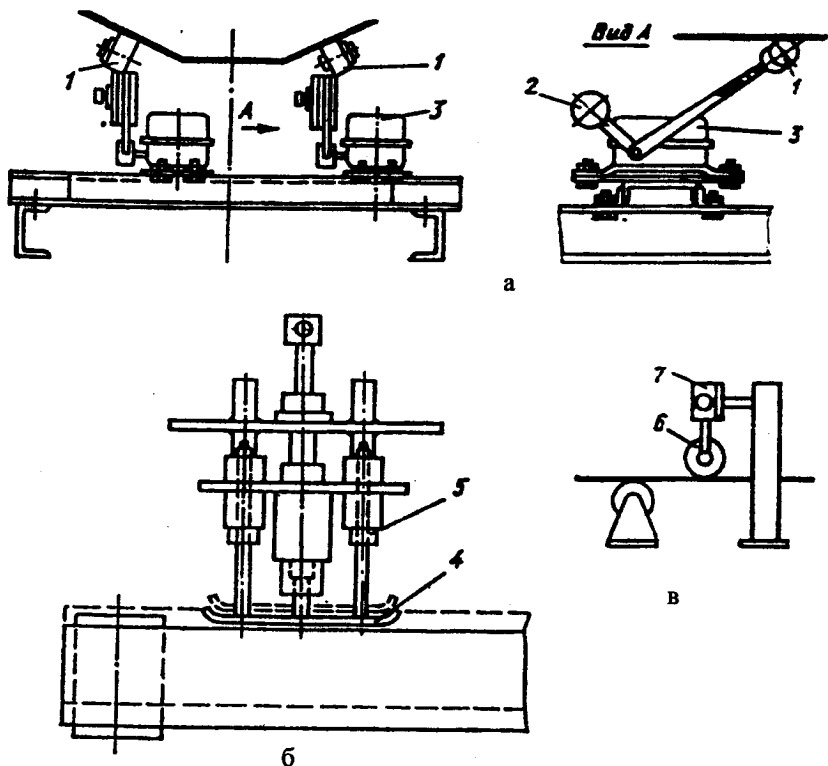


Рис. 11.18. Конструкція поворотного перетворювача положення і цілісності стрічки транспортера

Для автоматичного і автоматизованого керування роботою ПТС необхідно контролювати наявність матеріалу на стрічці транспортера. Такий контроль здійснюють за допомогою перетворювачів прямого і

непрямого контролю. Найчастіше застосовують важільні електромеханічні перетворювачі прямого контролю (рис. 11.20). Під час появи матеріалу на стрічці транспортера важіль підіймається і перемикає контакти в колі керування. Коли матеріал на стрічці відсутній, то важіль опускається, приводячи контакти у вихідне положення.

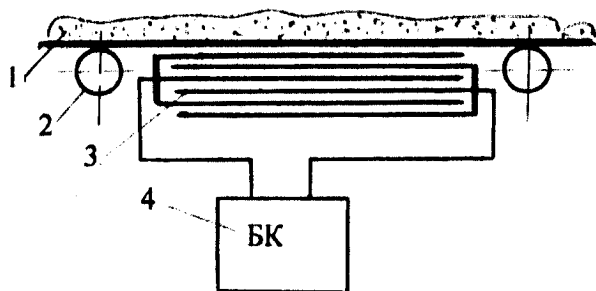


Рис. 11.19. Схема пристрою для контролю поздовжньої цілісності стрічки транспортера:  
 1 – стрічка транспортера; 2 – опорний ролик;  
 3 – стержні перетворювача; 4 – блок керування

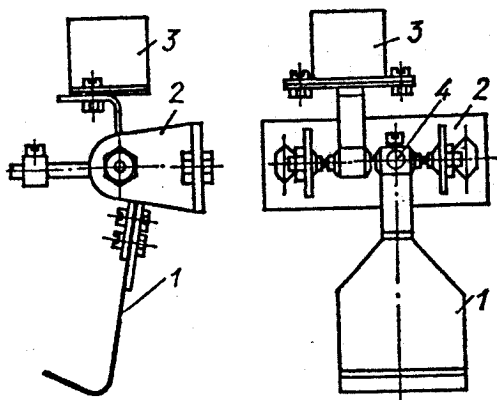


Рис. 11.20. Конструкція важільного електромеханічного пристрою для контролю наявності матеріалу на стрічці транспортера:  
 1 – важіль; 2 – шарнір; 3 – блок керування

Для непрямого контролю використовують радіаційні і ємнісні перетворювачі. Робота радіаційних перетворювачів ґрунтується на поглинанні потоку  $\gamma$ -променів матеріалом, що проходить між джерелом і приймачем випромінювання. Принцип роботи ємнісних перетворювачів ґрунтується на зміні ємності за рахунок зміни діелектричної проникливості матеріалу, відмінної від проникливості повітря. Як перетворювачі використовують антени або пластини, розташовані під або над транспортерною стрічкою.

Структурна схема такого пристрою зображена на рис. 11.21. Він складається із двох пластин 3, розташованих під транспортерною стрічкою 1, між опорними роликami 2 і приєднаних до автогенератора 4, сигнал з якого підсилюється і подається в блок виконавчих реле БК. Під час надходження на стрічку матеріалу змінюється ємність пластин, у результаті чого порушуються умови самозбудження автогенератора і відбувається зрив коливань. Це призводить до збільшення постійної складової струму підсилювача і ввімкнення блока виконавчих реле, що подають сигнал про наявність матеріалу на стрічці і, за необхідності, перемикають необхідні кола керування.

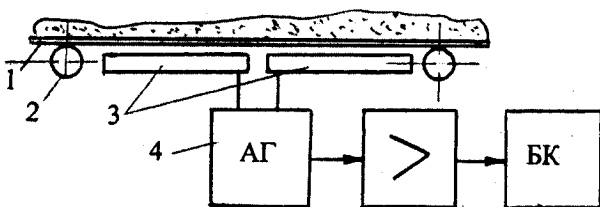


Рис. 11.21. Схема пристрою для контролю наявності матеріалу на стрічці транспортера з ємнісним перетворювачем

Часто на стрічку транспортера потрапляють сторонні предмети, які можуть впливати на технологічний процес і якість продукції. Металеві предмети, що потрапляють на стрічку транспортера, часто є причиною поламаць дробарок, конвеєрів та інших механізмів. У будівельному виробництві потрапляння

сторонніх предметів на стрічку транспортного засобу істотно не впливає на технологічний процес, і здебільшого його не обладнують пристроями для видалення металевих предметів, оскільки це значно ускладнює систему контролю і керування.

## **11.5. Вимірювання і контроль механічних коливань та вібрацій**

У будівництві є багато різноманітних технологічних процесів, що супроводжуються механічними коливаннями і вібраціями. Коливання необхідні в роботі різних сит, устав ударної технології, щелепових дробарок тощо. Вібрації – це також коливання, але з великою частотою і малою амплітудою. Вони виникають під час роботи млинів, дробарок, компресорів, пресів, а також використовуються в багатьох технологічних процесах (ущільнення бетонної суміші, вібропресування, занурення паль, віброштампування, вібровакуумування тощо).

Колівання і вібрації в технологічних процесах необхідно вимірювати і контролювати, а результати використовувати в системах керування і регулювання. Здебільшого необхідно вимірювати амплітуду і частоту коливань та вібрацій для використання в розрахунках різноманітних заходів, які захищають споруди від руйнування. Вібрації шкідливо впливають на здоров'я людей і довкілля, тому за ними необхідно постійно спостерігати, контролювати їх і вживати заходів для усунення їхнього впливу.

Для контролю виробничих процесів, які супроводжуються виникненням або зміною вібрацій, використовують перетворювачі, що реагують на вібрації технологічного обладнання. За допомогою чутливого елемента механічна енергія віброуючої деталі перетворюється в електричний сигнал, який після підсилення приводить у дію пристрій, що включає кола сигналізації та керування (рис. 11.22).

Чутливим елементом перетворювача є кісточковий телефон. Мембрана телефона через дно корпусу жорстко сполучена з предметом, вібрації якого контролюються, в результаті чого повітряний проміжок

між нею і осердям котушки телефону змінюється (рис. 11.23). Ця зміна приводить до збільшення або зменшення величини магнітного потоку постійних магнітів, у результаті чого в котушці виникає ЕРС, пропорційна до величини і швидкості зміни магнітного потоку. Наведена ЕРС подається на вхід трикаскадного підсилювача з електромагнітним реле на виході. За появи вібрації електромагнітне реле спрацьовує і вмикає кола сигналізації і автоматизації.

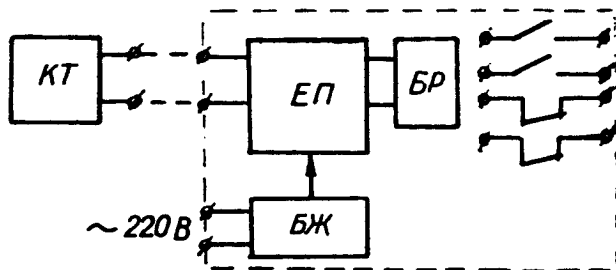


Рис. 11.22. Структурна схема пристрою для контролю вібрації типу ДВ-1А:  
 КТ – кісточковий телефон; ЕП – електронний підсилювач;  
 БЖ – блок живлення; БР – блок реле

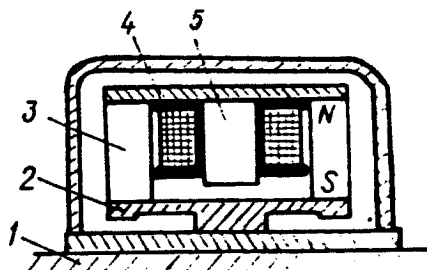


Рис. 11.23. Кісточковий телефон пристрою для контролю вібрації:  
 1 – об'єкт; 2 – мембрана; 3 – постійний магніт; 4 – котушка; 5 – осердя

Підсилювач перетворювача з вихідним реле змонтовано в окремому корпусі, і його можна встановлювати на віддалі 30–40 м від чутливого елемента, в зручному для обслуговування місці.

Для вимірювання і реєстрування вібрації технологічного обладнання використовують комплект приладів К001, розрахований

на роботу із світлопроменевими осцилографами типу Н700, Н004 або подібними (рис. 11.24).

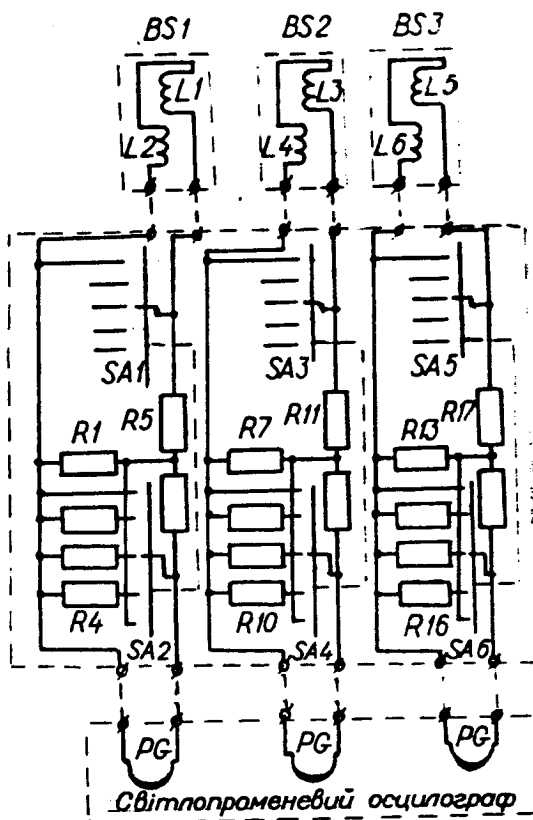


Рис. 11.24. Принципова електрична схема приладу для вимірювання вібрацій

В комплект приладів входять три перетворювачі І001 (два горизонтальні та один вертикальний), інтегруючі гальванометри М002 і регулятор збільшення Р003. Ці прилади дають змогу вимірювати вібрації з частотою від 3 до 200 Гц з максимальною амплітудою  $\pm 1,0$  мм.

Для перетворення механічних коливань в електричні у комплекті приладів використовують перетворювачі сейсмічного типу BS1...BS3.

За встановлення перетворювача на віброуючий предмет виробляється ЕРС, що пропорційна до швидкості (тобто до першої похідної) вібропереміщень. З перетворювача напруга подається через регулятор збільшення на інтегрувальний гальванометр РГ.

Регулятор збільшення використовують для одержання різних коефіцієнтів збільшення запису амплітуд вібрацій. Для цього в його схемі передбачено перемикачі SA1...SA6, за допомогою яких до кола гальванометрів приєднують подільники напруги, що складаються із двох опорів. Усього передбачено чотири коефіцієнти збільшення (положення перемикача 2, 3, 4, 5). У положенні перемикача 1 кола перетворювача і гальванометра будуть закорочені.

Інтегруючі гальванометри є рамковими гальванометрами магнітоелектричної системи. Під час подавання на вхід гальванометра напруги з перетворювача, пропорційної до швидкості переміщення, рамка гальванометра відхилятиметься. До рамки прикріплене мініатюрне дзеркальце, промінь з якого потрапляє на фотопапір або фотоплівку світлопроменевого осцилографа. Амплітуда запису буде пропорційна до вібропереміщення. Частоту коливань визначають за швидкістю руху фотопаперу (рис. 11.25).

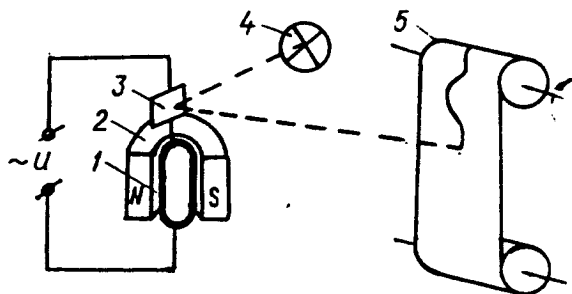
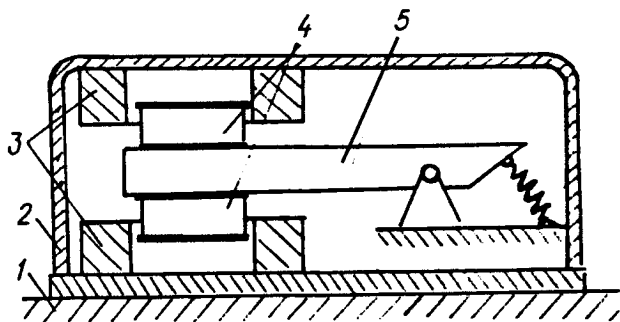


Рис. 11.25. Схема роботи магнітоелектричного осцилографа:  
 1 – рамкова котушка; 2 – постійний магніт; 3 – дзеркальце;  
 4 – електрична лампочка; 5 – діаграмна стрічка  
 із стрічкопротяжним механізмом

Конструкція перетворювача сейсмічного типу зображена на рис. 11.26. На кінці коромисла укріплено дві циліндричні котушки,

кожна із яких знаходиться у своїй магнітній системі, що складається із магнітопроводу і постійного магніту з полюсними наконечниками. Під час коливання балансира, а разом із ним і котушок, у них наводиться ЕРС, що подається на гальванометр.



*Рис. 11.26. Конструктивна схема віброперетворювача:  
1 – контрольована поверхня; 2 – корпус; 3 – постійні магніти;  
4 – котушки; 5 – коромисло*

Таку саму конструкцію і принцип роботи мають перетворювачі вібрацій, призначені для вимірювання і реєстрації за допомогою світлопроменевого осцилографа вібрацій споруд або ґрунту, на якому встановлено прилад. За його допомогою можна реєструвати коливання з амплітудою до 10 мм. Прилад допускає встановлення у вертикальному, горизонтальному і будь-якому нахиленому положенні.

Принцип дії віброперетворювача ґрунтується на тому, що за вібрації основи приладу виникає взаємне переміщення магнітної системи і котушки, в результаті чого в котушці наводиться ЕРС, пропорційна до швидкості переміщення основи приладу (рис. 11.27). Магнітна система приладу складається із постійного магніту і магнітопроводу із магнітом'якої сталі. У триміліметровому повітряному проміжку магнітної системи переміщається плитка котушка. Орієнтування приладу в просторі задають встановленням його корпусу.

Для вимірювання вібрацій широко застосовують п'єзоелектричні перетворювачі, принцип роботи яких ґрунтується на перетворенні меха-



нічної енергії в електричну відповідно до п'єзоелектричного ефекту. Конструкція п'єзоелектричного перетворювача вібрацій показана на рис. 11.28.

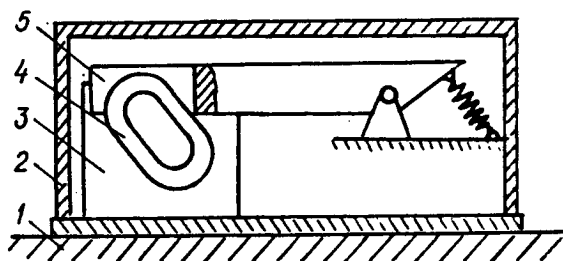


Рис. 11.27. Конструкція перетворювача сейсмічного типу:  
1 – об'єкт; 2 – корпус перетворювача; 3 – магнітопровід;  
4 – котушка; 5 – коромисло

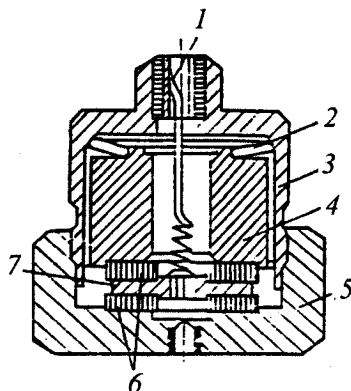


Рис. 11.28. Конструкція п'єзоелектричного віброперетворювача:  
1 – струмовий вивід; 2 – пружина; 3 – корпус; 4 – інерційний елемент;  
5 – основа корпусу; 6 – п'єзоелектричні шайби; 7 – електрод

Під час вимірювань інерційний елемент діє на п'єзоелектричні шайби, на яких виникає напруга, пропорційна до частоти і амплітуди контрольованих коливань. Ця напруга вимірюється осцилографами або спеціальними приладами.

## Розділ 12

# ЗАСТОСУВАННЯ мікроЕОМ І МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ ТЕХНІКИ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ І КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

### 12.1. Загальні положення та класифікація систем

Перехід на якісно новий рівень вимірювань став можливим із використанням мікропроцесорної техніки та мікроЕОМ. Орієнтація на їхнє використання істотно підвищує мобільність технологічних процесів, мобільність під час переходу на нові вироби, забезпечує єдність інформаційної системи, універсальність алгоритмів і моделей управління, надійність і високу ефективність виробництва. Вимірювальні пристрої на базі мікропроцесорної техніки і мікроЕОМ об'єднують у вимірювальні системи багато приладів і перетворювачів, кожний з яких виконує порівняно прості завдання. При цьому вони є не просто сумою незалежних приладів, а об'єднанням взаємопов'язаних приладів, які разом виконують складні функції. Для системи характерне автоматичне виконання усіх функцій, починаючи від збирання інформації і закінчуючи її відображенням або введенням в ЕОМ.

Вимірювальні системи – це різновид систем ширшого класу, що одержали загальну назву і н ф о р м а ц і й н и х с и с т е м. Такі системи розв'язують завдання, пов'язані із збиранням, опрацюванням, передаванням, зберіганням, пошуком і видаван-

ням різноманітної інформації людині. Ті із інформаційних систем, які призначені для одержання і опрацювання вимірювальної інформації, одержали назву вимірювальних інформаційних систем (ВІС або ІВС).

Згідно із стандартом інформаційно-вимірювальна система – це сукупність функціонально об'єднаних вимірювальних, обчислювальних та інших допоміжних технічних засобів для одержання вимірювальної інформації, її перетворення і опрацювання з метою подання споживачеві у потрібному вигляді або автоматичного здійснення функції контролю, діагностування й ідентифікації.

ВІС збирають інформацію на об'єкті, опрацюють її і передають на віддаль. Далі інформація про значення вимірних величин або про результати їхнього опрацювання використовується у темпі її одержання для оперативного управління об'єктом або накопичується з метою подальшого формування потрібних характеристик об'єктів, зведених статистичних даних тощо. Але в тих випадках, коли інформація не використовується для оперативних дій в темпі її одержання, кінцева мета її збирання полягає в тому, щоб сприяти активній діяльності людини.

Якщо ВІС подає вимірювальну інформацію людині, то її необхідно виражати у формі, що сприймається органами чуття людини. Візуальне відтворення можливе в аналоговій або цифровій формах за допомогою показуючих або реєструючих приладів. Показуючі прилади використовують тоді, коли інформація використовується людиною безпосередньо в момент її одержання. Реєструючі прилади використовують тоді, коли інформацію призначено для зберігання і подальшого використання. Реєструючі прилади за аналогового відтворення видають, як правило, двокоординатні криві (за однією координатою – час, за другою – вимірювану величину), за цифрового відтворення – таблиці, в яких кожному дискретному значенню вимірюваної величини відповідає значення часу.

Якщо інформація надходить у регулюючі або керуючі пристрої чи в ЕОМ або в пристрої довготривалого зберігання, то її подають на виході ВІС у вигляді електричних сигналів – аналогових або цифрових, при цьому ті дані, які призначено не для оперативного вико-

ристання, вносяться і запам'ятовуються разом із координатами часу, що вводять у пристрій зберігання у вигляді цифрових електричних сигналів.

Існує декілька різновидів ВІС.

Вимірювальні системи. Їхня функція полягає в одержанні кількісної інформації про значення фізичних величин методом прямих і непрямих (опосередкованих, сукупних та сумісних) вимірювань.

Системи автоматичного контролю. Їхня функція полягає у встановленні відповідності між станом об'єкта і заданою нормою та виробленні суджень про даний або (і) майбутній стан об'єкта. За допомогою таких систем вимірюються фізичні величини, що характеризують стан об'єкта, і результати вимірювань порівнюються із значеннями, прийнятими за норму. При цьому проміжні результати вимірювань, що використовуються для вироблення суджень, можуть і не надходити на вхід системи. Для вироблення суджень про майбутній стан об'єкта система контролю повинна виконувати прогнозування на основі даних про попередній стан об'єкта, одержаних у ході вимірювань, а також на основі його динамічних характеристик, відомих завдяки проведеним раніше дослідженням.

Системи технічного діагностування. Їх функції полягають у контролі стану різних технічних пристроїв, зокрема пристроїв автоматики, обчислювальної техніки, радіотехніки, в знаходженні їхніх відмовлень і визначенні несправності елементів.

Системи розпізнавання образів. Їхні функції полягають у визначенні відповідності між досліджуваним об'єктом і заданим образом. Образами можуть бути "людина", "літера", "цифра" "нормальний стан об'єкта контролю" тощо.

ВІС може функціонувати самостійно і може входити до складнішої інформаційної системи, що збирає і опрацьовує не тільки вимірювальну, але й іншу інформацію, або до керуючої системи, яка здійснює керівну дію на об'єкт.

У вимірювально-інформаційних системах застосовуються усі ті вимірювальні перетворювачі та прилади, розглянуті в попередніх розділах посібника. Для ВІС їх доповнюють додатковими перетво-

рювачами для роботи із мікропроцесорною технікою. Особливо потрібно вирізнити аналогово-цифрові перетворювачі (АЦП) і цифро-аналогові перетворювачі (ЦАП). Без елементів цифрової техніки неможливо організувати ВІС у сучасному їхньому вигляді і різноманітності, хоча в найпростішому варіанті й можлива побудова ВІС із одних тільки аналогових приладів.

Додатково до розглянутих приладів у ВІС використовують багато специфічних блоків, приладів і пристроїв:

- комутатори (пристрої оббігання);
- уніфікуючі (нормувальні) перетворювачі – індивідуальні або групові;
- модуляційні перетворювачі;
- перетворювачі кодів (із однієї системи числення в іншу, із паралельної форми подання в послідовну, і навпаки, тощо);
- блоки формування і перевірки завадостійкості кодів;
- пристрої опрацювання інформації (коригування нелінійності, масштабування, знаходження відхилень від уставок тощо);
- пристрої сигналізації відхилень вимірюваних величин від уставок;
- пристрої буквено-цифрової реєстрації;
- блоки кодування часу;
- екранні пульти (дисплеї);
- канали зв'язку, точніше – сукупність технічних засобів, що утворюють канали зв'язку.

На рис. 12.1 показано структурну схему вимірювального каналу ВІС. Первинний перетворювач (ПП) інформацію про стан об'єкта перетворює в електричний сигнал і подає його в уніфікуючий вимірювальний перетворювач (УВП), де відбувається масштабування, лінеаризація, перетворення потужності тощо сигналу. Через ключовий елемент керованого комутатора (Кл) сигнал надходить на аналогово-цифровий перетворювач (АЦП), де перетворюється в цифровий сигнал, і через канал зв'язку (КЗ) і перетворювач кодів (ПК) подається на керуючу ЕОМ.

Структура вимірювального каналу ВІС, що реалізує метод прямих вимірювань, показана без окремих блоків і зв'язків, що

керують її роботою. Вона є типовою, і на її основі побудована більшість багатоканальних ВІС.

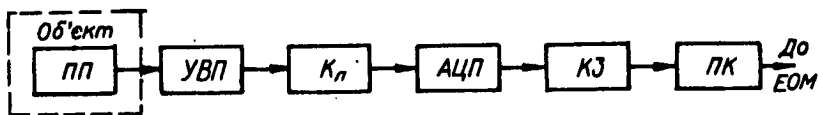


Рис. 12.1. Структурна схема вимірювального каналу

Узагальнену структурну схему багатоканальної автоматизованої ВІС показано на рис. 12.2. Робота схеми полягає ось у чому. Вимірювальна інформація від об'єкта, подана у вигляді фізичних величин  $X_1, X_2, X_3 \dots X_n$ , перетворюється у відповідних перетворювачах ПП та УВП і за допомогою системного комутатора  $K_m$  подається на вхід АЦП, а потім надходить у канал зв'язку КЗ. З виходу КЗ вимірювальна інформація у вигляді деякого коду надходить на вхід обчислювального пристрою ОП, де відбувається її опрацювання. Обчислювальний пристрій здійснює безперервний обмін інформацією з банком даних БД, в якому знаходяться задані норми, коефіцієнти, зберігається оперативна інформація тощо. Результати опрацювання надходять одночасно або по чергово на засоби відображення цифрової інформації ЗВІ, в керуючу ЕОМ (КЕОМ) або безпосередньо на виконавчі механізми, які регулюють стан об'єктів. За необхідності аналогового подання вимірювальної інформації остання із виходу КЗ подається на цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП), а потім на ЗВІ (графопобудовувач, електронно-променеву трубку тощо).

Програмне керування системою (властиво  $K_m$ , АЦП і ЗВІ) здійснюється або обчислювальним пристроєм, або автономним блоком керування з пульта оператора.

Наведена структура ВІС є однією із найрозповсюдженіших. Але залежно від призначення і вимог, які ставляться до вимірювальної системи, може бути реалізовано ще декілька типових структур багатоканальних ВІС.

Багатоканальні ВІС є найпоширенішими. Це пояснюється тим, що стан технологічних об'єктів визначається не одним, а декількома параметрами, які необхідно не тільки вимірювати, але й сумісно

опрацювати. Тому створення декількох одноканалних ВІС, що мають однакові функціональні блоки із послідовним опрацюванням результатів їхнього вимірювання на автономних універсальних ЕОМ, неефективне.

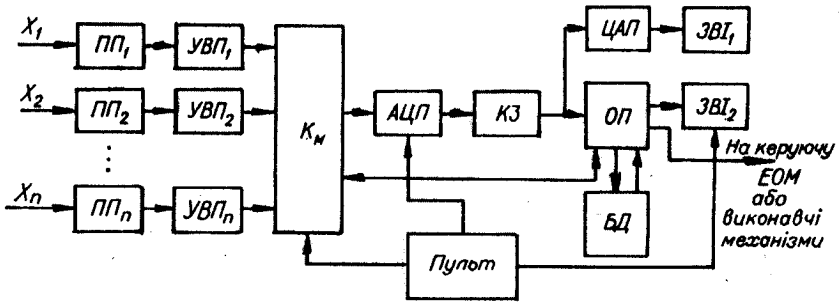


Рис. 12.2. Узагальнена структурна схема багатоканальної ВІС

Сучасний об'єкт дослідження можна уявити у вигляді розподіленого в просторі інформаційного поля. Для оцінки стану об'єкта оперативну інформацію необхідно одержати із декількох джерел інформації (точки  $a_i$ ) інформаційного поля  $\{a_i\}$  (рис. 12.3).

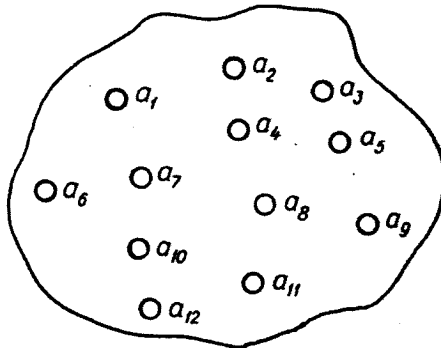


Рис. 12.3. Узагальнена модель інформаційного поля

Існує декілька способів одержання інформації від розподілених об'єктів. Один із способів передбачає наявність одного пере-

творювача, який переміщенням в просторі (скануванням) дає змогу одержувати інформацію від всіх джерел  $a_i$  інформаційного поля об'єкта. Цей спосіб використовується лише в тому випадку, коли фізичні величини, що характеризують його стан, є однорідними (наприклад, вимірювання температури у вертикальній пропарювальній камері або дослідження міцності конструкції).

Другий спосіб полягає в тому, що в усіх точках  $a_i$  розташовуються відповідні первинні перетворювачі, а інформацію одержують методом послідовного або одночасного їх опитування.

Цей спосіб одержання інформації використовується в тому випадку, коли необхідно вимірювати різнойменні фізичні величини, які містять інформацію про стан об'єкта (наприклад, температуру, переміщення, вологість, міцність тощо).

Отже, за способом одержання інформації від об'єкта багатоканальні ВІС можна об'єднати у дві групи:

1. ВІС послідовної дії.
2. ВІС паралельної дії.

ВІС виконують важливу функцію у технологічних вимірюваннях, тому пізніше розглядатимемо їх детальніше.

## 12.2. Вимірювальні комутатори

Сучасні ВІС здійснюють вимірювання великої кількості фізичних величин. Відбір інформації при цьому здійснюється періодичним під'єднанням на певний час перетворювачів вимірювальної інформації до входу АЦП або каналу зв'язку. Пристрій, який перетворює просторово розділені аналогові сигнали в сигнали, що розділені в часі, і навпаки, називають комутатором сигналів.

Крім часового розділення каналів, комутатори використовуються в ВІС для підключення вихідних сигналів у певній послідовності до пристроїв подання інформації для розподілення сигналів, що містять службову інформацію, для формування складних сигналів спеціальної форми тощо.



У зв'язку з тим, що комутатор, будучи елементом вимірювальної системи, являє собою вимірювальний перетворювач, параметри якого визначають параметри всієї системи загалом, то метрологічні характеристики комутаторів, що використовуються у ВІС, нормуються. Комутатори з нормованими метрологічними характеристиками одержали назву вимірювальних комутаторів.

Загалом вимірювальний комутатор являє собою сукупність ключових елементів різної конструкції та принципу дії, що керуються різними пристроями керування. Комутатори розрізняють за точністю, швидкодією, рівнем комутуючих сигналів, кількістю каналів тощо.

За точністю вимірювальні комутатори поділяють на низькоточні (з похибкою  $\gamma > 1\%$ ), середньої точності ( $\gamma = 1-0,05\%$ ) і високоточні ( $\gamma < 0,05\%$ ).

Аналогічно за швидкодією комутатори виконують із малою швидкодією (час перемикання  $T_{\text{п}} > 0,1$  мс), із середньою швидкодією ( $0,1$  мс  $> T_{\text{п}} > 1,0$  мкс) і швидкодіючі ( $T_{\text{п}} < 1,0$  мкс).

За чисельністю комутуваних каналів вимірювальні комутатори поділяють на малоканальні ( $m < 10$ ), середньоканальні ( $100 > m > 10$ ) і багатоканальні ( $m > 100$ ).

Похибка вимірювального комутатора є дуже важливим метрологічним параметром, що визначає не тільки придатність комутатора для перетворення сигналів різних рівнів, але і складність його виготовлення. Результуюча похибка комутатора визначається похибкою кожного ключового елемента, а також їхнім взаємовпливом.

Ключовий елемент вимірювального комутатора – це контактне або безконтактне реле (ключ), увімкнуте в те чи інше електричне коло, яке утворює чотириполюсник.

Існують два способи увімкнення ключа в коло чотириполюсника: послідовний, коли ключ під'єднується послідовно до джерела комутуючої напруги, і паралельний, коли ключ під'єднується паралельно до джерела напруги, шунтуючи його в замкнутому стані.

За видом комутуючих елементів комутатори поділяють на дві групи: контактні (механічні, електромеханічні) та безконтактні (електронні).

У контактних комутаторах перемикання здійснюється механічними контактами. Вони керуються спеціальним приводом і уможливають опитувати 50–60 вимірювальних каналів із швидкістю, що досягає 500 каналів за секунду. Механічні комутатори відрізняються низьким перехідним опором контактів у замкнутому стані (0,02–0,2 Ом) і високим опором, що визначається опором ізоляційного матеріалу в розімкнутому стані. Однак їхнє використання дає змогу здійснювати тільки послідовне опитування каналів і не дає можливості змінювати програму опитування в ході вимірювань. Зараз такі комутатори майже не використовуються через низьку швидкодію та механічне зношування контактів.

Гнучкішими у функціональному розумінні є електромеханічні комутатори, які виконуються на електромеханічних реле, що керуються електронними схемами. Найбільше розповсюдження одержали магнітокеровані контакти – геркони.

В безконтактних вимірювальних комутаторах підключення того або іншого джерела вимірювальної інформації здійснюється зміною електричної провідності керованих електронних елементів (транзисторів, діодів тощо).

У кожному конкретному випадку може використовуватися будь-який із наведених вище комутаторів. Однак найбільше практичне використання в багатоканальних ВІС одержали так звані системні вимірювальні комутатори.

Основну роль у роботі системного комутатора виконує блок керування, який складається із генератора тактових імпульсів і розподільвача імпульсів, виходи якого пов'язані з ключовими елементами. Як генератор тактових імпульсів використовують генератор синусоїдальних коливань із формувачем, генератор релаксаційних коливань тощо. Як розподільвач імпульсів може бути використано будь-яку електронну схему, яка забезпечує або послідовне перемикання ключів комутатора, або перемикання їх за програмою. Часто розподільвач імпульсів виконується у вигляді зсуваючого регістра. У молодший розряд регістра записується "1", яка з кожним тактом послідовно зсувається в бік старших розрядів, виключаючи спрацювання відповідних ключів.

Частота, послідовність і тривалість часу підключення перетворювачів, тобто програма опитування каналів, залежить від багатьох чинників. Переважно, ці характеристики програми опитування каналів закладено у базі попереднього вивчення комутованих сигналів. Ознаками, за якими визначаються необхідність і тривалість підключення кожного перетворювача, можуть бути рівень або знак сигналу, швидкість його зміни або пріоритет.

### 12.3. Скануючі ВІС

Під час дослідження однорідних інформаційних полів використовують одноканальні ВІС, перетворювачі яких переміщуються в просторі і дають можливість одержувати інформацію із різних точок досліджуваного інформаційного поля. Такі вимірювальні системи одержали назву **с к а н у ю ч и х**.

Використання скануючих ВІС дає можливість визначити значення параметрів у будь-якій точці інформаційного поля; значення, розташування, форму екстремумів параметра інформаційного поля; ліній і площ з однаковими значеннями параметрів; віддаль до будь-якої точки інформаційного поля.

Основним елементом, що визначає конструктивну особливість системи, є скануючий перетворювач, у якому реалізується один із способів сканування. За видом взаємодії перетворювача з інформаційним полем розрізняють контактні та безконтактні способи сканування.

Контактні способи сканування передбачають дотикання перетворювача до об'єкта під час вимірювань. Ці способи мають високу точність, просту реалізацію, але невисоку надійність, і не завжди фізично реалізуються. В такий спосіб вимірюють, наприклад, температуру і вологість всередині об'єму сипких матеріалів.

Безконтактні способи сканування дають змогу одержати інформацію без механічного дотикання перетворювача до об'єкта.

Залежно від виду обміну енергією між об'єктом і ВІС способи сканування поділяють на активні і пасивні. Активні способи перед-

бачають деяку дію (внесення енергії) на об'єкт. Про стан об'єкта міркують, спостерігаючи за його реакцією на цю дію. Наприклад, вимірювання параметрів об'єкта за допомогою вихрострумкових перетворювачів, магнітного поля тощо (глибини залягання арматури).

Пасивні способи сканування ґрунтуються на використанні енергії об'єкта. До них зараховують вимірювання температури нагрітих тіл, вимірювання поверхневих зарядів, вимірювання магнітних полів тощо. Пасивні способи сканування дещо простіші, оскільки під час їх використання необхідно здійснити лише сканування перетворювача. Однак активні способи сканування дають змогу одержувати більшу точність і чутливість.

За реалізації сканування можливі два способи приводу: електромеханічний і електронний. За електромеханічного сканування використовують електромеханічні елементи – лінійні і кутові електродвигуни, що керуються електричними сигналами. За електронного сканування суто електронними способами здійснюють переміщення електронних, світлових і електромагнітних пучків енергії у просторі.

До приводу скануючих ВІС, як і до всіх елементів системи, ставляться жорсткі вимоги щодо забезпечення мінімальної похибки, відсутності механічного гістерезису і повторюваності характеристик. За рівної вартості приводів система електронного сканування за точністю і стабільністю поступається електромеханічній.

Залежно від траєкторії руху скануючі системи можна розподілити на дві групи: програмні та адаптивні. У першій групі траєкторія розгортання жорстко запрограмована і не змінюється за зміну рельєфу параметрів інформаційного поля. Адаптивне сканування використовують під час пошуку екстремумів параметрів інформаційного поля, знаходження точки, лінії або площі із заданими значеннями параметрів, а також під час слідкування за положенням на інформаційному полі групи параметрів із заданими значеннями.

Адаптивне сканування широко застосовують для зчитування графіків, для введення їх у ЕОМ, для знаходження і слідкування за положенням об'єкта в просторі, для знаходження форми ділянок із екстремальними значеннями параметрів, для дефектоскопії тощо.

Скануючі ВІС можуть бути виконані точковими або матричними. У першому випадку вони мають перетворювач, який вимірює аналоговий сигнал в межах однієї елементарної площинки і який переміщається полем, скануючи його площинка за площинкою. У другому випадку є декілька перетворювачів, розташованих у вигляді прямокутної матриці, які дають одночасну групу відліків. Такі ВІС мають велику швидкодію, але вимагають паралельного опрацювання інформації або швидкодіючих комутаційних елементів для послідовного опитування.

Матричні перетворювачі використовуються разом із точковими для найшвидшого знаходження екстремальних значень параметрів інформаційного поля. Для того ж усі перетворювачі матриці паралельно під'єднуються до входу вимірювального каналу, і починається сканування матрицею. Вимірювальний канал налагоджується на деякий заданий рівень вимірюваних параметрів. У момент потрапляння точки або групи точок інформаційного поля, значення параметрів яких перевищують заданий рівень в зоні дії матричного перетворювача, останній припиняє свою роботу, а зону знаходження починає досліджувати точковий перетворювач.

Для прикладу розглянемо контроль якості виробів і матеріалів тепловим неруйнівним методом. При цьому джерелом інформації про якість виробів є температурне поле їхньої поверхні. Найбільше розповсюдження для такого контролю одержали тепловізори.

**Т е п л о в і з о р и** – це оптико-електронні скануючі ВІС, призначені для візуального дослідження температурних полів поверхні об'єкта і якісної оцінки температур. У таких приладах використовується оптико-механічне або фотоелектричне сканування. Оптико-механічні скануючі пристрої точніші та використовуються для переміщення зображень, сформованих оптичною системою, в площині чутливої площинки приймача випромінювання. Як скануючі пристрої використовуються обертові дзеркала, дзеркальні барабани, призми тощо.

На рис. 12.4 зображено структурну схему моделі тепловізора із обертовими призмами. Лінзовий об'єктив 1, розташований безпосередньо біля об'єкта вимірювань, виконаний із полікристалічного кремнію – матеріалу, прозорого в інфрачервоній області

спектра. Скануюча система має дві призми 2 – кадрової та рядкової розгортки, що приводяться в рух двигунами 5 і 6, які керуються синхроімпульсами. Перейшовши систему сканування, тепловий потік через лінзи 3 і 4 та модулятор 7 потрапляє на приймач випромінювання 8, вихідний сигнал якого через підсилювач 9 надходить на відеоконтрольний пристрій ВКП. Система використовується в переносному варіанті і має камеру, ВКП і автономне джерело живлення.

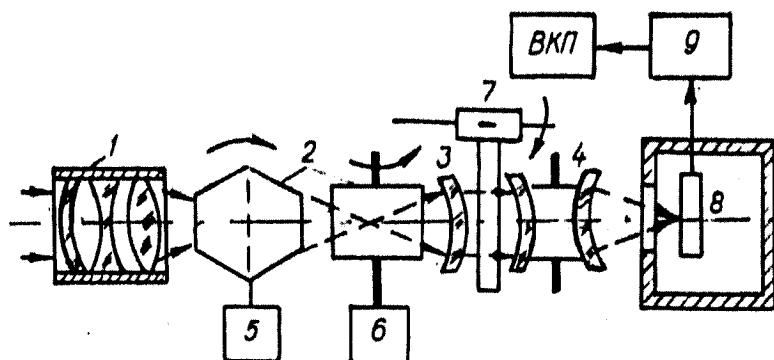


Рис. 12.4. Структурна схема тепловізора

Широко застосовують скануючі ВІС для введення зображень в ЕОМ. В такий спосіб можна вводити графіки, креслення, малюнки тощо.

## 12.4. Багатоточкові ВІС

За послідовного збирання інформації про стан об'єкта, який характеризується різними фізичними величинами, широко використовують інформаційно-вимірвальні системи, що одержали назву багатоточкових, або мультиплексорних. Первинні вимірвальні перетворювачі ПП такої системи розташовуються в кожній досліджуваній

точці інформаційного поля, і дані від них послідовно в часі надходять у вимірювальний канал ВК, де вони перетворюються, вимірюються, обробляються, відображаються і, якщо потрібно, запам'ятовуються. Під'єднання ПП до ВК здійснюється за допомогою системних комутаторів (мультиплексорів).

Здебільшого багатоточкові ВІС використовують один вимірювальний канал, у якому і відбувається опрацювання інформації. При цьому на виході ВК можуть бути включені різноманітні системи відображення інформації (СВІ), призначені для відображення або реєстрації різних вимірювальних та контрольованих параметрів.

У деяких системах за наявності груп перетворювачів із різними вихідними параметрами, коли використання індивідуальних чи групових універсальних вимірювальних перетворювачів (УнВП) дуже дороге, застосовують декілька вимірювальних каналів, виходи яких комутують відповідно до адреси опитуваного перетворювача. Вибір співвідношення між кількістю вимірювальних каналів і УнВП вимагає детального аналізу і є багатопараметровою задачею, бо поряд із апаратурними затратами фігуруватимуть метрологічні параметри і параметри надійності.

Залежно від кількості фізичних величин, які підлягають вимірюванню, багатоточкові ВІС мають одно-, дво- і триступеневу системи комутаторів.

Одноступеневі комутатори використовують у ВІС, кількість первинних перетворювачів яких не перевищує 500. Під час вимірювання більше ніж 4000 фізичних параметрів використовують триступеневі комутатори.

За побудови описаних вище систем важливого значення набуває послідовність опитування точок інформаційного поля об'єкта. Існують циклічний, адресний та ініційований опит параметрів інформаційного поля. Найчастіше зустрічається циклічний опит, який використовується під час вимірювання величин, що змінюються повільно. Адресний опит здійснюють у тому випадку, коли поряд із повільно змінюваними величинами в об'єкті відбуваються швидко протікаючі процеси, параметри яких необхідно вимірювати в певні терміни, що змінюються в часі. Разом з цим змінний стан об'єкта також може вимагати вибіркового вимірювання і аналізу того чи

іншого параметра. В цьому разі оператор із свого пульта може викликати ту чи іншу точку інформаційного поля.

Ініційоване опитування одержало розповсюдження в зв'язку із використанням у ВІС ЕОМ і пристроїв інформаційного спряження. Залежно від важливості (значущості) вимірюваного параметра за запитом перетворювача здійснюється його вимірювання. Вибір найважливіших коефіцієнтів пов'язаний із ретельним аналізом об'єкта і впливом різних параметрів на технологічний процес. Усе це вимагає наявності математичної моделі об'єкта.

Багатоточкові ВІС є найхарактернішими для електровимірювальної техніки, їхні структурні схеми відрізняються лише використанням алгоритмічних методів вимірювання або введенням специфічних елементів та пристроїв.

## 12.5. Мультипліковані ВІС

У деяких випадках за обмеженої кількості вимірюваних параметрів (менше 20) замість багатоточкових вимірювальних систем використовують так звані мультипліковані ВІС. Вони являють собою сукупність одноканальних вимірювальних систем, об'єднаних загальною зразковою мірою і одним засобом відображення інформації.

Завдяки використанню в мультиплікованих ВІС принципу розгорнутого зрівноважування вдалося уникнути використання комутаційних елементів, що дало змогу, своєю чергою, одержати вищу точність і швидкодію, яка наближається до швидкодії одноканальних ВІС. Використання одного ЗВІ на всіх ВК значно знизило апаратні затрати. Структурну схему мультиплікованої ВІС показано на рис. 12.5.

У вказаних системах можливі три способи організації зрівноважування загальною зразковою мірою. Один із способів полягає в тому, що усі перетворювачі  $D_1 \dots D_n, D_{n+k} \dots D_m$  системи мають однаковий динамічний діапазон, і їхні вихідні сигнали протягом часу (рис. 12.6, а) одночасно порівнюються в пристроях порівняння ПрП із напругою  $U_{зв}(t)$ , що створюється зразковою мірою ЗМ. При цьому  $U_{зв}(t)$  може змінюватись як за лінійним (рис. 12.6, а), так і за



ступінчастим (рис. 12.6, б) законом в інтервалі від 0 до  $U_1$  – верхньої межі динамічного діапазону. Керування роботою ПрП, ЗМ і ЗВІ здійснює блок керування БК.

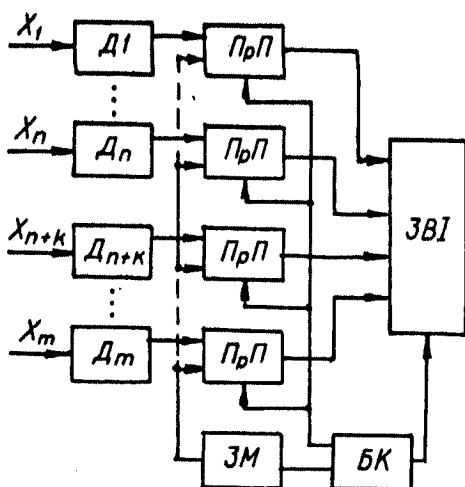


Рис. 12.5. Структурна схема мультиплексованої ВІС

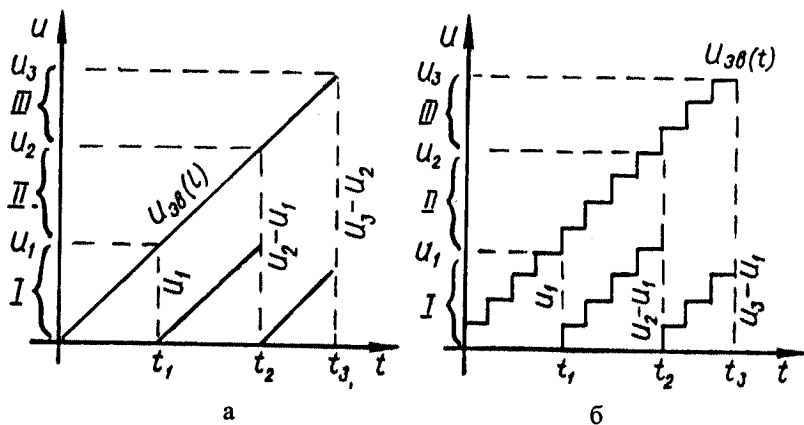


Рис. 12.6. Часові діаграми роботи мультиплексованої ВІС

Два інші способи передбачають розділення загальної кількості ВК на декілька груп і послідовне порівняння в ПрП тієї чи іншої групи вихідних сигналів із зразковою мірою.

Кожний вимірювальний канал всередині групи має однаковий динамічний діапазон, а динамічні діапазони груп можуть відрізнятися один від одного.

За реалізації двох останніх способів організації зрівноважування в мультиплікованих ВІС потрібні джерела з вищим рівнем зразкової напруги. Збільшення апаратних засобів, необхідних для реалізації вказаних способів, значно знижує їхню ефективність, тому вони використовуються тільки в тому разі, коли кількість вимірювальних каналів мультиплікованих ВІС не перевищує 5...8, або коли джерело зразкової напруги має високий внутрішній опір, що не дає змоги працювати з великою кількістю ПрП одночасно.

Відображення інформації на ЗВІ відбувається в момент рівності вимірюваного і зразкового сигналів. При цьому блок керування або спеціальна організація сумісної роботи схеми збігу і ЗВІ фіксує на останньому номер відповідного ВК.

Як було сказано раніше, зразкова величина може змінюватись за лінійним законом. У цьому разі в системі відбувається часово-імпульсне перетворення вимірюваних величин. Під час формування ступінчастого закону зміни зразкової величини результат вимірювання не важко одержати в цифровій формі. За рівності вимірюваних величин на різних ВК на засобі відображення інформації фіксуються номери усіх каналів. Цей режим роботи мультиплікованих ВІС являє собою найбільшу цікавість і широко використовується під час побудови контролюючих систем, а також під час знаходження точок інформаційного поля із рівними значеннями параметрів. В обидвох випадках зразкова міра фіксується на заданому рівні для окремих або усіх вимірювальних каналів системи.

За досягнення вимірюваною величиною вказаного рівня на ЗВІ відображаються номери каналів та відповідно координати точок інформаційного поля.

Доволі часто принципи мультиплікування використовують під час побудови багатоканальних графопобудовувачів.

Поряд із перевагами мультипліковані системи мають і деякі недоліки, які в підсумку обмежують їхнє використання. Раніше мультипліковані ВІС мали велику перевагу над багатоточковими. Із розвитком мікроелектроніки, створенням різноманітних елементів вимірювальної техніки в інтегральному виконанні (особливо, АЦП), значно зменшили розміри, масу, вартість і підвищили надійність вимірювальних каналів. Тому конкурентоспроможними порівняно із мультиплікованими ВІС тепер стали одноканальні вимірювальні системи, які використовують загальний засіб відображення інформації. Однак мультипліковані вимірювальні системи і прилади ще використовують у різних галузях народного господарства.

## 12.6. ВІС паралельної дії

Під багатоканальною ВІС паралельної дії розуміємо сумісне використання декількох вимірювальних пристроїв, засоби відображення інформації яких розташовуються на пульті оператора. Подібні системи широко застосовують на великих енергетичних, металургійних та хімічних підприємствах, у літаках, кораблях тощо. Однак наведене визначення умовне і не відображає істинного значення цієї ВІС.

Насправді виділені в окремий клас ВІС паралельної дії не що інше, як сукупність одноканальних автономних ВІС, кожна із яких вирішує свою окрему вимірювальну задачу, а результати їхнього вимірювання мають самостійне значення. Основна перевага таких систем – велика швидкодія (від одноканальних ВІС), а недолік – апаратний надлишок (ліквідується в багатоточкових ВІС).

Розвиток мікроелектроніки і засобів обчислювальної техніки спричинив створення багатопроекторних керуючих обчислювальних машин, що уможливають вирішувати одночасно декілька задач і здійснюють керування декількома об'єктами. Використання багатопроекторних ЕОМ у вимірювальній техніці зробило перший крок у створенні ВІС четвертого покоління – ВІС паралельної дії – багатопроекторних ВІС.

Багатопроцесорні ВІС дають можливість паралельно одержувати інформацію від усіх або частини точок інформаційного поля, одночасно її опрацьовувати і синтезувати один або декілька параметрів чи образів, що характеризують стан об'єкта. Багатопроцесорні ВІС використовують і для проведення непрямих, сумісних і сукупних вимірювань у реальному масштабі часу. Структурну схему ВІС паралельної дії показано на рис. 12.7.

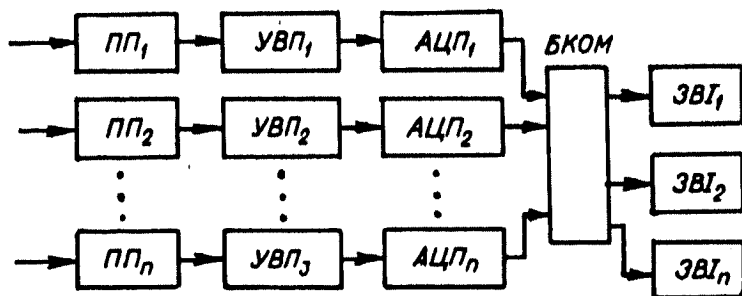


Рис. 12.7. Структурна схема ВІС паралельної дії

Інформація з різних точок інформаційного поля, перетворена за допомогою первинних перетворювачів ПП<sub>1</sub>–ПП<sub>n</sub>, уніфікованих вимірювальних перетворювачів УВП і аналого-цифрових перетворювачів АЦП<sub>1</sub> – АЦП<sub>n</sub> у відповідний код, одночасно подається на входи багатопроцесорної керуючої обчислювальної машини БКОМ, де відбувається одночасне її опрацювання. Результати опрацювання виводяться на один із ЗВІ, причому туди ж можуть виводитись не тільки основні параметри, але й результати проміжних обчислень.

Поряд із опрацьовуванням БКОМ здійснює одночасне і незалежне керування кожним вимірювальним каналом, реалізуючи той чи інший алгоритм керування.

Висока ефективність багатопроцесорних ВІС визначається:

- відсутністю комутаторів, які ускладнюють систему, зменшують її надійність, швидкодію і є джерелом додаткових похибок;
- великою швидкодією під час проведення таких складних видів вимірювань, як непрямі, сукупні та сумісні;

- можливість незалежного керування процесом одержання інформації одночасно кожним вимірювальним каналом;
- можливість сервісного обслуговування кожного вимірюваного каналу без переривання процесу вимірювання загалом.

Недоліком ВІС паралельної дії є наразі обмежена кількість одночасно розв'язуваних задач (вимірювальних) керуючою ЕОМ. Сьогодні створено КЕОМ, які мають декілька сотень входів.

На жаль, Україна відстає від передових країн у виробництві мікроЕОМ, тому для вимірювань використовують машини зарубіжних фірм (США, Японії, Німеччини) з великою швидкістю і обсягом пам'яті. Периферійне обладнання, що випускають в Україні, сумісне з цими машинами.

## 12.7. Стандарти цифрові інтерфейси

Під час побудови сучасних багатоканальних систем масового збирання вимірювальної інформації не достатньо мати потрібну кількість і номенклатуру функціональних блоків (ФБ), які мають задані метрологічні характеристики і швидкодію, конструктивно і електрично сумісні між собою. Необхідно також мати деякий набір правил, які уможливають упорядковувати обмін інформацією між окремими ФБ.

Великі швидкості відбору і опрацювання даних та їхній великий обсяг, змінні умови досліджень або випробувань, які пов'язані в деяких випадках із перебудовою ВІС, необхідність здійснювати обмін інформацією за ініціативою передавальної сторони вимагають переходу від жорсткого, програмного керування системою до гнучко переналагоджуваного в процесі функціонування, тобто виникла необхідність створення систем, що мають свої правила дії.

Сукупність вказаних правил організації потоків даних і взаємодія між ФБ у системі, а також технічних засобів спряження і керування одержали назву і н т е р ф е й с у.

Реалізація інтерфейсу здійснюється за допомогою блоків керування, які мають у своєму складі, як правило, керуючу мікро-

або мініЕОМ. При цьому керування системою збирання інформації можуть здійснювати як централізовано на найвищому рівні ієрархії за допомогою однієї ЕОМ, так і децентралізовано на нижніх рівнях розподіленням функції керування і опрацюванням інформації між багатьма процесорами.

Інший метод дає змогу значно підвищити швидкість системи за рахунок паралельного опрацювання інформації, зменшити кількість і довжину ліній зв'язку, спростити програмне забезпечення та підвищити надійність і стабільність системи. Отже, поряд із функціональними можливостями і технічними характеристиками вимірювальних перетворювачів важливого значення під час проектування ВІС набувають характеристики інтерфейсу.

Загальні вимоги до організації взаємодії засобів під час побудови ВІС визначають стандарти, які регламентують правила організації потоків даних, властивості ФБ, що визначають правила взаємодії, вид і призначення сигналів, які циркулюють у ВІС, а також формати повідомлень і вимоги до сумісності сигналів та повідомлень.

Основною структурною одиницею ВІС стандарти визначають ФБ, який залежно від складності ВІС, а також від ступеня перебування її структури, може представляти собою один або декілька об'єднаних конструктивно і взаємодіючих між собою вимірювальних перетворювачів. У деяких випадках як ФБ може виступати закінчений прилад, що являє собою закінчену товарну продукцію. Наприклад, як ФБ можуть бути представлені: сукупність аналогового перетворювача, уніфікуючого перетворювача і АЦП; один АЦП або операційний підсилювач; двокоординатний графопобудувач або запам'ятовувальний пристрій ЕОМ тощо.

Функціональні блоки інформаційно-вимірювальних систем залежно від їхнього призначення поділяють на:

- функціональні блоки-джерела (ФБ-Д), призначені для формування і видавання даних;
- функціональні блоки-приймачі (ФБ-П), призначені для приймання даних;
- функціональні блоки керування (ФБ-К) – контролери, призначені для формування команд керування, які організують обмін даними.

Деколи в одному ФБ можуть бути суміщені функції джерела і приймача інформації, наприклад, логер або оперативний запам'ятовуючий пристрій.

Деякі ФБ-Д, підготувавши дані для обміну, можуть виставляти на лінію зв'язку сигнал запиту на обслуговування. Такі ФБ-Д називають активними або ініціюючими.

ФБ-Д, які не формують сигналів запиту на обслуговування за наявності готових до видавання даних, називають пасивними. Однак як активні, так і пасивні ФБ, починають передавання лише за командами, які надходять від контролера.

Усі види інформації циркулюють між ФБ ВІС закінченими змістовними повідомленнями двома потоками: інформаційним і керуючим.

Повідомлення інформаційного потоку містять дані про значення вимірюваного параметра, діапазони вимірювання, час, якому необхідно приписати результат вимірювання, а також адресу ФБ з метою прив'язування одержаного результату до нового параметра або точки об'єкта дослідження.

Інформаційний потік може мати також повідомлення про результати контролю стану вимірювальних каналів, значення і види текстових впливів. Перелічені дані передаються тими самими лініями зв'язку, що й дані про значення вимірювальних параметрів.

Повідомлення керуючого потоку містять дані, що визначають режими роботи ФБ, порядок виконання або послідовність операцій у часі, запити на обслуговування і команди контролю стану вимірювальних каналів. Усі повідомлення керуючого потоку передаються в цифровій формі командними словами.

Інформаційні та керуючі повідомлення являють собою набір різноманітних сигналів, які для інформаційного потоку поділяють на: сигнал вимірюваного параметра; сигнал динамічного діапазону; сигнал ототожнення, який дає змогу визначити зміст сигналів вимірюваного параметра і динамічного діапазону, а також сигнал про недостовірні дані; сигнал стану ФБ; сигнал адреси ФБ; сигнал часу; сигнал, що використовується під час передавання службової інформації.

Крім інформаційних і керуючих сигналів, у ВІС використовують також допоміжні сигнали, основними із яких є: запит на обслуговування; сигнал неготовності приймача, який виставляється ФБ-П; сигнал часу, який використовується для часової прив'язки повідомлень.

Важливими характеристиками інтерфейсів є структура з'єднань функціональних блоків, режим і одиниця обміну даних. Указані характеристики визначають швидкодію, надійність, завадостійкість ВІС і затрати на інтерфейсне обслуговування.

Під час побудови ВІС широко використовують: радіальні з'єднання, коли ФБ-Д з'єднано одночасно із декількома ФБ-П і контролером окремої лінії зв'язку; магістральні з'єднання, коли всі ФБ паралельно під'єднано до однієї загальної лінії. Існує також ланцюгове з'єднання, за якого виходи попередніх ФБ підключено до входів наступних, але таку структуру з'єднання тепер практично не використовують під час побудови ВІС.

Радіальне з'єднання ФБ дає змогу доволі просто і швидко здійснити адресування і ототожнення потрібного ФБ і має високу надійність. Магістральне з'єднання використовує одну загальну колективну шину, що складається із декількох ліній зв'язку, до якої під'єднуються джерела і приймачі інформації.

Для зменшення недоліків, характерних для радіального і магістрального з'єднання ФБ, на практиці часто використовують комбіновану систему із індивідуальних і колективних шин. Для підвищення швидкодії під час адресування і ототожнювання використовуються індивідуальні лінії зв'язку, а для передавання даних – колективні шини (магістраль).

Під час обміну даними між функціональними блоками можливі такі режими передавання дискретних сигналів: синхронний і асинхронний.

Синхронний режим обміну характеризується постійним для всіх ФБ-Д інтервалом часу, протягом якого здійснюється обмін інформацією. При цьому можливі два випадки реалізації синхронного режиму обміну. У першому випадку ФБ-Д повинен у певний момент часу видати інформацію на шину даних, а ФБ-П, якому призначено інформацію, повинен до цього моменту вийти на



зв'язок. Після проходження заданого фіксованого проміжку часу інформація може бути знята.

У другому випадку момент виходу функціонального блока на зв'язок не закріплений в часі, а визначається стробуючим імпульсом, який уможлиблює обмін інформацією. Закінчення обміну відбувається за появи другого стробуючого імпульсу. Інтервал часу між стробуючими імпульсами є фіксованим і також, як і у попередньому випадку, його вибирають, враховуючи інерційні властивості найгіршого за швидкістю ФБ. Тому синхронний режим обміну даними використовують доволі рідко через низьку швидкість.

Більшу швидкість має асинхронний спосіб обміну, який полягає в тому, що виставлену на шинах даних інформацію підтримуватимуть незмінною до того часу, поки ФБ-П не просигналізує про прийняття даних. Це скорочує час обміну між швидкодійними ФБ.

Усі існуючі види інтерфейсів за їхніми функціональними можливостями можна розділити на три самостійні групи: машинні, системні та приладні.

Машинні інтерфейси використовують під час побудови ЕОМ і організують під'єднанням периферійних пристроїв до центрального процесора для опрацювання даних. Велика централізація дає змогу істотно знизити затрати на інтерфейсне обладнання.

Системні інтерфейси дають можливість із набору ФБ складати автономні вимірювальні системи, здатні самостійно функціонувати без зовнішньої керуючої ЕОМ.

Приладні інтерфейси, на відміну від машинних, характеризуються максимальною незалежністю від ЕОМ. Вони дають змогу об'єднувати в одну систему прилади, які можуть працювати автономно. Великі функціональні можливості приладів і розвинута інтерфейсна логіка уможливають складати системи без ЕОМ і навіть без спеціальних пристроїв керування.

Прикладом машинних інтерфейсів можуть бути *Unibus*, IBM 360/370, LSI-11. Приладні інтерфейси – це: HP-IB, IMS-1, IMS-2, RS-422, RS-423, MIL-1553B.

## 12.8. Сучасні ВІС деяких фірм розвинутих країн

У розвинутих країнах ВІС побудовані тільки на базі мікропроцесорної техніки та ЕОМ. До її складу входять удосконалені інтелектуальні первинні та уніфікуючі перетворювачі, комунікатор і/або персональний комп'ютер та вторинні вимірювальні прилади і регулятори. На схемах, що ілюструють роботу цих приладів та в рекламних проспектах фірм і компаній, первинні перетворювачі (чутливі елементи) називають сенсорами, а уніфікуючі перетворювачі – давачами. Використання інтелектуальних перетворювачів та інших пристроїв у вимірювальній схемі дає змогу значно збільшити точність вимірювання різних параметрів (0,1–0,3 %).

На рис. 12.8 показана схема вимірювання витрати, густини і температури приладами компанії *Mikro Motion*. Це – міжнародна компанія з виробництвами, розміщеними в Нідерландах, Японії і США. Масові витратоміри, які випускає ця компанія, де вперше знайшли практичне використання сили Коріоліса, встановили новий стандарт у вимірюванні параметрів рідин. Коріолісові витратоміри, які безпосередньо вмонтовані в трубопроводи, першими забезпечили пряме і точне вимірювання масової витрати. *Micro Motion* – член групи вимірювання і керування *Rosemount*, розширила коріолісову технологію, включивши до неї високоточні вимірювання густини і температури в потоці рідини. Оптимально розроблені вимірні труби дають низьке значення спаду тиску і тривалу довговічність первинному перетворювачеві. Завдяки унікальній конструкції перетворювачі можуть монтуватися в будь-якому положенні.

Для вимірювання витрати використовують первинні перетворювачі (сенсори) моделей CMF25, CMF50, CMF200, CMF300 або D6, D12, D25, D40, D65 і D100.

Сенсори моделі CMF вимірюють витрату, густину і температуру. Точність вимірювання –  $\pm 0,15 \pm$  стійкість нуля. Первинні перетворювачі моделі D вимірюють витрату рідин, газів і сумішей у

межах від 3 до 680000 кг/год. Точність вимірювання становить  $\pm 0,2\%$  від витрати  $\pm$  стійкість нуля.

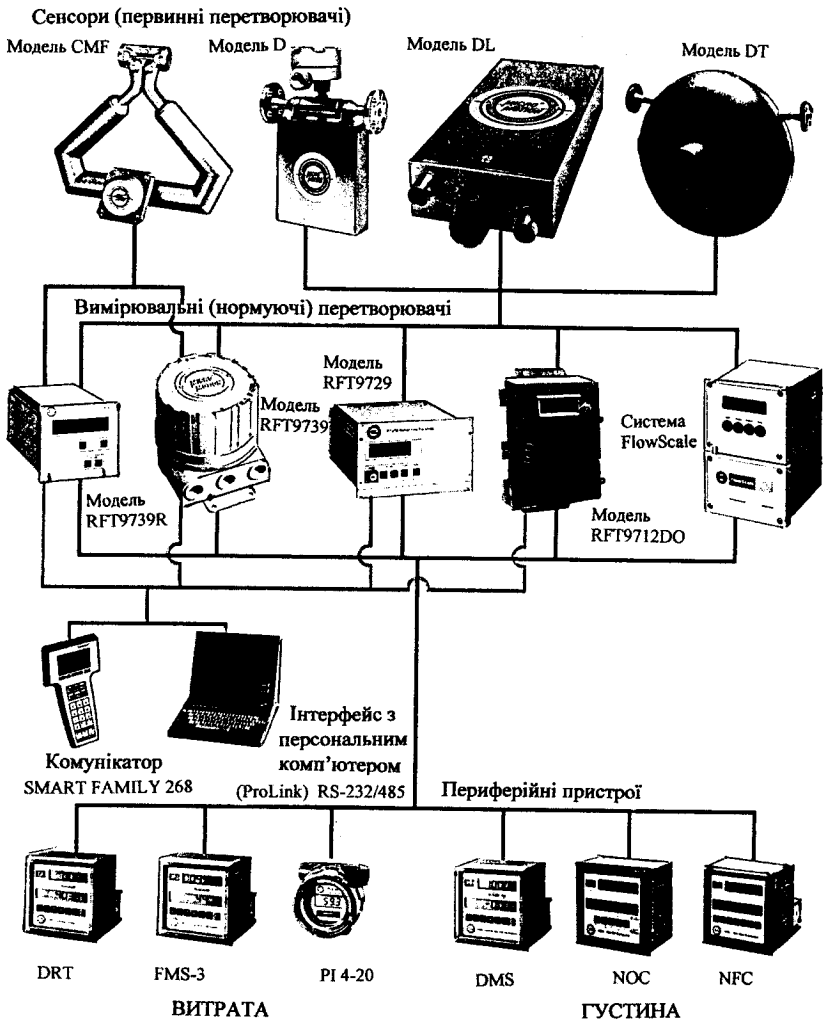


Рис. 12.8 Схема вимірювання витрати, густини і температури приладами компанії Mikro Motion

Сенсори моделі DL призначені для вимірювання витрати рідин у межах від 340 до 95400 кг/год із точністю  $\pm 0,2\%$   $\pm$  стійкість нуля.

Моделі DT – це високотемпературні витратоміри, що функціонують за температур до 426 °С. Точність вимірювання витрати в межах від 420 до 38000 кг/год  $\pm 0,2\%$  від витрати  $\pm$  стійкість нуля.

Уніфікуючі перетворювачі типу RFT9712/RFT9729 сімейства *SMART FAMILY* доповнюють сенсори *Micro Motion* моделей D, DT до завершеної системи вимірювання і контролю масової витрати і густини. Вони перетворюють низькорівневий сигнал сенсора в 4–20 мА і частотний вихідний сигнал. Сигнал 4–20 мА може бути налагоджений на витрату, густину і температуру. Частотний вихідний сигнал завжди представляє витрату. 4-рядковий 20-символьний рідкокристальний дисплей, розташований на накривці корпусу, забезпечує одночасну індикацію витрати, температури, густини і сумарної витрати. Точність –  $\pm 0,2\%$  від витрати  $\pm$  стійкість нуля.

Вихідні сигнали:

- один аналоговий вихідний сигнал, що може бути налагоджений на подання витрати, густини або температури;
- один ізольований 0–15 В частотний сигнал, що масштабується від 1,0 до 10000 Гц;
- цифровий сигнал, що вибирається користувачем, Bell202 або RS-485, сумісний з протоколом *HART*.

Уніфікуючі перетворювачі моделі RFT9739 мають мікропроцесорний електронний блок, що реалізує цифрову технологію *ASIC* і вибір комунікаційного протоколу. Вибір протоколу *HART* або *Modbus* забезпечує гнучкий інтерфейс. Перетворювачі можуть бути використані з будь-яким витратомірним сенсором *Micro Motion* для забезпечення точних вимірювань масової витрати, густини, температури і об'єму робочої рідини. Їх можуть встановлювати на віддалі до 300 м від первинного перетворювача. Точність вимірювання –  $\pm 0,15\%$ , а з сенсорами D, DL, DT –  $0,2\%$ .

#### Вихідні сигнали:

- два незалежно налагоджувані аналогові сигнали, що можуть представляти витрату, густину і температуру 4–20 мА та 0–20 мА;
- один ізолюваний 0–15 В частотний сигнал, що масштабується від 1,0 до 10000 Гц. Має програмовану ширину імпульсу для нижніх частот;
- один керуючий вихідний сигнал, який може індикувати напрямок потоку, аварійний сигнал або процедуру встановлення нуля;
- цифровий сигнал, що вибивається користувачем, *Bell 202* або *RS-485*, який сумісний з протоколом *HART* або *Modbus*, *Bell 202* накладається на основний аналоговий сигнал.

Систему *Flow Scale™* розроблено для прикладних систем комерційного обліку. Точність вимірювання витрати –  $\pm 2\%$  за діапазону вимірювання 10:1 від повної шкали сенсора;  $\pm 3\%$  за діапазону вимірювання 20:1. Прилад має вмонтований рідкокристальний дисплей на 2 рядки по 16 символів.

#### Вихідні сигнали:

- факультативний, повністю ізолюваний частотний сигнал, що програмується від 1,0 до 10000 Гц;
- аналоговий, факультативний, ізолюваний 4–20 мА або 0–20 мА; максимальне навантаження – 800 Ом;
- цифровий, факультативний, RS-232 і RS-485, напівдуплексний DCE;
- масштабований імпульсний, ізолюваний, 0–10 Гц, що програмується на один імпульс на одиницю часу.

Комунікатор моделі *SMART FAMILY 268* здійснює обмін даними з мікропроцесорними перетворювачами *Micro Motion*. Він може бути під'єднаний безпосередньо до перетворювача або до будь-якої термінальної точки контура і може працювати з будь-яким приладом інтелектуального сімейства *SMART FAMILY*.

Для виконання процедур діагностування, конфігурування і зняття даних комунікатор 268 приймає і надсилає дані в перетворювач, не руйнуючи його сигнал, який він надсилає на пульт керування. Комунікатор працює через протокол *HART*, який ґрунтується на комунікаційному стандарті *Bell 202*. Енергонезалежна пам'ять зберігає дані за відключення живлення до того часу, поки не буде витягнуто батарейне джерело живлення. Прилад має 4-рядковий рідкокристальний дисплей з довжиною рядка 20 символів. Роботу забезпечують повний набір алфавітно-цифрових клавіш, шість незначних функціональних клавіш і чотири програмовані клавіші.

Інтерфейс з персональним комп'ютером (*ProLink*) забезпечує замовників зручним і дружнім програмним пакетом для контролю, архівування і конфігурування перетворювачів RFT9700. Графічний інтерфейс, що не втрачає функціональності, є доброю альтернативою ручному комунікатору. Там, де можливо, користувач може вибирати між комунікаційним протоколом *HART* і *Modbus* для гнучкості інтерфейсу. *ProLink* працює на будь-якому 100 % IBM PC сумісному комп'ютері в операційній системі *Windows*.

Периферійні пристрої для контролю витрати складаються із цифрового суматора витрати DRT, системи контролю витрати FMS-3 і цифрового аналогового індикатора PI 4-20.

Прилад DRT – це мікропроцесорний індикатор витрати, призначений для роботи з частотним сигналом, який виробляють перетворювачі *Micro Motion*. Він забезпечує цифрову індикацію поточної витрати, сумарної витрати, облікової суми, а також екстремальні значення максимуму і мінімуму в одиницях секунд, хвилин і годин. DRT виводить на екран онулену суму і обліковану суму, які можуть бути заблоковані від скидання. Сигнальні реле забезпечують індикацію низької та високої витрати.

Прилад FMS-3 – це мікропроцесорний пристрій керування дозою з індикацією витрати, сумарної витрати і облікованої суми. Він може виконувати одно- або двоступеневе керування дозою. FMS-3 призначено для роботи з частотним сигналом, що ви-

робляється будь-яким перетворювачем *Micro Motion*. У приладі є сигнальні реле для керування первинною і вторинною дозами.

DRT і FMS-3 виконують у двох варіантах виконання індикації: рідкокристальному (LCD) і світлодіодному (LED). Обидва варіанти можуть обладнувати інтерфейсом RS-232, що використовується для дистанційної експлуатації та програмування, або для комп'ютерного VDT чи для інтерфейса з принтером. Дистанційне керування можуть здійснювати також за допомогою високоякісних перемикачів.

Прилад PI 4-20 забезпечує локальний вивід даних витрати, густини або температури. Він перетворює аналоговий вихідний сигнал перетворювача в масштабований цифровий сигнал.

Серія мікропроцесорних приладів *Micro Motion* для контролю густини забезпечує багатство різноманітної інформації, яку одержують вимірюванням параметрів процесу. Усі периферійні пристрої для контролю густини використовують власну частоту сенсора і температуру сенсора для вирахування густини робочої рідини. Ці вихідні сигнали одержують незалежно від аналогового і частотного сигналів, які генерують уніфікуючі перетворювачі.

Система контролю густини DMS забезпечує користувача неперервними високоточними значеннями густини і температури робочої рідини у множині різних одиниць вимірювання. Прилад також видає деякі параметри, що одержуються із основної інформації, такі, наприклад, як відсоток твердих частин в рідині. Визначення співвідношення між відсотками твердих включень (масові або об'ємні) можуть бути програмованими полями даних. Два аналогові вихідні сигнали для густини (або залежних параметрів) і температури є стандартними. Факультативний інтерфейс RS-232 дає змогу здійснювати цифровий обмін даними з комп'ютером.

Суматор чистої нафти NOC вираховує чисту нафту і воду, яка присутня в емульсійному потоці. Визначення фракції води здійснюють порівнянням виміряної густини емульсії з еталонними густинами чистої нафти і води. Використовуючи вирахувану фракцію води і коефіцієнти коригування об'єму, емульсійний потік розкладають на складові для визначення чистої нафти і води за стандартних умов. Інтерфейс RS-232

дає змогу користувачу надсилати тестову інформацію і переконфігурувати будь-який із тестових параметрів для 36 різних свердловин.

Суматор чистої витрати NFC використовує густину розчину для визначення концентрації цього матеріалу в потоці рідини. Концентрація цього матеріалу і сумарна витрата комбінуються для вирахування чистої витрати матеріалу. Прилад можна використовувати як простий індикатор витрати і суми, або, якщо використовувати його релейну систему контрольних точок, як дозатор твердих фракцій розчину. Аналоговий вихідний сигнал може бути використаний для індикації густини, температури, відсоткового вмісту фракцій або чистої витрати. Серійний порт RS-232 дає змогу виводити дані на принтер.

Усі три прилади забезпечують алфавітно-цифрову індикацію густини і температури на дисплеї. Крім того, NOC і NFC виводять на дисплей багато додаткової інформації про параметри потоку.



## ЛІТЕРАТУРА

1. Автоматика и автоматизация производственных процессов / Под ред. проф. Г.К. Нечаева. – К.: Вища шк., 1985. – 279 с.
2. Автомобильные дороги. Автоматизация производственных процессов в строительстве / Под ред. проф. Л. Цикермана. – М.: Транспорт, 1986. – 238 с.
3. Автоматизация производственных процессов в промышленности строительных материалов / Под ред. В.С. Кочетова. – Л.: Стройиздат, 1986. – 395 с.
4. Автоматизация и механизация работ на транспортном строительстве / Под ред. К.С. Исаева. – М.: Транспорт, 1989. – 264 с.
5. Алешин Н.П., Щербинский В.Г. Контроль качества сварочных работ. – М.: Высш. шк., 1986. – 205 с.
6. Артим І.Т. Автоматика та автоматизація у будівництві. – Львів: ЛПІ, 1980. – 85 с.
7. Артим І.Т. Автоматизація технологічних процесів будівельного виробництва. – Львів: ЛПІ, 1979. – 75 с.
8. Артим І.Т. Основи автоматики та автоматизації виробничих процесів. – Львів: ЛПІ, 1997. – 300 с.
9. Бек А.Д., Чернецкий В.В. Периферийные измерительные устройства. – К.: Наук. думка, 1991. – 224 с.
10. Боронихин А.С. Основы автоматизации производства железобетонных изделий. – М.: Высш. шк., 1981. – 270 с.
11. Бушуев С.Д., Михайлов В.С. Автоматика и автоматизация производственных процессов. – М.: Высш. шк., 1990. – 256 с.

12. Гинзбург И.Б. Автоматическое регулирование и регуляторы в промышленности строительных материалов. – Л.: Стройиздат, 1985. – 255 с.
13. Геращенко О.А., Гордов А.Н., Еремина А.К. и др. Температурные измерения: Справочник. – К.: Наук. думка, 1987. – 704 с.
14. Гордон А.Э., Никулин Л.И., Тихонов А.Ф. Автоматизация контроля качества изделий из бетона и железобетона. – М.: Стройиздат, 1991. – 300 с.
15. Евдокимов В.А. Механизация и автоматизация строительного производства. – Л.: Стройиздат, 1986. – 295 с.
16. Евтихеев Н.Н., Купершмидт Я.А., Пацуловский В.Ф., Скугоров В.Н. Измерение электрических и неэлектрических величин. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 350 с.
17. Кулаков М.В. Технологические измерения и приборы для химических производств. – М.: Машиностроение, 1983. – 424 с.
18. Куликовский К.Л., Купер В.Я. Методы и средства измерений. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 448 с.
19. Нечаев Г.К., Пух А.В., Ружичка В.А. Автоматизация технологических процессов на предприятиях строительной индустрии. – К.: Вища шк., 1979. – 280 с.
20. Полоцкий Л.М., Лапшенков Г.И. Автоматизация химических производств. – М.: Химия, 1982. – 296 с.
21. Попкович Г.С., Гордон М.А. Автоматизация водоснабжения и водоотведения. – М.: Высш. шк., 1986. – 390 с.
22. Промышленные приборы и средства автоматизации: Справочник // Под ред. В.В. Черенкова. – Л.: Машиностроение, 1987. – 850 с.
23. Сидоров В.И. Автоматизация работы строительных машин. – М.: Стройиздат, 1989. – 240 с.
24. Старостин В.А. Технологические измерения и контрольно-измерительные приборы в промышленности строительных материалов. – Л.: Стройиздат, 1988. – 304 с.
25. Фарзани Н.Г., Илясов Л.В., Азим-заде А.Ю. Технологические измерения и приборы. – М.: Высш. шк., 1989. – 456 с.

26. Чистяков В.С. Краткий справочник по теплотехническим измерениям. – М.: Энергоатомиздат. 1990. – 320 с.
27. Шкатов Е.Ф., Шувалов В.В. Основы автоматизации химических производств. – М.: Химия, 1989. – 250 с.
28. Щеглюк М.Р., Митюк Р.В. Пристрої автоматики для автоматизації будівництва. – К.: НМК ВО, 1991. – 196 с.
29. Щеглюк М.Р., Митюк Р.В. Основні технічні засоби, використовувані для автоматизації будівництва. – К.: НМК ВО, 1992. – 75 с.
30. Электрические измерения: Общий курс / Под ред. А.В. Фремке. – Л.: Энергия, 1973. – 420 с.



LITTERIS ET ARTIBUS  
НАУКАМИ Й МИСТЕЦТВОМ

*здобудемо світ*

**Видавництво Львівської політехніки пропонує літературу  
з технічних, економічних, гуманітарних наук**

**Замовити і придбати книги можна безпосередньо у нас:**

*Видавництво Національного університету*

*“Львівська політехніка”*

*вул. Ф. Колесси, 2, корп. 23А, м. Львів, 79000*

*тел./факс (0322) 74-01-72, тел. (0322) 258-22-42*

*ел. пошта: vmr@polynet.lviv.ua*



**О.М. Довбуш, О.Т. Возняк, С.С. Жуковський**

**СИСТЕМИ ОБІГРІВАННЯ ТА ВЕНТИЛЯЦІЇ  
ТЕХНОЛОГІЇ ЗАГОТІВЛЬНИХ  
І МОНТАЖНИХ РОБІТ**

*Навч. посібник. – 2006. – 286 с. ISBN 966-7148-63-7*

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки  
України як навальний посібник для студентів  
вищих навчальних закладів*

У посібнику розглядаються технології заготівельних робіт і монтажу систем обігрівання та вентиляції з матеріалів, які найчастіше використовуються на практиці.

Посібник призначений для студентів базового напрямку “Будівництво”, які навчаються за спеціальністю “Теплогазопостачання та вентиляція”, а також може бути корисним інженерам та спеціалістам, які займаються проектуванням та монтажем систем обігрівання та вентиляції.

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Щеглюк Мирон Романович  
Юсик Ярослав Петрович

**ВИМІРЮВАННЯ І КОНТРОЛЬ  
У БУДІВНИЦТВІ ТА ВИРОБНИЦТВІ  
БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ  
І КОНСТРУКЦІЙ**

Редактор *Ольга Грабовська*  
Технічний редактор *Лілія Саламін*  
Комп'ютерне верстання *Галини Сукмановської*  
Художник-дизайнер *Уляна Келеман*

Здано у видавництво 22.12.2005. Підписано до друку 15.07.2006.  
Формат 60×84/16. Папір офсетний. Друк офсетний.  
Умовн. друк. арк. 28,6. Обл.-вид. арк. 20,80.  
Наклад 500 прим. Зам. 50880.

Видавництво Національного університету "Львівська політехніка"  
*Реєстраційне свідоцтво серії ДК № 751 від 27.12.2001 р.*

Поліграфічний центр  
Видавництва Національного університету "Львівська політехніка"

*вул. Ф. Колесси, 2, Львів, 79000*