МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

КАФЕДРА ПРОГРАМНИХ І КОМП’ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ З ДИСЦИПЛІНИ Метрологія та основи вимірювання

(Теоретична частина)

Для студентів інституту штучного інтелекту та робототехніки

Перший (бакалаврський) рівень вищої освіти

Спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітньо-професійна програма: Комп'ютерні технології автоматизації.

Одеса 2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

КАФЕДРА ПРОГРАМНИХ І КОМП’ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ З ДИСЦИПЛІНИ Метрологія та основи вимірювання

(Теоретична частина)

Для студентів інституту штучного інтелекту та робототехніки

Перший (бакалаврський) рівень вищої освіти

Спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітньо-професійна програма: Комп'ютерні технології автоматизації.

Затверджено на засіданні

кафедри програмних і комп’ютерно-інтегрованих технологій

Протокол № 7 від 26.01.2022 р.

Одеса 2022

Методичні вказівки з дисципліни Метрологія та основи вимірювання. (Теоретична частина): для студ. напряму 151 «Автоматизацiя та комп’ютерно-iнтегрованi технологiї» денної та заочної форм навчань./ Укл. Уліцька О.О. – Одеса: ОП, 2022. – 137 с.

ЗМІСТ

[Предмет і завдання дисципліни. Основні поняття та визначення метрології 4](#_Toc96116628)

[Похибки вимірювань. Класи точності засобів вимірювання 11](#_Toc96116629)

[Характеристики засобів вимірювальної техніки. Повірка засобів вимірювання 18](#_Toc96116630)

[Обробка результатів прямих вимірювань. Розрахунок помилки опосередкованих вимірювань 28](#_Toc96116631)

[Вимірювання температури 39](#_Toc96116632)

[Термоелектричні перетворювачі 58](#_Toc96116633)

[Методи вимірювання температури нагрітих тіл по їх випромінюванню 64](#_Toc96116634)

[Вимірювання тиску 70](#_Toc96116635)

[Електричні манометри та вакуумметри 82](#_Toc96116636)

[Вимірювання витрат рідин, газів і парів 87](#_Toc96116637)

[Тахометричні, електромагнітні, ультразвукові витратоміри. Вимірювання кількості теплоти 96](#_Toc96116638)

[Вимірювання рівня рідин та сипких матеріалів 101](#_Toc96116639)

[Ємнісний, термокондуктометричний, радіохвильовий, хвилеводний рівнемір. Вимірювання рівня сипучих тіл. Сигналізатори рівня 108](#_Toc96116640)

[Методи та прилади аналізу складу газів 119](#_Toc96116641)

[Хроматографічний метод аналізу складу газів. 132](#_Toc96116642)

Предмет і завдання дисципліни. Основні поняття та визначення метрології

Походження самого терміну «метрологія» походить від двох грецьких слів: metron, що перекладається як «захід», і logos – «навчання».

Метрологія в її сучасному розумінні – це наука про вимірювання, методи та засоби забезпечення їх єдності та способи досягнення необхідної точності вимірювань.

Наука, промисловість, економіка та комунікації не можуть існувати без вимірів. Кожну секунду у світі виробляються мільярди вимірювальних операцій, результати яких використовуються для забезпечення якості та технічного рівня продукції, безпечної та безаварійної роботи транспорту, обґрунтування медичних та екологічних діагнозів, аналізу інформаційних потоків. Практично немає жодної сфери діяльності, де б не використовувалися результати вимірювань, випробувань та контролю. Приблизно 15% витрат громадського праці витрачається проведення вимірювань. За оцінками експертів, від 3 до 9% валового національного продукту передових індустріальних країн припадає на виміри та пов'язані з ними операції.

Метрологія як наука і область практичної діяльності має стародавнє коріння. Вимірювання грають найважливішу роль житті людини, оскільки є однією з способів пізнання навколишнього світу.

Відповідно до ДСТУ 2681-94 вимір визначається як знаходження значення фізичної величини досвідченим шляхом за допомогою спеціальних технічних засобів.

Нескінченна безліч фізичних об'єктів, що оточують нас, має безліч різних якостей і властивостей. З цієї величезної кількості людина виділяє певну обмежену кількість якостей, загальних у якісному відношенні для низки однорідних об'єктів і достатніх їх описи. У кожному такому якості, своєю чергою, може бути виділено безліч градацій. Якщо ми можемо встановити розмір градації, тобто. одиницю даної властивості і фізично реалізувати її у вигляді міри або шкали, то зіставивши розмір цікавої для нас властивості об'єкта з такою мірою або зі шкалою, ми отримаємо його кількісну оцінку. Властивості, для яких можуть бути встановлені та відтворені градації певного розміру, називаються фізичними величинами.

***Фізична величина (ФВ)***– це властивість, загальне у якісному відношенні багатьом фізичним об'єктам, але у кількісному відношенні індивідуальне кожному за об'єкта. Так, властивість «міцність» у якісному відношенні характеризує такі матеріали, як сталь, дерево, тканина, скло та багато інших, тоді як ступінь (кількісне значення) міцності – величина для кожного з них зовсім різна. Розглядаючи електричну схему, можна сказати, що з усіх гілок проходить струм, але у кожній гілці він різний за величиною.

Якісна сторона поняття фізична величина визначає «рід» величини (довжина як характеристика протяжності взагалі; електричний опір, як загальна властивість провідників електрики тощо). А кількісна - її "розмір" (довжина конкретного предмета, опір конкретного провідника). Для кількісної оцінки властивостей фізичної величини застосовують поняття «значення» та «розмір». Між цими поняттями є важлива різниця. Розмір фізичної величини існує реально і залежить від цього, виробляється його вимір чи ні. Значення фізичної величини утворюється лише у процесі вимірів і від одиниці виміру.

Фізичні величини можуть бути однойменними (з однією назвою), наприклад, температура теплоносія та температура навколишнього середовища. Різноіменними однорідними – довжина, ширина, висота, глибина, відстань. Різноіменними різнорідними – тиск, температура, витрата, електричний струм.

Метою вимірювання та його кінцевим результатом є знаходження значення фізичної величини. Значення фізичної величини – оцінка фізичної величини у прийнятих для виміру даної величини одиницях. Зрозуміло, що числове значення результату виміру залежатиме від вибору одиниці фізичної величини. Так, у відомому мультфільмі «38 папуг» для вимірювання довжини удава як одиниця довжини була обрана довжина папуги і результат вимірювання становив 38 папуг. Якщо ж за одиницю довжини вибрати узаконену одиницю – метр, то числове значення довжини удава буде іншим, хоча розмір залишився колишнім.

Метрологія вивчає і має справу з вимірами фізичних величин, тобто. величинами, котрим може існувати фізично реалізована і відтворювана одиниця величини. Проте нерідко до вимірів неправомірно відносять різноманітних оцінювання таких властивостей, які формально хоч і підпадають під наведене визначення фізичної величини, але не дозволяють реалізувати відповідну одиницю. Так, поширену в психології оцінку розумового розвитку людини називають виміром інтелекту; оцінку якості продукції – виміром якості. І хоча в цих процедурах частково використовуються метрологічні ідеї та методи, вони не можуть кваліфікуватися як виміри в тому сенсі, як це прийнято в метрології: неможливо уявити одиницю інтелекту або одиницю якості, які до того ж можна було б реалізувати у вигляді певного фізичного заходу. Таким чином, крім наведеного визначення, підкреслимо, що можливість фізичної реалізації одиниці є визначальною ознакою поняття «фізична величина».

Теоретично вимірювань вводяться поняття істинного і дійсного значення фізичної величини.

***Справжнє значення фізичної величини***– значення фізичної величини, яке ідеальним чином відображало б у якісному та кількісному відношенні відповідну властивість об'єкта або іншими словами – значення фізичної величини вільне від похибок.

Істинне значення фізичної величини вважається невідомим і використовується у теоретичних дослідженнях. На практиці використовується дійсне значення фізичної величини - значення, знайдене експериментальним шляхом і настільки наближається до справжнього значення, що може бути використане замість нього.

Розглянемо приклад виміру діаметра круглого диска. Здавалося б, що вимірювання діаметра диска можна проводити з дедалі більшою точністю, варто лише вибрати відповідні за точністю засоби вимірювання. Але коли похибка засобу вимірювання стане порядку розмірів молекули, ми виявимо, що спостерігається як би розмивання країв диска, зумовлене хаотичним рухом молекул, і за якоюсь межею точності саме поняття діаметра диска втратить свій первісний зміст, і подальше підвищення точності вимірювання марно. Очевидно, що поняття «істинного» значення діаметра в цьому випадку набуває зовсім іншого, імовірнісного, сенсу і можна лише з певною ймовірністю встановити інтервал значень, у якому воно знаходиться. Отже,

***Похибка вимірювання***– відхилення результату виміру від істинного значення вимірюваної величини.

Вимога єдності вимірювань обумовлено необхідністю отримання результатів вимірювань, виражених у узаконених одиницях величин, з похибкою вимірювань, яка не виходить за встановлені межі із заданою ймовірністю.

Це необхідно для порівняння результатів вимірювань, виконаних у різних місцях, в різний час з використанням різних методів і засобів вимірювання. Результати при цьому мають бути однаковими, незалежно від використання методів та засобів вимірювань. Так маса в 1 кг повинна бути адекватною у різних місцях, при вимірі різними способами та методами.

***Точність вимірів*** характеризує ступінь наближення результатів вимірів до справжнього значення вимірюваної величини, тобто. ступінь наближення похибки вимірів до нуля.

***Об'єкт вимірювання***– матеріальний об'єкт, одне чи кілька якостей, якого підлягають виміру. Об'єктами виміру може бути фізичні величини чи параметри технологічних процесів, апаратів. Наприклад, температура, тиск, рівень, витрата, щільність, концентрація, якість продукції і т.д.

***Вимірювана величина***– фізична величина або параметр (від грецького «вимірюю, співвідношу»), які піддаються виміру. Параметр, як і фізична величина, відображає властивості об'єкта. Параметри може бути як одиничними, і комплексними показниками властивостей об'єкта.

Одиниці фізичних величин та їх системи

Сукупність обраних основних та похідних величин називається системою величин або системою одиниць.

Історично першою системою одиниць фізичних величин була прийнята 7 квітня1795 р. Національними зборами Франції є метрична система заходів. Вона не була ще системою одиниць у сучасному розумінні, а включала одиниці довжин, площ, обсягів, місткостей і ваги, в основу яких були покладені дві одиниці: метр і кілограм. Було введено новий спосіб утворення кратних і дольних одиниць за допомогою множників 10n та відповідних їм приставок.

Метрична система заходів була першою системою пов'язаних між собою одиниць довжини, площі, обсягу та маси. На її основі було побудовано цілу низку метричних систем одиниць. Метр спочатку визначався як довжина цієї десятимільйонної частини чверті земного меридіана. А кілограм був прийнятий рівною масою чистої води в обсязі 1 дм3 при температурі найбільшої щільності.

В1832 р. німецький математик К. Гаус запропонував методику побудови системи одиниць як сукупності основних та похідних. Він побудував систему одиниць, у якій за основу було прийнято три довільні, незалежні один від одного одиниці – довжини, маси та часу. Решту одиниць можна було визначити за допомогою цих трьох. Таку систему одиниць, пов'язаних певним чином із трьома основними, Гаус назвав абсолютною системою. За основні одиниці він прийняв міліметр, міліграм та секунду. Однак для практичного застосування розміри основних одиниць довжини та маси виявилися незручними.

Надалі з розвитком науки і техніки з'явився ряд систем одиниць фізичних величин, побудованих за принципом, запропонованим Гауссом, що базуються на метричній системі заходів, але відмінних один від одного основними одиницями.

***Система СГС.***В1881 р. Першим Міжнародним конгресом електриків було прийнято систему одиниць фізичних величин СГС. Основними одиницями у системі СГС є сантиметр – одиниця довжини, грам – одиниця маси та секунда – одиниця часу.

***Система МКГСС.*** Застосування кілограма як одиниці ваги, а згодом як одиниці сили взагалі, призвело наприкінці ХІХ століття формування системи одиниць фізичних величин з трьома основними одиницями: метр – одиниця довжини, кілограм-сила – одиниця сили і секунда – одиниця часу. Кілограм-сила - це сила, яка надає масі в1 кг прискорення 9,80665 м/с2 (нормальне прискорення вільного падіння). Ця система набула найбільшого поширення в механіці, теплотехніці та споріднених до них областях і неофіційно називалася «технічною». Однією з причин поширення системи було зручність уявлення сили в одиницях маси.

Систему МКГСС не можна пов'язати з практичними електричними та механічними одиницями, а одиниці системи СГС, що застосовується у фізиці, через їх дещицю надто незручні для використання в інших галузях техніки.

***Система МКСА.*** Основи цієї системи були запропоновані в1901 р. італійським ученим Л. Джорджі. Основними одиницями системи МКСА є метр, кілограм, секунда та ампер.

***Система СІ.*** Зростання науково-технічних та економічних зв'язків між різними країнами зумовлювало необхідність такої уніфікації одиниць вимірів у міжнародному масштабі.

В1954 р. Х Генеральна конференція з мір та ваг встановила шість основних одиниць (метр, кілограм, секунда, ампер, кельвін і свічка – одиниця сили світла) практичної системи одиниць. А в1960 р. ХІ Генеральна конференція з мір і ваг затвердила Міжнародну систему одиниць СІ (SI – початкові літери французького найменування Systeme International), засновану на затверджених у1954 р. шести основних одиниць. У наступні роки Генеральною конференцією було прийнято низку доповнень та змін, внаслідок чого в системі стало сім основних одиниць (табл. 1).

Було затверджено також перелік приставок для утворення кратних та дольних одиниць

Найважливіші одиниці міжнародної системи (СІ)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Величина | | Одиниця | | |
| Найменування | Позначення | Найменування | Позначення | |
| Російське | Міжнародне |
| Основні одиниці | | | | |
| Довжина | L | метр | м | m |
| Маса | M | кілограм | кг | kg |
| Час | T | секунда | з | s |
| Сила електричного струму | I | ампер | А | A |
| Термодинамічна температура | Θ | кельвін | До | K |
| Сила світла | J | кандела | кд | cd |
| Кількість речовини | N | моль | моль | mol |
| Додаткові одиниці | | | | |
| Плоский кут | - | радіан | радий | rad |
| Тілесний кут | - | стерадіан | ср | sr |
| Деякі похідні одиниці | | | | |
| Площа | L2 | квадратний метр | м2 | m2 |
| Об'єм, місткість | L3 | кубічний метр | м3 | m3 |
| Швидкість | LT-1 | метр за секунду | м/с | m/s |
| Прискорення | LT-2 | метр на секунду у квадраті | м/с2 | m/s2 |
| Частота періодичного процесу | T-1 | герц | Гц | Hz |

Вимірювання є одним із найважливіших шляхів пізнання навколишнього світу та закономірностей природи. Завдяки вимірам людство відкрило багато законів природи.

Вимірювання можуть проводитися за допомогою органів чуття людини (дотику, нюху, зору, слуху та смаку) і в цьому випадку вони називаються органолептичними. Такі виміри дуже суб'єктивні.

Вимірювання, які виконуються за допомогою спеціальних технічних засобів, називаються інструментальними. Такі виміри можуть вважатися цілком об'єктивними, якщо за їх виконання роль людського чинника зведена до мінімуму.

Перш ніж сформулювати прийняте в метрології визначення поняття "вимірювання", зазначимо таке. Вимірювати можна лише властивості реально існуючих об'єктів, які відображаються фізичними величинами. Вимірювання ґрунтується на експериментальних процедурах; ніякі теоретичні міркування чи розрахунки власними силами що неспроможні класифікуватися, як вимір. Для проведення вимірювального експерименту потрібні спеціальні технічні засоби - засоби вимірювань. Результатом виміру є оцінка фізичної величини як деякого числа прийнятих нею одиниць. З урахуванням цих положень прийнято таке визначення.

***Вимірювання***- Це знаходження значення фізичної величини досвідченим шляхом за допомогою спеціальних технічних засобів. Отримане значення величини є результат виміру.

Незважаючи на те, що виміри безперервно розвиваються, стають все більш складними, а саме визначення доповнюється з використанням термінології кібернетики та теорії інформації, їхня метрологічна суть залишається без зміни і зводиться до основного рівняння виміру.

 (1)

Рівняння (1) називається основним рівнянням вимірювання де- Вимірювана величина,– одиниця виміру величини,– числове значення вимірюваної величини. Права частина рівняння називається результатом виміру і має розмірність одиниці фізичної величини, а числопоказує, скільки разів одиниця виміруміститься у вимірюваній величині. Тому при написанні результату виміру поруч із числовим значенням вимірюваної величини слід ставити позначення відповідної одиниці. Наприклад: тиск, температура, Довжина, струм. Цифрові значення відповідних вимірюваних величин є результатами вимірювань, а скорочені позначення за них – одиницями вимірюваних величин.

У зв'язку з цим необхідно розуміти, що будь-який вимір як пізнавальний процес у порівнянні шляхом фізичного експерименту даної величини з деяким її значенням, прийнятим за одиницю порівняння, тобто. мірою. Такий підхід вироблений практикою вимірювань, що обчислюється сотнями років. Великий математик Л. Ейлер стверджував: "Неможливо визначити або виміряти одну величину інакше як, прийнявши як відому іншу величину цього ж роду і вказавши співвідношення, в якому вони знаходяться".

Завдання вимірів – отримати х, вказати межі його можливих значень і можливість попадання їх у ці межі.

***міра***- Засіб вимірювальної техніки, що служить для відтворення фізичної величини заданого розміру, наприклад, гиря, магазин опорів, генератор стандартних сигналів. Номінальне значення заходи – зазначене у ньому чи їй наказане.

Ґрунтуючись на наведеному визначенні виміру, можна формально стверджувати, що поняття «вимірювання» відповідає лише такий інформаційний процес, при якому вимірювальна інформація, що виникає при взаємодії засобу виміру з об'єктом виміру, перетворюється так, щоб у результаті отримати результат виміру у вигляді іменованого числа у явному вигляді (220, 15 см). Однак у техніці широко поширені інформаційні структури та процеси, у яких вимірювальна інформація необхідна та використовується у формі сигналу вимірювальної інформації (наприклад, електричного). Ця вимірювальна інформація є вихідною для вирішення завдань, кінцевою метою яких є не одержання оцінки значення фізичної величини в прийнятих одиницях, а формування на основі обробки та аналізу цього сигналу певних суджень, логічних висновків про об'єкт До таких завдань відносяться контроль якості, діагностування технічного стану системи і машин, управління технологічними процесами та ін. із її одиницею.

Вимірювання як експериментальні процедури дуже різноманітні і класифікуються за різними ознаками.

***Вимірювання розрізняють*** за способом отримання інформації та характером зміни вимірюваної величини в часі.

***За способом знаходження числового значення фізичної величини виміру розрізняють*** прямі, непрямі, сукупні та спільні.

***Прямий вимір***- це вимір, при якому шукане значення величини знаходять безпосередньо з досвідчених даних, тобто прямо за шкалою приладу (іноді показання приладу множать деякий коефіцієнт або вводять відповідні поправки). Наприклад, вимірювання температури скляним термометром, проміжок часу – секундоміром, струму – амперметром, тиску – манометром тощо. Прямі вимірювання є найпростішими та поширеними в промисловості.

При цьому простота чи складність процесу вимірювань до уваги не беруться. Істотною ознакою прямих вимірів є те, що результат виражається в тих самих одиницях, що й вимірювана величина.

***До непрямих вимірів*** відносяться такі виміри, результат яких виходить на підставі прямих вимірів кількох інших величин, пов'язаних з шуканою величиною певною залежністю, де- Значення величин, що вимірюються прямим способом.

Іншими словами, шукане значення фізичної величини розраховують за формулою, а значення величин, що входять до формули, отримують прямими вимірами. Наприклад, вимірювання потужності, що розсіюється на опорі, може бути визначено розрахунком за формулоюна підставі вимірювання струмута опору резистора.

Такі вимірювання застосовують у техніці та наукових дослідженнях у тих випадках, коли шукану величину неможливо або дуже складно виміряти безпосередньо шляхом прямого вимірювання або коли опосередкований вимір дозволяє отримати більш точні результати. До непрямих вимірів відносяться, наприклад, визначення обсягу конструкції за прямими вимірами її геометричних розмірів, знаходження щільності тіла як відношення маси тіла до його об'єму, вимірювання витрати рідини по перепаду тиску на місцевому опорі.

Таким чином, непрямий вимір завжди пов'язаний з розрахунком (проте внесення поправки не перетворює прямий вимір на непряме).

***Сукупні виміри***– вироблені одночасно виміри кількох однойменних величин, у яких шукані значення величин знаходять рішенням системи рівнянь, одержуваних при прямих вимірах різних поєднань цих величин. Наприклад, визначення температурного коефіцієнта лінійного розширення або знаходження значень маси окремих гир набору за відомим значенням маси однієї з гир: порівнюючи маси різних поєднань гир, отримують систему рівнянь, рішення якої знаходять масу кожної з гир, що входять в набір.

***Спільні виміри***– виміри двох або кількох різнойменних величин, що проводяться одночасно, для знаходження залежності між ними. Як правило, результати таких вимірів використовуються у наукових дослідженнях. Наприклад, ряд одночасних, прямих вимірювань електричного опору провідника та його температури встановлення залежності опору від температури.

***За характером зміни величини, що вимірюється в часі*** вимірювання розрізняють на статистичні, статичні та динамічні.

Значення фізичної величини може бути знайдено за допомогою одноразового її виміру, або шляхом кількох, що випливають один за одним вимірів з наступною статистичною обробкою результатів. У першому випадку виміри називають одноразовими чи простими, у другому – вимірами з багаторазовими спостереженнями чи статистичними. При цьому під наглядом розуміють одноразовий відлік показання засобу виміру.

Статистичні виміри пов'язані з визначенням характеристик випадкових процесів, звукових сигналів, рівня шумів тощо.

Будь-який засіб вимірювань, як матеріальна система, має інерцію (механічну, теплову, електричну) і, отже, не може миттєво реагувати на зміну вимірюваної величини. Тому при вимірі змінної фізичної величини інерція засобу виміру призведе до деякого відставання показань засобу виміру від істинного значення величини в кожний момент часу. Очевидно, що це відставання залежатиме не тільки від інерційних (динамічних) властивостей засобів вимірювань, а й від швидкості зміни величини, що вимірюється.

У тому випадку, коли показання засобу виміру не залежать від його динамічних властивостей, або коли цією залежністю можна знехтувати, кажуть, що засіб виміру працює у статичному режимі, а самий вимір називають статичним. Інакше вимір відносять до динамічних вимірів.

***Статичними називаються виміри***, При яких вимірювана величина залишається постійною у часі у процесі виміру. Статичні виміри використовуються, як правило, для визначення взаємозв'язку між фізичними величинами одного й того самого об'єкта дослідження.

***Динамічними називаються виміри***, При яких вимірювана величина змінюється у часі у процесі виміру. Іншими словами вони показують зміну вимірюваної величини в часі при різних збуреннях, які впливають на об'єкт дослідження або засіб вимірювання. Такі виміри дають можливість вивчати динамічні властивості об'єкта та засобів вимірювальної техніки, особливо первинних перетворювачів (датчиків).

***Принцип вимірів****-*це фізичне явище чи сукупність фізичних явищ, покладених основою вимірів певної величини. Наприклад, вимірювання температури із застосуванням термоелектричного ефекту, зміни електричного опору терморезисторного перетворювача або зміни тиску термометричної речовини газового термометра та ін.

***Метод вимірів****-*це сукупність прийомів використання принципів та засобів вимірювань. У поняття методу вимірів входять як теоретичне обґрунтування принципів виміру, і розробка прийомів застосування засобів виміру.

Існує ряд методів вимірювань, з яких найбільш поширеними є: метод безпосередньої оцінки, метод порівняння з мірою та нульовий метод.

Метод безпосередньої оцінки передбачає визначення шуканої величини за відліковим пристроєм вимірювального приладу, наприклад по положенню вказівної стрілки манометра щодо його шкали.

Метод порівняння з мірою полягає в тому, що вимірювана величина порівнюється зі значенням, що відтворюється мірою для даної величини, наприклад, при вимірюванні довжини каліброваних метром.

Нульовий метод є різновидом методу порівняння із мірою. Тут результуючий вплив двох величин (вимірюваних і відтворюваних заходів), спрямованих назустріч один одному, доводиться до нуля. Приклад: вимірювання маси речовини на важелях з зрівноваженням каліброваними вантажами.

Похибки вимірювань. Класи точності засобів вимірювання

Відхилення результату виміру від справжнього значення вимірюваної величини називається похибкою виміру.

Оскільки результат будь-якого виміру завжди містить певну похибку, то завдання вимірювань входить як знаходження самої величини, а й оцінка допущеної при вимірі похибки. Якщо оцінка похибки результату фізичного виміру не зроблено, можна вважати, що вимірювана величина взагалі невідома, оскільки похибка може, взагалі кажучи, бути тієї самої порядку, як і сама вимірювана величина і навіть більше. У цьому полягає відмінність технічних вимірювань від побутових, в яких в результаті практичного досвіду заздалегідь відомо, що вибраний вимірювальний інструмент забезпечує прийнятну точність, а вплив випадкових факторів на результат вимірювань незначний порівняно з ціною поділу застосовуваного приладу.

Похибка результату кожного конкретного виміру складається з багатьох складових. Традиційно процес оцінки результатів вимірювання полягає у виділенні цих складових, їх вивченні та подальшому підсумовуванні.

У метрології прийнято таку класифікацію похибок (рис.3):

За способом висловлювання – абсолютні, відносні та наведені;

За характером зміни – систематичні, випадкові та грубі;

З причин виникнення – інструментальні та методичні;

За характером прояви – статичні та динамічні.

Насамперед похибка вимірювань слід розділити на похибку засобів вимірювань та похибку результатів вимірювань.

***Похибка засобів вимірювань***– відхилення метрологічних властивостей засобів вимірів від номінальних, що впливає на похибку результатів вимірів (інструментальні помилки вимірів).

***Похибка результату виміру***– відхилення результату виміру від дійсного (справжнього) значення вимірюваної величини.

***Абсолютною похибкою виміру*** фізичної величини, називається різниця між виміряним значенням цієї величини та його точним (дійсним) значенням:

 (3)

де - Абсолютна похибка;

– результат виміру;

- Справжнє значення вимірюваної величини.

Абсолютна похибка має розмірність вимірюваної величини.

Строго кажучи, у формулі (3) замість дійсного значення вимірюваної величинислід використовувати справжнє значення. Однак, як уже говорилося вище, воно є невідомим і використовується лише у теоретичних дослідженнях. Тому на практиці справжнє значення замінюють на його оцінку - дійсне значення вимірюваної величини.

Абсолютна похибка характеризує точність методу вимірів, але погано характеризує точність, з якою ми виміряли цю фізичну величину.

Наприклад, похибка зважування стрілочних технічних терезів, якими здебільшого оснащені продовольчі магазини, ∆Х=±5г. Якщо ми купуємо в магазині 1 кг цукру, то похибка вартості купованого цукру влаштовує і покупця і продавця. Але уявімо, що ми вирішили визначити фальшиві чи ні 5 копійок. Відомо, що нефальшивий п'ятак важить 5 г. Якщо п'ятак зважуємо на тих же вагах з похибкою ± 5 г, то, очевидно, встановити фальшивість монети ми не зможемо.

Відношення абсолютної похибки виміру до виміряного значення фізичної величини називається відносною похибкою виміру.

 (4)

Відносні похибки можуть виражатися безрозмірним числом чи відсотках. Відносна похибка характеризує якість не методу, а даного конкретного виміру, тобто як правильно підібрано співвідношення вимірюваної величини і абсолютної похибки виміру.

При покупці цукру 5г/1000 г = 0,005 = 0,5% - це добрий вимір. А щодо фальшивої монети 5г/5г=1=100%. Це дуже поганий вимір.

Ще раз. Абсолютна похибка неспроможна як така служить показником точності, т.к. одне й те значення абсолютної похибки може відповідати як досить високої, і досить низької точності. Справді, якщо виміряти довжину стрижняз абсолютною похибкою 10 мм (тобто із відносною похибкоюабо 1%) та відстань між двома станціями метроз такою самою абсолютною похибкою 10 мм (тобто з відносною похибкоюабо%). Можна зробити висновок, що хоча абсолютна похибка вимірювання в обох випадках однакова, перший вимір є досить грубим, а друге виконано з високою точністю. Тому при оцінці результатів вимірювання перевага віддається відносної похибки, як такою, що дає можливість об'єктивно зіставити результати та оцінювати якість вимірювань, виконаних у різний час або різними експериментаторами.

Але відносна похибка, хоча є досить наочною характеристикою точності результату виміру, не годиться для нормування похибки засобів вимірювань, т.к. значення відносної похибкизалежить від поточного значення, а припрагне нескінченності. Тому для вказівки та нормування похибки засобів вимірювань використовується ще один різновид похибки – наведена похибка.

***Наведена похибка*** визначається як відношення похибки вимірювального приладу до нормуючого значення. За нормуюче значення найчастіше приймається діапазон вимірювання приладу. Наведена похибка, зазвичай, виявляється у відсотках.

 (5)

Основна відмінність наведеної похибки від відносної полягає в тому, щовідноситься не до змінної поточної величиниа до постійної величини протяжності діапазону вимірювання приладу.

Мультиплікативність/адитивність

При аналізі похибок велике значення має поділ похибок за залежністю від значеньвимірюваної величини. Можна додати це ще один пункт класифікації. Отже, значення систематичної складової похибки можуть залежати від значення вимірюваної величини. Якщо абсолютна похибка вимірупри всіх значеннях вимірюваної величинипостійна, така похибка називається адитивною похибкою (у перекладі з латинського «одержувана шляхом складання») або похибкою нуля (рис.4,а).

Прикладами систематичних адитивних похибок є похибки від неточної установки приладів на нуль перед виміром. Для усунення таких похибок у багатьох засобах вимірювання передбачено механічний або електричний пристрій для встановлення нуля (коректор нуля). Приклад випадкової адитивної похибки - похибка від тертя в опорах механізму вимірювання.

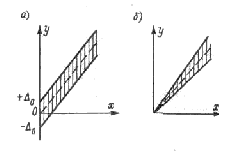


Рисунок – Графічне уявлення: а) адитивної похибки; б) мультиплікативної похибки.

Отже, якщо ∆=max(abs(yРСХ(x)-yHCX(x))=const, то такі ЗВТ називаються ЗВТ з переважаючою адитивною похибкою.

Відносна похибка визначається за виразом:

δ=∆/х\*100%, звідси випливає, що при зменшенні вимірюваної величини похибка ЗВТ зростає. Зобразимо це на графіку:

Dраб

δ, %

δ задане

Верхнє

Хнижнє

Якщо абсолютна похибка виміру пропорційна поточному значенню вимірюваної величинито така похибка називається мультиплікативною похибкою або похибкою чутливості (рис. 4,б).

В даному випадку:

∆=max(abs(yРСХ(x)-yHCX(x))=var

γ=∆/х\*100%=const

δ, %

δ

Верхнє

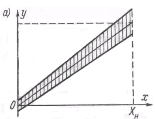
Хнижнє

δ задане

Причинами виникнення мультиплікативних похибок можуть бути зміна коефіцієнта посилення підсилювача, зміна жорсткості мембрани датчика манометра або пружини приладу та ін.

Наприклад, для платинових перетворювачів опору класу згідно з ГОСТ, межа основної допустимої похибки ∆t=±(0.3+0.005/t/), °С. Отже, адитивна складова похибки, що визначається розкидом опорів термоперетворювачів при температурі 0 °С, має перевищувати ±0,3 °С. А мультиплікативна, що залежить від відхилень чутливості, повинна бути в межах 0,005/t/ і підсумовуватися з адитивною похибкою.

Третій варіант: СІТ із сумірними мультиплікативною та адитивною похибкою. Відносна похибка



,

Високоточні прилади. Формальною відмітною ознакою для них є те, що їх клас точності згідно з ГОСТ 8.401—80 позначається не одним, а двома числами, що записуються через косу межу: у вигляді умовного дробу c/d, у чисельнику якого вказується (у відсотках) наведена похибка в кінці діапазону вимірювань, а знаменнику – наведена похибка в нулі діапазону.

***За характером зміни*** похибки поділяють на систематичні, випадкові та грубі.

***Грубою похибкою виміру*** називається похибка вимірювання, що істотно перевищує очікувану за даних умов. Раніше грубі похибки називалися промахами. Такі похибки можуть виникнути, наприклад, при різкій зміні напруги в мережі живлення (якщо воно, в принципі, впливає на результат вимірювання). Грубі похибки виявляють статистичними методами та зазвичай виключаються з розгляду. Також промахи виникають через недостатню уважність та акуратність, несправність приладів, неправильний запис результатів вимірювання тощо. У більшості випадків їх можна виявити, повторюючи вимірювання на іншій апаратурі, за іншою методикою або залучаючи до вимірювання іншого спостерігача.

***Систематичною похибкою виміру*** називається складова похибки вимірювання, що залишається постійною або змінюється за певним законом при повторних вимірах однієї й тієї самої величини. Наприклад: при визначенні часу ми користуємося годинником, який відстає на 5 хвилин; шкала термометра зсунута на 1 градус; вісь стрілки секундоміра не збігається із центром шкали. Основний відмітний ознака систематичних похибок у тому, що можуть бути передбачені і завдяки цьому майже повністю усуваються запровадженням відповідних поправок. Поправкою називається значення величини, яка додається до отриманого при вимірі значення з метою виключення систематичної похибки.

Джерелом систематичної похибки може бути, наприклад, неточне нанесення позначок на шкалу стрілочного приладу, деформація стрілки. Особлива небезпека постійних систематичних похибок полягає в тому, що їхня присутність у деяких випадках надзвичайно важко виявити. На відміну від випадкових або прогресуючих похибок, постійні систематичні похибки зовні себе ніяк не виявляють і можуть довгий час залишатися непоміченими. Єдиний спосіб їх виявити полягає у перевірці приладу шляхом повторної атестації зразкових заходів або сигналів.

***Випадковою похибкою*** називається складова похибки виміру, що змінюється випадковим чином при повторних вимірах однієї й тієї ж величини.

Випадкова складова похибки можлива через тертя в опорах рухомої частини приладу, коливань температури навколишнього повітря, вплив магнітних та електричних промислових перешкод тощо.

Оцінка випадкових похибок може бути проведена лише за результатами багаторазових вимірів. Вони визначаються сукупністю причин, що важко піддаються аналізу. Випадкові похибки легко виявляються (на відміну систематичних) при повторних вимірах як деякого розкиду результатів. Щоб виявити випадкову похибку, необхідно провести ряд повторних вимірів однієї й тієї самої величини. Якщо результат кожного вимірювання відрізнятиметься від інших результатів вимірювань, то має місце випадкова похибка. Таким чином, головною відмінністю випадкових похибок є їх непередбачуваність. Оцінити ці похибки можна на підставі теорії ймовірностей та математичної статистики, які дають методи оцінки ступеня наближення результату виміру до дійсного значення вимірюваної величини, дають можливість оцінити можливі межі похибок. До того ж дозволяють уточнити результат, тобто. визначити значення вимірюваної величини, ближчий до дійсного значення, ніж результат одноразового спостереження.

***Прогресуючими похибками*** називаються непередбачувані похибки, що повільно змінюються у часі. Ці похибки зазвичай викликаються процесами старіння тих чи інших деталей апаратури (розрядка джерел живлення, старіння резисторів, конденсаторів, деформація механічних деталей, усадка паперової стрічки в самописних приладах тощо). Особливістю прогресуючих похибок і те, що можуть бути скориговані запровадженням поправки лише у заданий час, а далі знову непередбачено зростають.

Тому на відміну від систематичних похибок, які можуть бути скориговані поправкою, прогресуючі похибки вимагають безперервного повторення корекції і тим частішою, чим менше має бути їхнє залишкове значення. Систематичні похибки мають певне значення і знак і усуваються введенням поправки.

На закінчення описаного поділу похибок засобів та результатів вимірювань необхідно звернути увагу, що таке поділ є дуже спрощеним. Завжди слід пам'ятати, що насправді ці складові похибки виявляються разом і утворюють єдиний нестаціонарний випадковий процес.

Класифікації похибок через виникнення (інструментальні, методичні та інших.). Класифікації похибок залежно від швидкості зміни величини, що вимірюється (статичні, динамічні).

Обов'язковими компонентами будь-якого виміру є засіб виміру, метод виміру та людина, яка проводить вимір. Недосконалість кожного з цих компонентів призводить до появи своєї складової похибки результату.

У зв'язку з цим з причин виникнення розрізняють інструментальні, методичні та особистісні похибки. Складова похибки вимірювання, що залежить від похибок засобів вимірювань, що застосовуються, називається похибкою засобів вимірювання або інструментальною похибкою. Складова похибка вимірювання, викликана недосконалістю методу вимірювання, називається похибкою методу вимірювання або методичною похибкою. Складає похибки, що залежить від особистих якостей експериментатора називається особистісною похибкою.

Наприклад, ми вимірюємо довжину кривої лінії лінійкою. По-перше, у нас виникає методична похибка виміру за рахунок того, що використання лінійки для виміру довжини кривої є методом недосконалим. По-друге, дійсна довжина лінійки відповідає довжині, зазначеної на шкалі лінійки. У зв'язку з цим виникає складова похибки, викликана недосконалістю засобу виміру (лінійки), яка є похибкою засобу виміру.

У загальній похибці приладу може бути систематична, і випадкова складові.

***Інструментальними похибками*** називаються такі похибки, що належать даному засобу вимірювань, можуть бути визначені при його випробуваннях та занесені до його технічного паспорта.

Інструментальна похибка обумовлена ​​недосконалістю засобів вимірювань, що застосовуються. Причинами її виникнення є неточності, допущені при виготовленні та регулюванні приладів, зміна параметрів елементів конструкції та схеми внаслідок старіння.

Однак, крім інструментальних похибок, при вимірах можуть виникати ще й такі похибки, які не можуть бути приписані даному приладу та не можуть бути зазначені у технічному паспорті. Такі похибки називають методичними похибками, тобто. пов'язаними не із самим приладом, а з методом його використання.

Прикладом особистісної похибки є, наприклад, похибка операції квантування (тобто округлення показань) при відліку зі шкали аналогового приладу. Вона проявляється в тому, що спостерігаючи показання приладу, що дорівнює, наприклад, 77 поділів, одні спостерігач фіксує його як 77,0, інший як 77,1, а третій як 76,9. Природно, що такі похибки, як методична та особистісна, не можуть бути зазначені в технічному паспорті використовуваних приладів.

Найчастіше зустрічається причиною виникнення методичних похибок і те обставина, що організуючи виміри, ми змушені вимірювати (чи свідомо вимірюємо) не ту величину, яка має бути виміряна, а деяку іншу, близьку, не рівну їй. Прикладом такої методичної похибки може бути похибка вимірювання струму амперметром або вольтметром напруги.

Як відомо, для вимірювання будь-якого технологічного параметра необхідно підключити до об'єкта вимірювання вимірювальний ланцюг. Процес вимірювання при цьому можна розглядати як таку дію об'єкта на вимірювальний ланцюг, завдяки якому сигнал, що вимірюється, перетворюється в результат вимірювань. Разом про те відбувається і протилежне явище: вимірювальний ланцюг впливає об'єкт вимірів. Такий вплив вимірювального ланцюга на об'єкт виявляється у зміні його параметра, що вимірюється. Тому насправді ми завжди вимірюємо спотворене значення параметра.

При вимірюванні струму на ділянці електричного ланцюга за допомогою амперметра ця ділянка ланцюга є об'єктом вимірювання, а амперметр – вимірювальним ланцюгом. Тут вплив вимірювального ланцюга на об'єкт вимірювання полягає у збільшенні опору ділянки ланцюга в результаті включення до нього амперметра, що призводить до зменшення струму, що вимірюється.

Так само при вимірюванні напруги на ділянці електричного ланцюга за допомогою вольтметра ця ділянка є об'єктом вимірювання, а вольтметр – вимірювальним ланцюгом. Тут вплив вимірювального ланцюга на об'єкт вимірювання проявляється у шунтуванні ділянки ланцюга вольтметром. Загальний опір ділянки, отже, і напруга у ньому зменшуються.

Непоодинокі випадки, коли важко вказати метод вимірювання, що виключає методичну похибку. Нехай, наприклад, виміру підлягає температура розпечених болванок, що надходять із печі прокатний стан. В цьому випадку залишається не ясним, де розмістити датчик температури: під болванкою, збоку або над нею. Де ми помістили датчик, ми виміряємо внутрішньої температури тіла болванки, тобто. матимемо суттєву методичну похибку, тому що вимірюємо не те, що потрібно, а те, що можливо (Не свердлити ж у кожній болванці канал для розміщення термопари).

*Таким чином, основною відмінністю методичних похибок є та обставина, що вони повинні оцінюватися самим експериментатором при організації обраної методики вимірювань. У зв'язку з цим експериментатор повинен чітко відрізняти фактично вимірювану ним величину від вимірювання, що підлягає. Така оцінка є досить складною.*

Вище ми визначили статичний та динамічний режими роботи засобу вимірювання. Відповідно, виділяють статичні та динамічні складові похибки. Ці похибки притаманні як засобам, і методам вимірів.

***Динамічна складова похибки*** виникає під час роботи засобу виміру в динамічному режимі і визначається двома факторами: динамічними (інерційними) властивостями засобу вимірювань та характером (швидкістю) зміни вимірюваної величини. При вимірах детермінованих (тобто точно визначених у час) сигналів динамічні похибки зазвичай розглядаються як систематичні. При випадковому характері величини, що вимірюється, динамічні похибки доводиться розглядати як випадкові.

Відповідно похибки, що не залежать від швидкості зміни вимірюваної величини та динамічних властивостей засоби вимірювання називають статичними похибками.

Характеристики засобів вимірювальної техніки. Повірка засобів вимірювання

Для точних вимірювань фізичних величин у метрології розроблені способи використання принципів та засобів вимірювальної техніки, застосування яких дозволяє виключити з результатів вимірювань ряд систематичних та випадкових похибок та позбавити експериментатора необхідності вводити поправки для їх компенсації, а в деяких випадках взагалі отримувати достовірні результати.

Перелічені вище види вимірювань включають різні методи, тобто способи вирішення вимірювальної задачі з теоретичним обґрунтуванням та розробкою використання засобів вимірювань за прийнятою методикою виконання вимірювань.

Вимірювання фізичних величин зазвичай здійснюється шляхом експерименту та обчислень за допомогою спеціальних технічних засобів. Залежно від виду вимірюваних величин, необхідної точності вимірювань, умов проведення експерименту та виду інформації використовуються різноманітні засоби вимірювальної техніки, що видають відповідні сигнали вимірювальної інформації. Будь-яка фізична величина за допомогою засобів вимірювання перетворюється на відповідний сигнал, який спостерігач сприймає на шкалі приладу, або після перетворення і обробки передається по каналах зв'язку до інших засобів вимірювання у вигляді сигналу зовсім іншої фізичної величини. Наприклад, вимірювання температури, тиску, в'язкості супроводжується перетворенням вимірюваної величини сигнал (електричний, пневматичний, механічний),

***Засоби вимірювальної техніки***(засоби вимірів) – технічні засоби, які застосовуються при вимірах і мають нормовані метрологічні характеристики.

Класифікація засобів вимірювань

Сучасні засоби вимірювань ділять на заходи, вимірювальні перетворювачі, вимірювальні прилади, вимірювальні пристрої та вимірювальні системи.

***міра***- Засіб вимірювання, що відтворює фізичну величину відомого розміру. Наприклад, гирі, вимірювальні резистори, вимірювальні конденсатори. Розрізняють однозначні заходи, багатозначні заходи та набори заходів. Прикладами багатозначних заходів можуть бути лінійка, магазин опорів (резисторів) тощо. Вимірювання за допомогою заходів здійснюють шляхом порівняння.

***Вимірювальний перетворювач***– засіб вимірювання, призначений для перетворення сигналів вимірювальної інформації на форму, доцільну для передачі, обробки або зберігання. Ця інформація, як правило, недоступна для безпосереднього сприйняття спостерігачем.

Вимірювальні перетворювачі досить різноманітні як за принципом дії, і характером вихідного сигналу. Вони класифікуються за видом вимірюваної величини (перетворювачі температури, тиску, рівня, в'язкості та ін.), за принципом дії та використання енергії живлення (пневматичні, електричні, гідравлічні та ін.), за видом та характером вихідного сигналу (безперервні та дискретні).

Важливою характеристикою первинного вимірювального перетворювача є функціональна залежність між вимірюваною величиною і вихідним сигналом перетворювача (переважно лінійна залежність).

***Вимірювальний пристрій***– засіб вимірювання, призначене перетворення сигналів вимірювальної інформації у форму, доступну сприйняття спостерігачем.

Всі вимірювальні прилади мають відліковий пристрій. Воно може бути виконане у вигляді шкали та вказівника – стрілки. Такий пристрій називають аналоговим. Якщо показання пристрою мають цифрову форму, то пристрій називають цифровим.

Якщо у приладі здійснюється реєстрація показань, то прилад називають реєструючим. Якщо прилад має контактні пристрої для керування, то прилад називають регулюючим.

***Вимірювальними пристроями називають***засоби вимірювань, що складаються з вимірювальних приладів та вимірювальних перетворювачів. Вимірювальні пристрої в залежності від їх призначення та функції поділяють на первинні, проміжні та вторинні вимірювальні пристрої (прилади).

Первинний прилад- Засіб вимірювання, до якого підведена вимірювана величина. Проміжний вимірювальний пристрій забезпечується перетворювачем. Вторинним приладом називають пристрій вимірювання, призначений для роботи в комплекті з первинним або проміжним приладом.

***Вимірювальна система***– сукупність функціонально об'єднаних засобів вимірювань та допоміжних пристроїв, з'єднаних між собою каналами зв'язку, призначена для перетворення сигналів вимірювальної інформації у форму, зручну для автоматичної обробки, передачі, використання в автоматичних системах управління та доступну для сприйняття спостерігачем.

***Компаратор***- Вимірювальний пристрій, що реалізує порівняння однорідних фізичних величин.

Залежно від призначення, пристрою, принципу дії, засоби вимірювальної техніки мають різні характеристики, що визначаються точністю, правильністю, чутливістю, відображенням, збіжністю, швидкодією та надійністю роботи.

Результати вимірюваної величини визначаються за шкалою приладу. Шкала – сукупність відміток та проставлених у деяких із них чисел відліку або інших символів, що відповідають ряду послідовних значень величини. Ціною розподілу шкали називають різницю значень вимірюваної величини, що відповідають двом сусіднім відміткам шкали.

Шкали бувають (рис. 15): прямолінійні, дугові, рівномірні (а,б,в,г), нерівномірні (істотно нерівномірні (д) і статечні (е)), кругові, з нулем на початку та посередині шкали та ін.

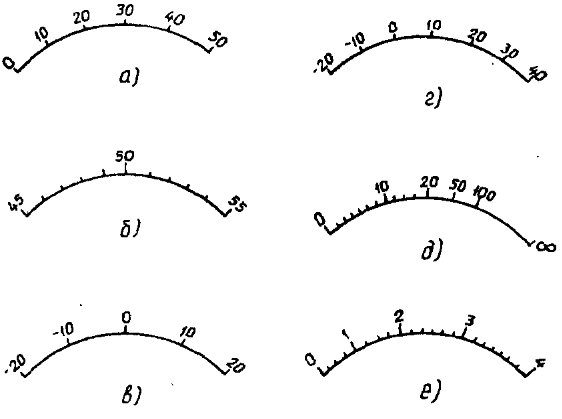


Рисунок – Види шкал засобів вимірів

Область значень шкали, обмежена кінцевим і початковим значеннями шкали, визначає діапазон вимірювань, а частина діапазону, для якої нормовані похибки вимірювань, називається діапазоном вимірювань.

Найбільше та найменше значення діапазону вимірювання називаються межами виміру.

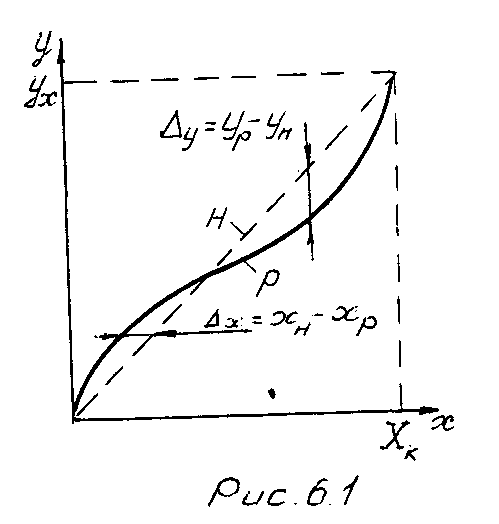
Впливає фізичної величиною називають фізичну величину, яка не вимірюється цим засобом вимірювання, але при цьому впливає на вихідний сигнал засобу вимірювання (результат виміру). Основними впливовими величинами може бути час, температура, напруга живлення та ін.

Умови застосування засобів вимірювань, за яких впливові величини перебувають у межах нормальної області значень, називаються нормальними умовами (зазвичай 20 ° С, 760 мм.в.ст.). За нормальних умов визначається основна похибка засобів вимірювань. Крім нормальних значень у стандартах чи технічних умовах кошти вимірювання встановлюється робоча область значень впливають величин, не більше якої нормується додаткова похибка цих засобів вимірювання.

Градуювальною характеристикою засобу вимірювання називають залежність вихідного сигналувід вхідного, тобто.яка може бути представлена ​​у вигляді таблиці, графіка або формули.

Наявність похибок засобу вимірювань призводить до того, що їх характеристики в деяких межах неоднозначні. Так, за експериментального визначення характеристики засобу виміру (перетворювача), тобто. при його градуюванні, виходить ряд точок більш менш близьких до передбачуваної характеристики. Однак при повторному градуюванні виходить ряд точок, що не збігаються з первісним. Така сама картина спостерігатиметься для серії однотипних засобів вимірювань. Отже, характеристики реальних засобів вимірів виявляються неоднозначними і графіку замість однієї лінії утворюють деяку смугу.

Тому в теорії вимірювальної техніки вводиться поняття смуги невизначеності або смуги похибок, а також поняття нормальної характеристики як детермінованої середньої лінії цієї смуги, яка приписується засобам вимірювання даного типу і вказується в паспорті. Малюнок.



Приписування засобу вимірювання градуювальної характеристики називається градуюванням. Неоднозначність градуювальної характеристики при збільшенні та зменшенні вимірюваної величини характеризується варіацією. Під варіацією розуміють різницю показань приладу, отриману при повірці, при прямому і зворотному ході, при тому самому значенні вимірюваної величини. Варіація характеризує залежність характеристики приладу напряму зміни вимірюваної величини. Варіацією називається найбільша різниця між двома показаннями засобу вимірювання, коли те саме дійсне значення вимірюваної величини досягається в результаті її збільшення або зменшення:



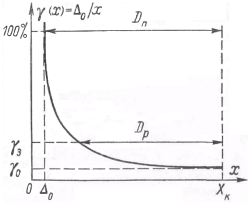
Відношення зміни сигналу на виході вимірювального приладудо зміни його вимірюваної величини (вхідного сигналу) називається чутливістю вимірювального приладу. Що стосується вимірювальних перетворювачів це ставлення називають коефіцієнтом перетворення (коефіцієнтом передачі).

Під порогом чутливості розуміють найменшу зміну вимірюваної величини, здатне викликати зміну показань вимірювального пристрою або вихідного сигналу перетворювача.

Якість засобу виміру, що відбиває незмінність у часі його метрологічних властивостей, називається стабільністю засобу виміру. Як правило, вона характеризується стабільністю його градуювальної характеристики.

Швидкодія засоби вимірювання- Час, що витрачається на один вимір. Для аналогових приладів швидкодія визначається часом встановлення показань (часом заспокоєння) – проміжком часу з зміни вимірюваної величини досі встановлення показань приладу. Для цифрових приладів швидкодія визначається як відношення числа вимірів за деякий проміжок часу цього проміжку.

Основні способи встановлення меж допустимих похибок та позначення класів точності засобів вимірювань встановлені ГОСТ 8.401-80. Основна похибка засобу виміру нормується чотирма різними способами.



20 – Зміна відносної похибки.

Звідси повний діапазонвимірюваних величин будь-якого перетворювача обмежується знизу порогом чутливості, а зверху – межею виміру. Оскільки в області малих значеньпохибка вимірів дуже велика, то робочий діапазонобмежують знизу таким значенням, при якому відносна похибка вимірівне перевищує деякого заздалегідь заданого значення, рівного, наприклад, 4, 10 або 20%. Таким чином, робочий діапазон визначається досить довільно (рис. 20) і складає лише деяку частину повного діапазону засобу вимірювання. У початковій частині шкали вимірювання неприпустимі, у чому полягає негативний вплив адитивної похибки, що дозволяє використовувати один і той же перетворювач для вимірювання як великих, так і малих величин.

**Класом точності**називається узагальнена характеристика засобів вимірювань, що визначається межами допустимих основних та додаткових похибок, а також іншими властивостями засобів вимірювань.

Іншими словами, клас точності – це число, знаючи, яке можна визначити похибку вимірювання приладу. Клас точності може вказуватись у технічній документації, на шкалах та шильдиках (таблички, закріплені на видному місці корпусів приладів, із зазначенням їх характеристик).

Основою для присвоєння засобами вимірювань класу точності є їхня основна похибка та спосіб її вираження.

ГОСТ 8.401-80 передбачає вираз класу точності за допомогою відносних чисел та абсолютних значень похибки. Якщо клас точності виражається відносним числом, то це число вибирається з ряду:



Де n-показник ступеня може набувати значення. Значення, зазначені в круглих дужках, для засобів вимірювання, що знову розробляються, застосовувати не рекомендується.

ГОСТ встановлює такі способи позначення класів точності:

На шкалі приладу просто вказано число наведеного ряду, наприклад 0,2. Це означає, що наведена похибка дорівнює



Ще раз згадаємо, що називається наведеною похибкою – відношення межі основної похибки, що допускається, до нормуючого значення вимірюваної величини. Нормуюче значення, виражене у тих самих одиницях, як і.

Нормуюче значення при обчисленні основної і додаткових похибок або меж похибок, що допускаються, приймається рівним:

Для засобів вимірювання з односторонньою шкалою – верхній межі вимірювань.

Для засобів вимірювань із двосторонньою шкалою – арифметичній сумі верхньої та нижньої меж вимірювання.

Для засобів вимірювання з безнульовою шкалою – різниці верхньої та нижньої меж вимірювань, тобто діапазону вимірювань.

Для СІ із встановленим номінальним значенням нормуюче значення приймається рівним цьому номінальному значенню. Наприклад, для частотоміра з діапазоном вимірювань 45-55 Гц та номінальною частотою 50Гц нормуюче значення Хн=50 Гц.

Слід звернути увагу на те, що для способу нормування похибок СІ, що розглядається, має місце рівність:

Приклад:

Вторинний прилад з безнульовою шкалою і діапазоном вимірювань 25-50мВ класу точності 0,5 має межі основної похибки показань γ=±0,5%. Визначимо межі основної абсолютної похибки показань, що допускається.

Отже, по-перше, згідно з цим визначенням, нормуюче значення для даного приладу визначається як:

Xn=xверхн-хнижній

На шкалі приладу вказано число наведеного ряду, підкреслене кутом. Шкала приладу значно нерівномірна. У цьому випадку також γ-наведена похибка, але Хн встановлюють рівним усій довжині шкали або її частини, що відповідає діапазону вимірювань.

На шкалі приладу вказано число наведеного рядка, обведене кружком. І тут це число встановлює відносну похибку δ, виражену у відсотках. Наприклад, межа вимірювання приладу 100мА при вимірі стрілка відхиляється на 80мА. В цьому випадку:

Межа основної похибки, що допускається

∆=δ\*Х=±0,01\*80=±0,8мА.

Клас точності на приладі може бути виражений за допомогою двох чисел того ж ряду, розділених косою межею. У цьому випадку відносна похибка обчислюється за такою формулою:

Для засобів вимірювань, межі основної похибки яких виражаються у формі абсолютних похибок

A,b - позитивні числа,

Або у формі відносних похибок, причому останні встановлені у вигляді графіка, таблиці чи формули, відмінної від розглянутих вище.

Значення похибок засобів вимірювань встановлюються відповідно до стандартів та вимог за нормальних умов їх експлуатації, а також при відхиленні впливових величин від нормальних значень.

Під нормальними умовами розуміють такі умови експлуатації засобів вимірювання, за яких величини, що впливають на процес вимірювання (температура, вологість, тиск, частота, напруга, зовнішні магнітні поля, вібрація тощо) мають нормальні значення, які встановлюються стандартами або вказуються в технічні умови для відповідних засобів вимірювання як номінальні значення з відхиленнями.

Відповідно до стандарту, нормальні умови експлуатації засобів вимірювальної техніки – умови, за яких величини, що мають зовнішній вплив, мають нормальні значення або перебувають у межах нормального інтервалу значень. Похибка, властива засобам виміру, які працюють за нормальних умов експлуатації, називається основною похибкою та нормується межами допустимої основної похибки. Тільки тоді, коли основна похибка вбирається у допустимих меж, засіб вимірювальної техніки допускається до використання за призначенням.

Межі допустимої основної похибки засобів вимірювання задаються як абсолютних, відносних і наведених похибок.

Додатковою називається похибка, властива засобам вимірювальної техніки, які використовуються для вимірювання в умовах відхилення впливів, що обурюють, від їх нормального значення.

Основні та додаткові похибки визначаються межами допустимих основних та додаткових похибок і задаються формулами або встановлюються за таблицями граничних допустимих абсолютних та наведених похибок для різних номінальних значень впливів, що обурюють.

**Державна система промислових** приладів у приладобудівній промисловості створено з метою економічно та технічно доцільного вирішення проблеми забезпечення технічними засобами систем контролю, регулювання та управління технологічними процесами для різних галузей народного господарства.

В основу побудови та розвитку ГСП покладено такі системотехнічні принципи:

можливість зведення різноманіття функцій автоматичного контролю, регулювання та управління до обмеженого числа типових функцій;

мінімізація номенклатури технічних засобів з урахуванням максимального задоволення потреби народного господарства на основі створення агрегатних комплексів технічних пристроїв та параметричних рядів приладів;

побудова технічних засобів (приладів та пристроїв) на основі типових уніфікованих блоків та модулів;

агрегатна побудова складних систем керування на основі уніфікованих приладів та пристроїв;

сумісність приладів та пристроїв ГСП при роботі на основі:

уніфікації сигналів зв'язку, що використовуються для обміну інформацією між виробами ДСП у системах контролю та регулювання (інформаційна сумісність);

уніфікації конструкцій та приєднувальних розмірів (конструктивна сумісність);

уніфікації експлуатаційних вимог (експлуатаційна сумісність);

уніфікації метрологічних характеристик засобів вимірювання та забезпечення на цій основі раціональної побудови вимірювальних ланцюгів у системах (метрологічна сумісність).

Системні принципи, покладені основою побудови ДСП, дозволяють економічно і технічно раціонально вирішити проблему забезпечення технічними засобами АСУ ТП.

Перший із зазначених системотехнічних принципів побудови ГСП знайшов своє відображення в тому, що всі вироби ГСП за функціональною ознакою виявилося можливим поділити на наступні групи пристроїв:

група одержання інформації про стан процесу;

група прийому, перетворення та передачі інформації по каналах зв'язку;

група перетворення, зберігання та обробки інформації, формування команд управління, зв'язку з оперативним персоналом;

Група використання командної інформації для впливу на об'єкт управління.

У першу групу пристроїв входять датчики, що нормують перетворювачі, що формують уніфікований сигнал зв'язку, та інші вимірювальні пристрої, що несуть інформацію про контрольовану (вимірювану) фізичну величину. До цієї групи належать також пристрої формування алфавітно-цифрової інформації, що вводиться оператором вручну або автоматично. Засоби цієї групи призначені для перетворення вимірюваної величини (параметра) на зручний для сприйняття, передачі та обробки сигнал вимірювальної інформації. За принципом дії виробу цієї групи можуть бути різними. Характерною особливістю виробів цієї групи є те, що вони встановлюються безпосередньо на об'єкті та взаємодіють із вимірюваним середовищем.

До другої групи пристроїв відносяться різні перетворювачі сигналів та кодів, комутатори сигналів, шифратори та дешифратори, погоджувальні пристрої, а також системи дистанційної передачі сигналів вимірювальної інформації. Ці пристрої використовуються для перетворення сигналів, що несуть вимірювальну інформацію, так і сигналів, що несуть команди управління.

До третьої групи пристроїв відносяться технічні засоби для обробки та відображення вимірювальної інформації та формування керуючих впливів: аналізатори сигналів, функціональні та операційні перетворювачі, логічні пристрої, пристрої пам'яті, регулятори, задатчики, програмні задатчики, а також керуючі обчислювальні пристрої та комплекси. У функціональному відношенні ці засоби є найскладнішими, оскільки вони реалізують алгоритми автоматичного управління від найпростіших завдань стабілізації окремих параметрів до автоматизації підприємств.

Четверту групу пристроїв становлять вироби електричних пневматичних та гідравлічних виконавчих механізмів, підсилювачі потужності та допоміжні пристрої до них, а також пристрої подання інформації. Вироби цієї групи взаємодіють із об'єктом через регулюючі органи.

Залежно від зовнішньої енергії вироби ГСП класифікуються як електрична, пневматична і гідравлічна гілки і гілка без використання зовнішньої енергії. Зв'язок електричних, пневматичних та гідравлічних пристроїв здійснюється за допомогою відповідних перетворювачів сигналів.

***Електрична гілка ДСП***– це прилади та засоби автоматизації, у яких для живлення використовується зовнішня електрична енергія, а енергетичним носієм інформації є електричний сигнал. Електрична гілка поділяється на аналогову та дискретну гілки ГСП із відповідними уніфікованими сигналами. Найбільшого поширення набули електричні засоби вимірювальної техніки з струмовими сигналами від 0 до 5 мА та від 4 до 20 мА, а за напругою від 0 до 10 Ст.

Використання приладів електричної гілки надає засобам вимірювання якості високої чутливості, точності, швидкодії, дальності зв'язку.

***Пневматична гілка ГСП***– це прилади та засоби автоматизації, у яких для живлення використовується стиснене повітря 140 кПа, а енергетичним носієм інформації є стандартний пневматичний сигнал від 20 до 100 кПа.

Прилади пневматичної гілки характеризуються безпекою застосування у легкозаймистих та вибухонебезпечних середовищах, високою надійністю у важких умовах роботи, особливо при використанні в агресивній атмосфері. Виробництво цього виду пристроїв в даний час дешевше, ніж електронних приладів того ж призначення. Проте пневматичні прилади поступаються електронним у випадках, коли технологічний процес вимагає великої швидкодії чи передачі сигналів на значні відстані (понад 300 м).

***Гідравлічна гілка ГСП***– це прилади та засоби автоматизації, у яких джерелом зовнішньої енергії є стиснена рідина, а носієм інформації – гідравлічні сигнали. Робоча рідина (турбінне або трансформаторне масло або вода) знаходиться під тиском від 0,16 до 6,4 МПа. Гідравлічні прилади дозволяють отримувати точні переміщення виконавчих механізмів при великих зусиллях, що перестановлюють.

***Комбінована гілка ГСП***– ряд приладів та засобів автоматизації, об'єднаних за допомогою перетворювачів, на основі яких розроблені системи автоматизації з урахуванням конкретних умов роботи: висока вологість, пожежо- та вибухонебезпечність, інерційність та ін. Найчастіше застосовуються пневматичні датчики з електричними приладами.

***Гілка приладів та засобів ДСП, що працюють без зовнішнього джерела енергії***, а за рахунок енергії середовища, параметри якого вимірюються та регулюються.

Уніфіковані сигнали ГСП

Електричні

Пневматичні

Постійного струму

Змінного струму

Напруження

4-8 кГц

2-4 кГц

(амплітуда 60-160 мВ, 160-600 мВ, 0,6-2,4 В,

2,4-12 В)

Токові

0-5 мА

-5-0-5 мА

0-20 мА

-20-0-20 мА

4-20 мА

Напруження

Частотні

0-10 В

-10-0-10 мВ

0..100 мВ

-1-0-1 В

0-1 В

0-10 В

-1-0-1 В

0-2 В

(Частота 50 або 400 Гц)

Цифрові

0.02-0.1МПа

Промислові інтерфейси:

RS-232,

RS-422,

RS-485

Гідравлічні

0,16-6,4 МПа

**Загальні відомості про перевірочні схеми**

Для забезпечення правильної передачі розміру одиниць фізичних величин у всіх ланках метрологічного ланцюга (від еталонів до зразкових коштів, а від них до робітників) слід дотримуватися певного порядку та послідовності. Цей порядок забезпечується з допомогою перевірочних схем.

Перевірочна схема – нормативний документ, який регламентує метрологічну підпорядкованість засобів вимірювальної техніки, що використовуються для передачі розміру одиниці фізичної величини від еталона або вихідного зразкового засобу вимірювальної техніки до інших засобів вимірювальної техніки із встановленням методів та похибок передачі.

Перевірочна схема – це вихідний документ, який встановлює метрологічну впорядкованість еталонів, зразкових засобів вимірювальної техніки, та порядок передачі розміру одиниці фізичної величини зразковим та робочим засобам вимірювань. Вихідні положення та основні відомості про перевірочні схеми наведені у державному стандарті «Державна система забезпечення єдності вимірювань. Повірочні схеми (основні положення)».

У перевірочній схемі вказується назва затвердженого національного стандарту, вторинних стандартів, зразкових і робочих засобів вимірювальної техніки, способи перевірки. Крім цього, у перевірочній схемі наводяться похибки відтворення та передачі розміру одиниці кожному засобу вимірювання, представленому у схемі, а також вказуються заходи, вимірювальні прилади та вимірювальні перетворювачі, що використовуються у відповідній галузі вимірювальної техніки.

У перевірочних схемах подаються методи перевірки, які поділяються на такі види:

Безпосереднє порівняння засобів вимірювальної техніки із зразковими засобами вимірювальної техніки аналогічного виду;

Порівняння засобів вимірювальної техніки з використанням приладу порівняння;

Повірка вимірювального приладу зразковою мірою шляхом вимірювання ним величини, відтвореної мірою;

Прямий вимір зразковим вимірювальним приладом величини, яка відтворюється мірою, що підлягає перевірці;

Непрямі вимірювання величини, яка відтворюється мірою або вимірюється приладом, що підлягає повірці.

Держстандартом розроблено перевірочні схеми для різних величин: фізичних, лінійних, кутових, механічних, теплових, електричних, іонізуючих випромінювань та ін.

Способи перевірки засобів вимірювальної техніки

У перевірочних схемах представлені різні методи перевірки засобів вимірювальної техніки за зразковими засобами вимірювань, а останніх – за стандартами. Повірка – це процес порівняння показань повіреного засобу виміру із зразковим засобом з метою визначення його основних похибок та класу точності.

Перевірка засобів вимірювальної техніки – це визначення метрологічних органів похибок засобів вимірювань та визначення їх придатності до використання.

Перевірка засобів вимірювань може проводитись одним із двох методів.

Метод вимірювання величин, відтворених зразковими заходами відповідного розряду або класу точності, серед значень яких вибирається значення, що дорівнює відповідним оцифрованим поділом шкали приладу. Найбільша різниця між результатами вимірювань та відповідними їх розмірами мірами вважається основною похибкою приладу.

Метод порівняння приладу, що повіряється, і зразкового приладу при вимірюванні однієї і тієї ж величини. Відмінність у їх показаннях при вимірі різних значень вимірюваної величини становитиме основну похибку приладу, що повіряється. Цей метод можна застосовувати двома способами.

Перший спосіб полягає в тому, що вимірювана величина змінюється до певних значень, встановлених за зразковим засобом вимірювання, а похибка визначається за показаннями приладу, що повіряється. Це спосіб зручний при автоматизації перевірочних робіт, коли одночасно перевіряється кілька приладів (наприклад, технічних манометрів за допомогою вантажопоршневих манометрів).

Другий спосіб полягає в тому, що вимірювана величина змінюється до певних встановлених значень приладом, що повіряється, а похибка встановлюється за зразковими засобами вимірювання як відхилення від відповідного поділу (штриха) шкали. Переваги цього способу полягають у тому, що він дає можливість точно визначити похибку зразкового приладу, шкала якого має більшу кількість поділів.

При перевірках важливим є вибір оптимального співвідношення між допустимими похибками зразкових засобів вимірювань та повіреними. Як правило, це співвідношення приймається рівним 1:3, коли поправка вводиться на показання зразкових засобів вимірювань. Якщо поправка не вводиться, то приймається співвідношення 1:5. Необхідна точність зразкових засобів вимірювань та їх типи регламентуються стандартами щодо методів перевірки.

Співвідношення допустимих похибок засобів і зразкових засобів вимірювань, що повіряються, встановлюється з урахуванням обраного методу повірки, характеру похибок, допустимих значень шлюбу і помилково забракованих приладів.

Обробка результатів прямих вимірювань. Розрахунок помилки опосередкованих вимірювань

Багаторазові (статистичні) виміри проводяться з метою зменшення впливу випадкових похибок та підвищення точності шляхом обробки результатів групи спостережень. При повторенні вимірювань ми отримуємо інформацію лише про випадкову похибку. Про систематичну похибку із самих спостережень витягти інформацію не можна. Щоб оцінити цю похибку, треба знати властивості використовуваних засобів вимірювань, метод вимірювання та умови виміру. Надалі припускатимемо, що результати вимірювань вільні від систематичних та грубих похибок. Крім того, вважатимемо, що похибки розподілені за нормальним законом.

Вимірювання однієї й тієї ж величини, що проводяться в одних і тих же умовах, одними й тими самими людьми називаються прямими рівноточними вимірами.

У математичній статистиці доведено, що оцінкою справжнього математичного очікування вимірюваної величини є середнє арифметичне результатів вимірів.



де Хi - результат i - того виміру;

*n*- число вимірів

Різниця між результатом виміру та середнім значенням називається випадковим відхиленням. Остання має дві важливі властивості.

1. Алгебраїчна сума випадкових відхилень дорівнює нулю, тобто.



Цією властивістю можна скористатися контролю правильності обчислень. Якщо при обчисленні користувалися правилом заокруглень, то відхилення від нуля дозволить оцінити правильність заокруглень.

2. Сума квадратів випадкових відхилень має мінімальне значення



Це слід розуміти так. Якщо знайти відхилення від будь-якого іншого числа, то сума квадратів таких відхилень виявиться більшою, ніж сума квадратів відхилень від**.

Середня квадратична похибка результату та середнього арифметичного

Незміщена оцінка середнього квадратичного відхилення результату спостережень визначається за формулою



Середнє значенняобчислюють на підставі кінцевого числа дослідів n, отже воно відрізняється від істинного на деяку величину, іншими словами, має похибку. Якщо випадкові похибки окремих вимірів підпорядковуються нормальному закону розподілу, то й похибка середніх значень.*i* повторних рядів підпорядковується цього ж закону, але з іншим меншим розсіюванням.

Середня квадратична похибка середнього арифметичного, отриманого з n вимірів, визначається за формулою



При n → ∞ значення*→ 0*, а значенняпрагне справжнього значення Х. Підвищення точності результату виміру йде значно повільніше, ніж збільшення числа вимірів. Так, щоб збільшити точність у 10 разів, кількість вимірювань необхідно збільшити у 100 разів. Збільшення числа вимірів має сенс лише тоді, коли випадкова похибка є основною складовою загальної похибки виміру. Якщо ж переважає систематична похибка і її не можна виключити, збільшення числа n нічого не дасть.

Обчислення середнього значення та середньої квадратичної похибки за допомогою довільного числа

Коли числа багатозначні та їх багато, користуватися наведеними вище формулами незручно. Для полегшення розрахунків вибирають довільно деяке кругле або близьке до очікуваного середнього число Х0. Тоді середнє значення та середню квадратичну похибку можна визначити за формулою

При розрахункуі δ зазвичай використовують на одну значну цифру більше, ніж у вихідних даних, а в остаточних результатах цю цифру відкидають, округляючи число. Значення δ обчислюють з одним або двома значущими цифрами. При цьому слід пам'ятати, що останні цифри середнього значення та середньої квадратичної похибки мають бути одного розряду.

Нерівноточні виміри

Досі розглядалися вимірювання, що заслуговують на однакову довіру. Однак на практиці доводиться мати справу з вимірами, виконаними з різним ступенем точності або різним числом вимірювань у кожній серії. У цьому випадку середні арифметичні значення окремих серій вимірювань однієї й тієї ж величини та середня квадратична похибка цих серій можуть відрізнятися одна від одної. Однак відкидати менш точні серії вимірювань не слід, оскільки збільшення кількості вимірювань дозволяє зменшити випадкову похибку. Різна точність окремих результатів оцінюється так званою "вагою" – чим точніше результат серії, тим більша вага йому приписується. Отримане таким шляхом середнє значення результату виміру називається середньозваженим Хс.



де  - Середні значення окремих серій вимірювань;

 - їхня вага.

Найбільш правильним значенням ваги для цього результату є його ймовірність. Якщо немає можливості визначити ймовірність, то числові значення ваги встановлюють, виходячи з умов вимірювань. Розглянемо різні випадки.

1. Існують середні значення, отримані на приладах різної точності. Вагу вимірювань встановлюють обернено пропорційним квадрату середньої квадратичної похибки (дисперсії).



2. Існують дві серії з різним числом вимірювань, але з однаковою середньою квадратичною похибкою δ.



Тут вага вимірів прямо пропорційна числу вимірів у серії. Середня квадратична похибка середнього виваженого визначається за формулою



де m – загальна кількість результатів вимірювань

Критерії грубих похибок

Раніше вказувалося, що грубі похибки (промахи) виключаються із загального ряду, оскільки вони спотворюють результат вимірів. Тим більше це важливо за малої кількості вимірювань. Розглянемо критерії оцінки грубої похибки.

Найбільш простим є відкидання результатів, що мають похибки, що перевищують 3δ. Для цього попередньо обробляють отриманий результат: знаходять середнє значення та середню квадратичну похибку. Визначають похибку результату, що перевіряється Хк - Х (Хк - результат вимірювання, що перевіряється) і порівнюють з обраним критерієм 3δ. Результат, похибка якого перевищує обраний критерій, містить грубу похибку і може бути виключено з низки. "Очищений" ряд обробляють наново. Цей метод застосовується за досить великої кількості вимірювань (n > 20).

При малому числі спостережень точніші результати дає критерій, заснований на розподілі Стьюдента. Середнє значення та її середню квадратичну похибку δх знаходять за результатами всього ряду, а виключаючи проверяемый. Задаються деякою ймовірністю Р того, що похибка Хк - Х, що перевіряється, не перевищить значення ε, яке визначається за формулою

*ε = t \* δх,*

де t знаходять по таблицях ймовірностей Стьюдента для заданих Р і n.

Приклад: Зроблено 5 вимірів. Підрахована δх = 0,5. Задавшись довірчою ймовірністю P = 0,9, за таблицями Стьюдента за n = 5 знаходимо t = 2,13. Отже, якщо якась із похибок перевищить величину ε = 2,13х0,5 = 1,065, то її слід вважати грубою і виключати з розгляду.

РОЗРАХУНОК ПОХІДНОСТЕЙ НЕДІЛЬНИХ ВИМІР

Оцінка результату непрямого виміру

При непрямих вимірах значення шуканої величини Y одержують виходячи з відомої залежності величини Y і величин Хi, які визначають шляхом прямих вимірів.

Нехай залежність має вигляд Y = F (Х1, Х2, Х3). У промисловості прямі вимірювання здійснюються, як правило, одноразово за допомогою стандартних технічних засобів із заздалегідь відомою допустимою похибкою. Якщо прямі виміри (з метою підвищення точності) виробляються багаторазово, то визначення результату непрямого виміру в розрахункову формулу підставляють середні арифметичні значення вихідних прямих вимірів, тобто.

\_ \_ \_ \_

*Y = F(Х1, Х2, Х3)* (12.1)

На похибку непрямих вимірів накладає відбиток як похибка прямих вимірів, а й вигляд функціональної залежності. Надалі припускатимемо, що аргументи попарно незалежні один від одного.

Підсумовування систематичних похибок

Якщо величини Х1, Х2, Х3 виміряні з деякими відомими абсолютними похибками ∆Х1, ∆Х2, ∆Х3, то й величина буде визначена з деякою похибкою, при цьому

*Y + ∆Y = F (Х1 + ∆Х1, Х2 + ∆Х2, Х3 + ∆Х3)*

Так як похибки малі в порівнянні з самими вимірюваними величинами, останнє рівняння можна розкласти в ряд Тейлора (з залишенням лише лінійних членів)



Звідси

 (12.2)

Тут- Називають приватними похибками непрямого виміру. Коли беруть приватну похідну за одним із аргументів, наприклад Х1, інші аргументи Х2, Х3 вважаються постійними. Крім того, приватні похідні беруться в точках, що відповідають

середнім значенням.

Формула (12.2) справедлива будь-якого виду функціонального зв'язку між Y і Хi.

Розглянемо два види формул, що часто зустрічаються. Вимірювана величина Y пов'язана з величинами Хi лінійною залежністю виду

*Y = аХ1 + вХ2 + сХ3* (12.3)

Тоді згідно (12.2) похибка у визначенні

*∆Y = а∆Х1 + в∆Х2 + с∆Х3* (12.4)

Слід пам'ятати, що похибки ∆Хi виражені у тих самих одиницях, як і вимірювані величини.

Інший вид нелінійної залежності між Y та Хi:

 (12.5)

де К – безрозмірний коефіцієнт. В цьому випадку на підставі (12.2) отримуємо



Цей вираз незручний для практичних обчислень. Тому замість абсолютної похибки ∆Y знайдемо відносну похибку

 (12.6)

Тут- відносна похибка.

Приклад 1. Потужність Р, що поглинається в опорі R визначають шляхом вимірювання прикладеної напруги U з подальшим обчисленням за формулою Р = U2/R.

Знайдемо похибку визначення Р, якщо R виміряно із систематичною (відносною) похибкою ∆R = +0,5%, а напруга U з похибкою ∆U = -2%. В даному випадку Р = U2 \* R-1 і відповідно (12.5) маємо:

*К = 1; α = 2; β = -1.*

Користуючись (12.6) знаходимо



Примітка: розглянуті систематичні похибки вважалися постійними та відомими. Такі похибки можна заздалегідь виключити запровадженням поправок. Крім того, існують так звані систематичні похибки, що не виключаються, які розглядають як випадкові величини. Такі систематичні похибки при непрямих вимірах підсумовують інакше (/2/с.143).

Підсумовування випадкових похибок

Результати прямих вимірювань, що містять випадкові похибки, є випадковими величинами, тому опосередковано визначається величину слід розглядати як функцію випадкових величин. Це дає можливість знаходити параметри точності (δ та ін) результату непрямих вимірів за параметрами точності прямих вимірів.

З теорії ймовірностей відомо, що середня квадратична похибка непрямого виміру дорівнює кореню квадратного із суми квадратів середніх квадратичних похибок вихідних прямих вимірів, кожна з яких множиться на свою приватну похідну, тобто.



Тут доданкиназиваються приватними випадковими похибками, а приватні похіднікоефіцієнтами впливу.

Формула (12.7) є основною обчислення параметрів точності результату непрямого виміру.

Якщо залежність Y = F(Х1,Х2,Х3) виражається лінійним багаточленом першого ступеня виду Y = аХ1 + вХ2 + сХ3, то формула (12.7) набуває вигляду:

 (12.8)

При нелінійній залежності у вигляді статечної функціїотримуємо формулу відносної похибки.

 (12.9)

Формули (12.7) - (12.9) справедливі за будь-яких законах розподілу похибок прямих вимірів. Якщо закони розподілу похибок прямих вимірювань однакові, ці формули можна застосовувати для обчислення як середньої квадратичної похибки результату, а й граничної похибки ∆.

приклад 1.2. Потужність Р, що поглинається у опорі R, визначають шляхом вимірювання прикладеної напруги U з подальшим обчисленням за формулою P = U2/R.

Знайти граничну похибку ∆Р обчислення потужності Р за умови, що опір R відомий із граничною відносною похибкою ∆R = 0,5%, а гранична відносна похибка вольтметра ∆U = 2%. Закони розподілу зазначених похибок є нормальними.

Відповідно до (12.5) можна записати при цьому К = 1; α = 2; β = -1.

Згідно (12.9)



Як бачимо, хоча приклади 1.1 та 1.2 мають однакові вихідні числа, але відповіді виходять різними. Це тим, що у першому випадку розраховувалися систематичні похибки, тоді як у другому випадку граничні, які є випадковими величинами.

приклад 1.3. При вимірюванні малої потужності постійного струму за допомогою амперметра та вольтметра потужність струмоприймача обчислюють з урахуванням потужності, що втрачається в обмотці амперметра, за формулою Р = IU - I2R, де R - опір амперметра.

Знайти середню квадратичну похибку вимірювання потужності δр, знаючи середньоквадратичні випадкові похибки вимірювання сили струму δI, напруги δU, та опору δR.

Оскільки рівняння непрямого виміру є многочлен ступеня вище за першу, то скористаємося загальною формулою (12.7). Знайдемо приватні похідні (коефіцієнти впливу)

Приймемо такі значення

*I = 2,2 A; U = 220 V; R = 100 Ω;*

*δI = 0,02 A; δU = 1 V; δR = 0,2 Ω.*

Тоді відповідно (12.7)

*W*

При номінальній потужності РН = 220\*2,2 = 484 W відносна похибка.



Підсумовування систематичних та випадкових похибок

Сумарна похибка результату виміру визначається за формулою

*∆Е = ∆С + ∆º ,*

де - ∆С сумарна систематична похибка; ∆ - сумарна випадкова похибка, що включає всі складові граничної випадкової похибки.

Якщо систематична похибка обчислена, то знаходження результату вимірів ХN необхідно в середнє значення внести поправку, тобто. відняти систематичну похибку.



Для оцінки сумарної похибки засобів вимірювань та вимірювальних пристроїв до уваги беруться середньоквадратичні похибки їх окремих елементів.

У загальному випадку середньоквадратичне відхилення сумарної похибки за однакових законів розподілу окремих її складових визначається за формулою

 (13.1)

де ρij - коефіцієнт кореляції між i-тою і j-тою величинами.

Другий доданок під коренем означає, що підсумовуються всі можливі по парні поєднання середньоквадратичних відхилень корелейованих похибок.

При підсумовуванні двох складових похибок відповідно буде

 (13.2)

Якщо сумовані складові похибки кореловані між собою жорстко і позитивно (ρ = +1), тоді

 (13.3)

При r *= -1*

 (13.4)

Найбільш поширеним є випадок, коли складові похибки є незалежними, тобто при ρ = 0, тоді

 (13.5)

Сума ймовірностей всіх можливих значень випадкової величини дорівнює одиниці:

 (8)

Сума ймовірностей появи події в обох прикладах дорівнює одиниці.

Прийнято розрізняти випадкові величини перервного (дискретного) та безперервного типів. Випадкові величини, що приймають лише окремі значення, які можна заздалегідь перерахувати, називаються дискретними. Випадкові величини, можливі значення яких постійно заповнюють певний проміжок, називаються безперервними (наприклад, довжина відрізка, похибка вимірювання).

Якщо– можливі значення випадкової величини, а- ймовірність цих подій, то можна скласти таблицю

Таблиця 4

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

Якщо сума ймовірностей даних значень дорівнює одиниці, то з імовірнісного погляду випадкова величина повністю охарактеризована, тобто. встановлено закон розподілу випадкової величини.

Таким чином, закон розподілу – це будь-яке співвідношення, що встановлює зв'язок між можливими значеннями випадкової величини та відповідними ймовірностями. Наведену таблицю називають поряд розподілу.

Для надання ряду наочного вигляду за його даними будують багатокутник або гістограму розподілу (рис. 5).

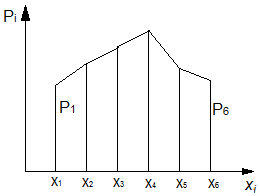


Рисунок 5 – Гістограма розподілу випадкової величини.

Безперервні величини мають безліч можливих рішень. Тому весь інтервал можливих значень випадкової величини розбивають на низку менших інтервалівта визначають частотупопадання у цей інтервал. Таким чином, одержують статистичний ряд.

Таблиця 5

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

Відповідно до отриманих даних будують прямокутники, основою яких служать вибрані інтервали, а висота (ординату) визначається як відношення частоти до довжини цього інтервалу. Ступінчаста крива, що огинає прямокутники, називається гістограмою.

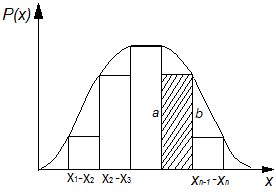


Рисунок 6 – Крива розподілу ймовірності.

Площа під гістограмою дорівнює одиниці. Якщо крок, то ступінчаста крива перейде в плавну криву - криву розподілу ймовірності безперервної випадкової величини (рис.6). Ординату будь-якої точки кривої прийнято називати щільністю імовірності.

Щоб визначити ймовірність попадання випадкової величини в заданий проміжок від a до b необхідно знайти значення заштрихованої площі, як показано на рис. 6.

У метрології переважно використовується диференціальна форма – закон розподілу густини ймовірностей випадкової величини.

Розглянемо формування диференціального закону з прикладу вимірів з багаторазовими спостереженнями. Нехай зробленопослідовних спостережень однієї і тієї ж величинита отримано групу спостережень. Кожне значеннямістить ту чи іншу випадкову похибку. Розташуємо результати спостережень у порядку їх зростання,до

Алгоритм дій:

1. Розташувати від xmin→xmax

2. Визначити розмах ряду

3. Розділити розмах ряду нарівних інтервалів. Можна прийняти k=1+3.2\*lgN.

4. Підрахувати кількість спостережень, що потрапляють у кожний інтервал.

5. Визначити відносну частоту влучень.

6. Зобразимо отримані результати графічно, нанісши на осі абсцис значення фізичної величини та позначивши межі інтервалів, а по осі ординат – відносну частоту влучень. Гістограма дає уявлення про щільність розподілу результатів спостережень у цьому досвіді.

7. Зробити оцінку мат очікування:



8. Дисперсії



9. Середньоквадратичне відхилення визначається за такою формулою:



Якось побудувавши гістограму, при наступних серіях спостережень можна з певною часткою впевненості заздалегідь передбачити розподіл результатів спостережень за інтервалами. Прийнявши загальну площу, обмежену контуром гістограми та віссю абсцис, за одиницю,, відносну частоту попадань результатів спостережень у той чи інший інтервал можна визначити як відношення площі відповідного прямокутника шириноюдо загальної площ.

При нескінченному збільшенні числа спостереженьта нескінченне зменшення ширини інтервалів, ступінчаста крива, що огинає гістограму, перейде в плавну криву(Рис. 8), звану кривою щільності розподілу ймовірностей випадкової величини, а рівняння, що описує її, - диференціальним законом розподілу. Крива щільності розподілу ймовірностей завжди невід'ємна та підпорядкована умові нормування у вигляді:

 (9)

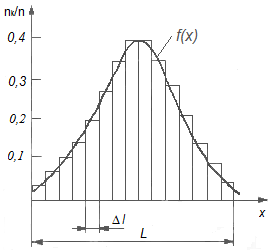


Рисунок 8 – Крива густини розподілу ймовірностей.

Закон розподілу дає повну інформацію про властивості випадкової величини та дозволяє відповісти на поставлені питання про результат виміру та випадкової похибки. Якщо відомий диференціальний закон розподілу випадкової величини, то ймовірністьїї попадання в інтервал віддо:

 (10)

Графічно ця можливість виражається ставленням площі, що лежить під кривоюв інтервалі віддодо загальної площі, обмеженої кривою розподілу.

Крім безперервних випадкових величин, у метрологічній практиці зустрічаються і дискретні випадкові величини. Приклад розподілу дискретної випадкової величини наведено на рис. 9.

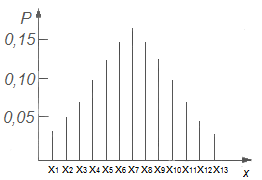


Рисунок 9 – Розподіл дискретної випадкової величини.

У математичній статистиці доведено, що оцінкою справжнього математичного очікування вимірюваної величини є середнє арифметичне результатів вимірів.

 (32)

де – результат i-го виміру;

- Число вимірювань.

Різниця між результатом виміру та середнім значенням називається випадковим відхиленням. Остання має дві важливі властивості.

1. Алгебраїчна сума випадкових відхилень дорівнює нулю, тобто.. Цією властивістю можна скористатися контролю правильності обчислень. Якщо при обчисленні користувалися правилом заокруглень, то відхилення від нуля дозволить оцінити правильність заокруглень.
2. Сума квадратів випадкових відхилень має мінімальне значення. Це слід розуміти так. Якщо знайти відхилення від будь-якого іншого числа, то сума квадратів таких відхилень виявиться більшою, ніж сума квадратів відхилень від.

Оскільки кількість спостережень, на підставі яких обчислено середнє арифметичне, обмежено, то повторивши наново серію спостережень цієї величини, ми отримали б нове значення середнього арифметичного. Повторивши багаторазово серії спостережень і, обчислюючи кожного разу їхнє середнє арифметичне значення, яке приймається за результат виміру, ми переконаємося в розсіянні середніх арифметичних значень. Характеристикою цього розсіювання є середнє відхилення середнього арифметичного.

 (33)

Це фундаментальний закон зростання точності у разі зростання числа спостережень.

Середнє квадратичне відхиленнявикористовується для оцінки похибки результату вимірів з багаторазовими спостереженнями.

Середнє значенняобчислюють на підставі кінцевої кількості дослідів, Отже, воно відрізняється від істинного значення деяку величину, тобто. має похибку. Якщо випадкові похибки окремих вимірів підпорядковуються нормальному закону розподілу, то й похибка середніх значень.підпорядковується цьому закону, але з іншим меншим розсіюванням.

При , а значенняпрагне справжнього значення, проте практично це неможливо. А прагнути безмежно, зменшувати випадкову похибку результату виміру немає сенсу, т.к. рано чи пізно визначальним стає не розсіювання середнього арифметичного, а недостовірність поправок на систематичну похибку (невиключена систематична похибка).

А також підвищення точності результату виміру йде значно повільніше, ніж збільшення кількості вимірів. Так, щоб збільшити точність у 10 разів, кількість вимірювань необхідно збільшити у 100 разів. Збільшення числа вимірів має сенс лише тоді, коли випадкова похибка є основною складовою загальної похибки виміру. Якщо ж переважає систематична похибка і її не можна виключити, збільшення числані до чого не приведе.

*Нормальний розподіл Гаусса.*Закон нормального розподілу має фундаментальне значення для теорії обробки результатів вимірів. На користь застосування нормального розподілу є вагомі підстави. А саме, воно завжди проявляється тоді, коли сумарна похибка є результатом неврахованого спільного впливу цілого ряду причин, кожна з яких дає малий внесок у похибку. Причому зовсім не важливо, за яким законом розподілено кожен із вкладів окремо. Стосовно вимірів це означає, що нормальний розподіл випадкових похибок виникає тоді, коли на результат виміру діє безліч випадкових обурень, жодна з яких не переважає. Фактично, сумарний вплив навіть порівняно невеликої кількості обурень призводить до закону розподілу результатів і похибок вимірювань, близького до нормального.

В аналітичній формі нормальний закон розподілу виражається формулою:

 (25)

де - випадкова величина;

- Математичне очікування випадкової величини;

- Середньоквадратичне відхилення.

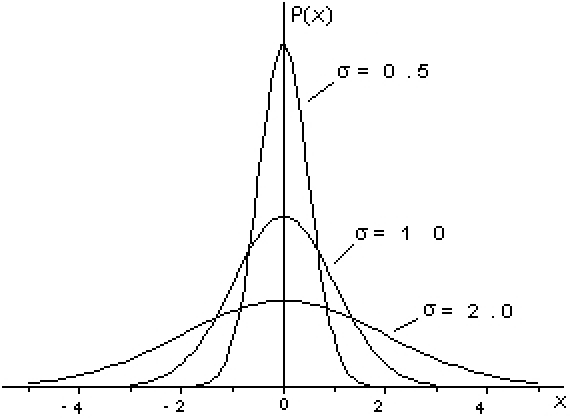


Рисунок 12 – Криві нормального розподілу для.

З форми кривої розподілу випливають властивості випадкової величини (випадкових похибок):

1. Найбільша щільність ймовірності відповідає похибки, що дорівнює нулю.
2. Похибки, однакові за абсолютною величиною, але з різними знаками, є рівноймовірними (крива симетрична).
3. Чим більша похибка, тим менша ймовірність її появи.

При збільшеннікрива знижується і розтягується вздовж осі абсцис. Тобто. чим менше середньоквадратичне відхилення, тим менше розсіювання результатів спостережень і тим більша ймовірність того, що більшість випадкових похибок у них буде малою. Природно зробити висновок, що якість вимірів тим вище, що менше середньоквадратичне відхилення випадкових похибок.

При нормальному розподілі похибок прийнято вважати випадкову похибку з межамиграничною (максимально можливою) похибкою. З метою одноманітності в оцінюванні випадкових похибок інтервальними оцінками при технічних вимірах довірча ймовірність приймається рівною 0,95. Лише для особливо точних та відповідальних вимірів допускається застосовувати більш високу довірчу ймовірність.

Ця методика розрахунку помилок дає хороші результати (з надійністю 0.68) тільки в тому випадку, коли та сама величина вимірювалася не менше 30 - 50 разів.

У 1908 році Стьюдент показав, що статистичний підхід справедливий і при малій кількості вимірів. Розподіл Стьюдента при числі вимірювань n → ∞ переходить у розподіл Гаусса, а за малої кількості відрізняється від нього.

Для розрахунку абсолютної помилки при малій кількості вимірювань вводиться спеціальний коефіцієнт, що залежить від надійності P та числа вимірювань n, званий коефіцієнтом Стьюдента t.

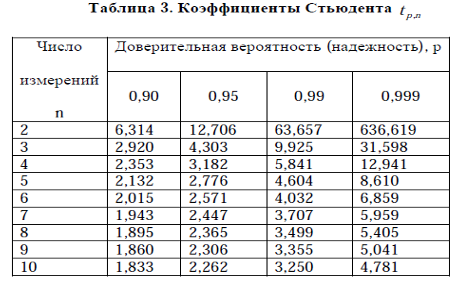
Опускаючи теоретичні обґрунтування його запровадження, зауважимо, що

Δx =σх · t. (10)

де Δx – абсолютна помилка для даної вірогідності;

σх – середньоквадратична помилка середнього арифметичного.

Коефіцієнти Стьюдента наведено у таблиці 2.



Вимірювання температури

Температура – ​​величина, що характеризує рівень нагрівання тіла (або тепловий стан тіла).

Відповідно до кінетичної теорії температуру визначають як міру кінетичної енергії поступального руху молекул.

Виміряти температуру безпосередньо не можна; можна визначити її значення лише за якимись іншими фізичними параметрами тіла, які змінюються однозначно залежно від температури. Такими параметрами є, наприклад, обсяг, довжина, електричний опір, термоелектрорушійна сила, яскравість випромінювання.

Вперше прилад для вимірювання температури був запропонований в 1597 Галілеєм: термометр Галілея не мав шкали і був, по суті, лише індикатором температури.

Пізніше Ренальдіні вперше запропонував прийняти як постійні точки, що характеризують теплову рівновагу, точки плавлення льоду і кипіння води. У цьому температурної шкали ще існувало. Перша температурна шкала була запропонована і здійснена Фаренгейтом в 1724 Температурні шкали встановлювалися довільним вибором нульової та інших постійних точок і довільним прийняттям інтервалу температури в якості одиниці.

В основу своєї шкали Фаренгейт поклав три точки: 1 – «точка найсильнішого холоду (абсолютний нуль)» (на сучасній шкалі дорівнює приблизно -17,8 ° С); 2 – точка плавлення льоду, позначена ним +32°, та 3 – нормальна температура людського тіла, позначена +96° (за нашою шкалою +35,6°С). Температура кипіння води спочатку не нормувалася і лише пізніше була встановлена ​​+212 ° (при нормальному атмосферному тиску).

Реомюр у 1731 р. запропонував використовувати для скляних термометрів спирт такої концентрації, який при температурі плавлення льоду заповнював би обсяг 1000 об'ємних одиниць, а за температури кипіння води розширювався б до 1080 одиниць. Відповідно температуру плавлення льоду Реомюр запропонував спочатку позначити 1000 °, а кипіння води 1080 ° (пізніше 0 ° і 80 °).

Цельсій в 1742 р. використовуючи ртуть у скляних термометрах запропонував стоградусну шкалу, позначивши точку плавлення льоду за 100 °, а точку кипіння води за 0 °. Однак таке позначення виявилося незручним і через 3 роки Штремер (або К. Лінней) запропонував змінити позначення, прийняті Цельсієм, на зворотні.

Було запропоновано й інших шкал. М.В. Ломоносов запропонував рідинний термометр зі шкалою 150 ° в інтервалі від точки плавлення льоду до точки кипіння води. І.Г. Ламберт (1779) пропонував повітряний термометр зі шкалою 375 °.

Усі запропоновані температурні шкали будувалися в такий спосіб. Вибиралися дві опорні (реперні) точки. Як правило, для цього брали точки фазової рівноваги чистих речовин. Зміна термометричної властивості в інтервалі між реперними точками апроксимувалася лінійною залежністю від температури:

,

де– значення температури в одній із реперних точок;

– значення термометричної властивості при температурі;

– коефіцієнт пропорційності, визначений за значеннями термометричних властивостей та температур у реперних точках.

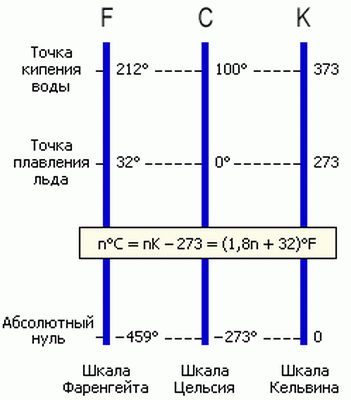


Рисунок 1 – Температурні шкали

Можливість вимірювати температуру термометром ґрунтується на явищі теплового обміну між тілами з різним ступенем нагрітості та зміні термометричних (фізичних) властивостей речовин при нагріванні. Отже, для створення термометра та побудови температурної шкали, здавалося б, можливо вибрати будь-яку термометричну властивість, що характеризує стан тієї чи іншої речовини і на підставі її змін побудувати шкалу температур. Однак зробити такий вибір не так легко, тому що термометрична властивість має однозначно змінюватися зі зміною температури, не залежати від інших факторів і допускати можливість вимірювання змін порівняно простим і зручним способом. Насправді немає жодної термометричної властивості,

У ході досліджень з'ясувалося, що термометричні властивості речовин по-різному змінюються з температурою, причому нелінійно.

Скористаємося, наприклад, для вимірювання температури ртутним та спиртовим термометрами звичайного типу. Розіб'ємо шкали їх між точками, що відповідають температурам кипіння води та танення льоду при нормальному атмосферному тиску, на 100 рівних частин (вважаючи за 0 точку танення льоду). Очевидно, що показання обох термометрів будуть однакові в точках 0 і 100, тому що ці температурні точки було прийнято за вихідні для отримання основного інтервалу шкали. На всіх проміжних точках шкали показання цих термометрів будуть різні, т.к. коефіцієнти об'ємного теплового розширення ртуті та спирту по-різному залежать від температури. Ми зустрілися б з тими ж труднощами, якби спробували здійснити температурну шкалу на основі будь-якої іншої фізичної величини, наприклад, електричного опору металів та ін.

У зв'язку з цим виникла проблема створення температурної шкали, яка б не залежала від термометричних властивостей речовин. Така шкала була запропонована в 1848 Кельвіним і називалася термодинамічної шкалою. За основу Кельвін взяв ідеальний цикл Карно, що не залежить від властивостей речовини, але залежить від початкової та кінцевої температури. Тобто. якщо в оборотному циклі Карно тіло, що здійснює цикл, поглинає теплотупри температуріі віддає теплопри температурі, то відношення термодинамічних (абсолютних) температурдорівнює відношенню кількості тепла.

 (2)

Відповідно до положень термодинаміки значення цього відношення не залежить від властивостей робочого тіла. Один градус за термодинамічною шкалою відповідає такому підвищенню температури, яке відповідає 1\100 частини роботи з циклу Карно між точками плавлення льоду та кипіння води за нормального атмосферного тиску.

Однак для практичного вимірювання температури ця шкала була незручна: потрібно було вимірювати кількість теплоти, або при використанні термометрів, заповнених реальними газами, вводити для кожного значення температури різні поправки.

На початку XX ст. широко застосовувалися шкали Цельсія, Фаренгейта (в англо-американських країнах) і Реомюра, а наукових роботах – шкали Кельвіна і воднева шкала. Перерахунки з однієї шкали на іншу створювали великі труднощі та призводили до низки непорозумінь.

Тому в 1927 р. було ухвалено рішення про запровадження міжнародної температурної шкали (МТШ). Це рішення було у законодавчому порядку затверджено більшістю розвинених країн світу. У СРСР МТШ було введено з 1 жовтня 1934 р.

МТШ ґрунтується на системі постійних, точно відтворюваних температур рівноваги (постійних точок), яким надано числові значення. Для визначення проміжних температур є інтерполяційні формули.

Основні постійні точки МТШ

точка кипіння кисню -182,97 °

точка плавлення льоду 0,00 °

точка кипіння води 100,00 °

точка кипіння сірки 444,60 °

точка затвердіння срібла 960,50 °

точка затвердіння золота 1063,00 °

У процесі використання МТШ з'ясувалося, що вона не збігається із термодинамічною шкалою. В результаті робіт за погодженням МТШ з термодинамічною шкалою у 1948 р. було вироблено проект Положення про Міжнародну практичну температурну шкалу (МПТШ). Вона також базується на 6 постійних точках, проте до МПТШ було внесено такі уточнення:

1) У цій шкалі замість точки плавлення льоду рекомендується використовувати точку рівноваги, що краще відтворюється, між льодом, водою і водяною парою (потрійну точку води), якій присвоюється чисельне значення +0,01 °С.

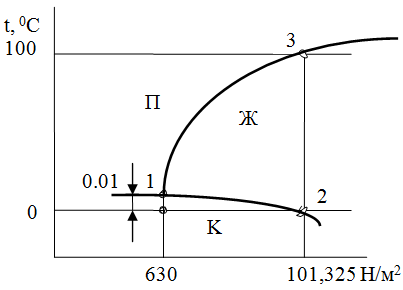


Рисунок 2 – Потрійна точка води.

Схема фазових станів води

Ж- зона рідкої фази 1- потрійна точка

П- зона парової фази 2- точка плавлення льоду

К- зона кристалічної фази 3- точка кипіння води

2) точці затвердіння срібла надавалася нове числове значення: 960,8 °С.

3) точку кипіння сірки замінено на точку затвердіння Zn: 419,505 °С.

4) всі постійні точки (крім потрійної точки води) визначають у стані рівноваги при одній нормальній атмосфері, що дорівнює тиску 101,325 Нм2.

Температура в МПТШ виявляється у градусах Цельсія, позначається °С. Температура потрійної точки води приймається рівною 273,16 ° До.

У 1968 році Міжнародний комітет заходів та терезів прийняв нову міжнародну практичну шкалу МПТШ-68.

МПТШ-68 обрана таким чином, щоб температура, виміряна за цією шкалою, була близька до термодинамічної і різниці між ними залишалися в межах сучасної точності вимірювань.

Згідно з МПТШ-68 основною температурою є температура Т, одиниця якої Кельвін (К) – це 1/273,16 частина термодинамічної температури потрійної точки води. Температура Цельсія t (°С) визначається виразом:

t = T - 273,15

Градус Цельсія дорівнює градусу Кельвіна. МПТШ-68 введена як обов'язкова з 1 січня 1971 р. і заснована на значеннях температур, привласнених 11 основним постійним точкам.

потрійна точка водню Н2 13.810 К

кипіння водню Н2 17.042 К при тиску 33330.6 Па

кипіння водню Н2 20.280 К

кипіння неону 27.108 До

потрійна точка кисню 54.361 До

кипіння кисню 90.188 К

потрійна точка води 273.160 До, що відповідає 0.01°С.

кипіння води 373.150, що відповідає 100 °С.

затвердіння Zn 692.730 К

затвердіння Ag 1235.080 К

затвердіння Au 1337.560 К

Існують також інші практичні температурні шкали, які призначені для здійснення вимірювань температури в діапазоні від 0,01 до 100 000 К.

Для вимірювання температури застосовуються контактні та безконтактні методи.

Для реалізації контактних методів вимірювання застосовуються термометри розширення (скляні рідинні, манометричні, біметалічні та дилатометричні), термоперетворювачі опору (провідникові та напівпровідникові) та термоелектричні перетворювачі.

Безконтактні методи вимірювання температури здійснюються пірометрами (квазімонохроматичними, спектральними відношеннями та повним випромінюванням).

Контактні методи вимірювання простіші і точніші, ніж безконтактні. Але для вимірювання температури необхідний безпосередній контакт із вимірюваним середовищем і тілом, що не завжди можливо. А також в результаті контакту з середовищем або тілом може виникнути, з одного боку, спотворення температури середовища у місці вимірювання та з іншого – невідповідність температури чутливого елемента термометра та вимірюваного середовища.

Безконтактні методи вимірювання не впливають на температуру середовища або тіло. Але вони складніше та його методичні похибки значно більше, ніж в контактних методів. Т.к. для оцінки похибки цих методів необхідно знати спектральні характеристики коефіцієнтів випромінювання (поглинання) чутливих елементів пірометрів, проміжних лінз, скла, інших матеріалів або середовищ, через які проходить випромінювання від середовища до чутливого елемента.

Класифікація засобів вимірювання температури

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

Межі застосування промислових засобів вимірювання температури

Таблиця 1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Тип засобу вимірювання | Різновиди засобів вимірювання | Межі виміру, °С |
| Термометри розширення | Рідкісні скляні термометри V=f(t) | -200 ÷ 600 |
| Манометричні термометри P=f(t) | -200 ÷ 1000 |
| Термометри опору | Металеві (провідникові) ТС R=f(t) | -260 ÷ 1100 |
| Напівпровідникові ТС R=f(t) | -272 ÷ 600 |
| Термоелектричні термометри | Термоелектричні термометри E=f(t) | -200 ÷ 2200 |
| Пірометри | Квазімонохроматичні пірометри  Пірометри спектрального відношення I=f(t)  Пірометри повного випромінювання | 700 ÷ 6000  300 ÷ 2800  -50 ÷ 3500 |

Чутливим елементом термометра називають частину термометра, що перетворює теплову енергію на інший вид енергії для отримання інформації.

Чутливий елемент контактного термометра входить у безпосередній зіткнення з вимірюваним середовищем.

Засіб вимірювання температури теплового електромагнітного випромінювання називається пірометром. Пірометри використовуються для безконтактного вимірювання температури.

Термокомплектом називають вимірювальну установку, що складається з термометра, що не має шкали (вимірювального перетворювача) та вторинного приладу, що перетворює вихідний сигнал термометра в чисельну величину.

Лекція 2. Термометри розширення, манометричні термометри. Термометри опору, характеристики. Вимірювальні прилади для вимірювання опору термометрів опору мости, потенціометри, логометри, нормовані перетворювачі.

Рідкісні скляні термометри (ЖВТ)

Принцип дії скляних рідинних термометрів ґрунтується на розширенні термометричної рідини, укладеної в термометрі, залежно від температури.

Скляні термометри за своєю конструкцією бувають: паличні та з вкладеною шкалою (рис. 3).

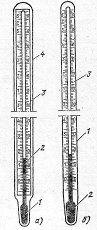


Рисунок – Лабораторні ртутні термометри:  
а) із вкладеною шкалою; б) паличний.

Скляний термометр із вкладеною шкалою складається зі скляного резервуару 1 і припаяного до нього скляного капіляра 2 (рис. 3 а). Уздовж капіляра розташована шкала 3, яка, зазвичай, наноситься на пластині молочного скла. Резервуар, капіляр та шкала поміщаються у скляну оболонку 4, яка припаюється до резервуару.

Паличні скляні термометри виготовляються з товстостінних капілярів 1, яких припаюється резервуар 2. Шкала термометра 3 наноситься на зовнішній поверхні капіляра (рис. 3, б).

Про температуру судять по видимій зміні стовпчика термометричної рідини, висоту якого можна виміряти по діленням, нанесеним безпосередньо на капіляр, або на вкладену шкалу.

Термометри бувають прямі та кутові (вигнуті).

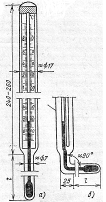


Рисунок – Технічні скляні термометри: а) прямий; б) кутовий.

У табл. 2 наведені деякі термометричні рідини та їх характеристики.

Термометричні рідини

Таблиця 2.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Рідина | Середня температура, °С | | Межі виміру, °С | | Середній температурний коефіцієнт об'ємного розширення, 10-5 К-1 | |
| затвердіння | кипіння | нижній | верхній | дійсний | видимий |
| Ртуть | -38,9 | 356,6 | -35 | 600 | 18 | 16 |
| Толуол | -97,2 | 109,8 | -90 | 200 | 109 | 107 |
| Етиловий спирт | -114,5 | 78,0 | -80 | 70 | 105 | 103 |
| Гас | - | До 352 | -60 | 200 | 95 | 93 |
| Петролійний ефір | - | До 70 | -120 | 25 | 152 | 150 |
| Пентан | -200 | 36 | -200 | 20 | 92 | 90 |

Серед рідинних термометрів найбільшого поширення набули ртутні скляні термометри. Так як ртуть залишається рідкою в широкому діапазоні температур від -35 до 356 ° С при нормальному тиску і до 600 ° С при невеликому підвищенні тиску (навіщо капіляр заповнюють азотом). Для термометрів з верхньою межею виміру  
600 °С тиск газу над ртуттю перевищує 3 МПа (30 кгс/см2). Крім того, ртуть легко піддається очищенню, не змочує скло, і її пари в капілярі утворюють малий тиск. Однак ртуть має відносно малий температурний коефіцієнт об'ємного розширення, що вимагає виготовлення термометрів із тонкими капілярами. Нижня межа вимірювання ртутних термометрів -35 ° С визначається температурою затвердіння ртуті. Верхня межа вимірювання +600 ° С визначається міцністю характеристик скла.

Скляні термометри з органічними термометричними рідинами використовуються в інтервалі температур від -200 до +200 °С. Однак ці рідини змочують скло і тому вимагають застосування капілярів відносно великий діаметр каналу.

Показання рідинного скляного термометра залежать не тільки від температури резервуара, а й від температури стовпчика рідини в капілярі. Лабораторні термометри градуюються при повному зануренні термометра у вимірюване середовище до температурної позначки, що відраховується (рис.5, а), ці термометри дозволяють забезпечити більш високу точність. Технічні термометри градуюються при частковому зануренні на певну глибину і при певній температурі стовпчика, що виступає (рис. 5, б).

Відмінність у градуюванні та застосуванні скляних термометрів спричинена виникненням систематичної похибки, пов'язаної з різними температурами частин стовпчика термометричної рідини зануреного у вимірюване середовище та виступаючого над нею. Якщо, наприклад, температура частини, що виступає, істотно відрізняється від її температури при градуювання термометра. У таких випадках вводять поправки на стовпчик, що виступає, до показань термометра.

Слід зазначити, що похибка за рахунок стовпчика, що виступає, у ртуті приблизно на порядок менше, ніж у органічних термометричних рідин, за рахунок істотної відмінності значень температурного коефіцієнта розширення. Поправку в градусах на стовпчик, що виступає, можна обчислити:

 (3)

де – число градусів у стовпчику, що виступає, °С;

- Коефіцієнт об'ємного розширення рідини, ° С-1;

– температура, яка показується термометром, °С;

- Середня температура виступаючого стовпчика, що вимірюється допоміжним термометром, °С.

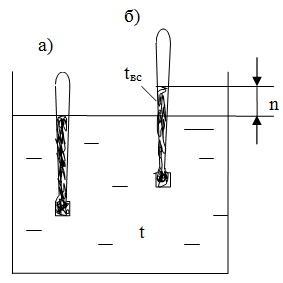


Рисунок – Способи встановлення рідинних скляних  
термометрів

Інший похибкою, характерною для скляних термометрів розширення, є усунення нульової точки термометра. Це зміщення спостерігається після нагрівання термометра до температур, близьких до верхньої межі виміру. При подальшому охолодженні термометра до 0 ° С скляний капіляр не відразу набуває тих самих розмірів, які він мав до нагрівання. Це зміщення у термометра зі шкалою 0 - 600 ° С може досягати 3 ° С, у термометрів з меншою верхньою межею вимірювання це зміщення менше.

До переваг рідинних скляних термометрів відносяться:

висока точність виміру;

простота та дешевизна.

Недоліками є:

відносно погана видимість шкали;

практична неможливість передачі показань на відстань і, отже, неможливість автоматичної реєстрації показань;

значна теплова інерція;

не завжди зручні для роботи габарити;

крихкість та неможливість ремонту термометрів.

Рідинні термометри виготовляють із певних сортів скла і піддають спеціальної термічної обробки («старіння»), що усуває зміщення нульової точки шкали, пов'язане з багаторазовим повторенням нагріву та охолодження термометра (поправку на зміщення нуля шкали необхідно вводити при точних вимірах). Термометри рідкі мають шкали з різною ціною поділу від 10 до 0,01 °С. Точність рідинних термометрів визначається ціною поділів його шкали. Для забезпечення необхідної точності та зручності користуються термометром рідинним із укороченою шкалою; найточніші мають на шкалі точку 0 °З незалежно від нанесеного у ньому температурного інтервалу. Точність вимірювань залежить від глибини занурення рідинного термометра у середовище, що вимірюється. Занурювати термометр рідинний слід до розподілу шкали або до спеціально нанесеної на шкалі риси (хвостові термометри рідинні). Якщо це неможливо, вводять поправку на стовпчик, що виступає, яка залежить від вимірюваної температури, температури виступаючого стовпчика і його висоти.

Номенклатура

В даний час випускаються такі різновиди скляних термометрів.

1) Технічні ртутні термометри з вкладеною шкалою прямі та кутові. Випускаються зі шкалами: -90 ÷ +30; -60 ÷ +50; -30 ÷ +50; 0÷100; 0÷160; 0 ÷ 200; 0 ÷ 300; 0 ÷ 350; 0 ÷ 450; 0 ÷ 500 та 0 ÷ 600 °С. Ціна поділу шкали становить від 0,5 °С (шкала -30 ÷ +50 °С) досягаючи 5 і 10 °С (шкала 0 ÷ 600 °С).

2) Лабораторні ртутні термометри паличні та з вкладеною шкалою. Призначені для вимірювання температур від -30 до +600 °С. Термометри з ціною розподілу 0,1 ° С мають діапазон вимірювання 55 ° С (наприклад, 055 °С або 200255 °С) з верхньою межею виміру не вище 305 °С. Для більших діапазонів вимірювання 0500 °С або 0600 °С ціна поділу 2 °С.

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

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

5) Термометри ртутні електроконтактні. Випускаються для підтримки постійної температури або сигналізації заданої температури в інтервалі від -30 до +300°С. Термометри випускаються з постійним робочим та з рухомим робочим контактами, які можуть бути встановлені на будь-якому значенні температури в межах шкали. (У капілярну трубку впаяно контакти для розривання або замикання стовпчиком ртуті електричного ланцюга).

6) Спеціальні термометри. Медичні, метеорологічні, психометричні, ґрунтові та ін.

Похибки технічних термометрів, що допускаються, не повинні перевищувати розподілу шкали. Наприклад, при ціні розподілу 0,5 °С межа допустимої похибки становить ±0,5 °С, а при ціні розподілу 10 °С межа становить ±10 °С. Для інших різновидів термометрів межі допустимих похибок визначаються технічними вимогами, причому вони можуть бути більшими за ціну розподілу. Наприклад, для лабораторних термометрів з ціною розподілу 0,5 °С межа допустимої похибки становить ± 1 °С, а для зразкових термометрів з ціною розподілу 0,01 °С межа допустимої похибки становить ±0,05 °С.

Скляні термометри є одним із найбільш точних засобів вимірювання температури.

**Манометричні термометри**

Принцип дії манометричних термометрів ґрунтується на залежності тиску термометричної речовини в герметично замкнутому обсязі від температури.

Замкнена вимірювальна система (термосистема) манометричного термометра складається з термобалона 1, капіляра 2, манометричної пружини, один кінець якої з'єднаний з капіляром, а інший, запаяний кінець пружини, з'єднаний зі стрілкою вимірювального приладу 3.

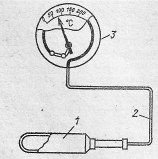


Рисунок – Манометричний термометр

Манометричні термометри залежно від виду робочої (термометричної) речовини, що заповнює термосистему, поділяються на газові, рідинні та конденсаційні. Термобалон термометра занурюється у вимірюване середовище, і робоча речовина, що знаходиться в термобалоні, приймає температуру середовища. При цьому в термосистемі встановлюється тиск, що визначається температурою середовища. При підвищенні температури тиск підвищується, при зменшенні температури знижується. Зміна тиску робочої речовини через гнучкий капіляр передається на вимірювальний прилад, що є частиною термометра манометра. Вимірювальний прилад є пружинним манометром, розрахованим на діапазони вимірювання тиску, які мають місце в термосистемах манометричних термометрів.

Газові манометричні термометри призначені для вимірювання температури від -200 до +600 °С. Як робоча речовина в газових термометрах застосовуються азот, водень, гелій. Довжина термобалона газового манометричного термометра має перевищувати 400 мм, а діаметр термобаллона вибирається з низки 5, 8, 10, 12, 16, 20, 25 і 30 мм. Довжина капіляра може становити від 0,6 до 60 м-коду.

У газових термометрах є барометрична похибка. Оскільки пружинні манометри вимірюють надлишковий тиск, зміна атмосферного (барометричного) тиску може викликати зміна показань манометричного термометра. Якщо тиск, що вимірюється, буде значним, то коливання атмосферного тиску практично не будуть впливати на показання приладу.

Зміна температури навколишнього повітря впливатиме на розширення робочої речовини в капілярі та манометричній пружині, що викликатиме зміну тиску в термосистемі та відповідну зміну показань термометра.

Для зменшення цих похибок збільшують розміри термобалону та зменшують переріз капіляра.

Рідинні манометричні термометри призначені для вимірювання температури від -150 до +300 °С. Як робоча речовина, що заповнює термосистему, застосовують ртуть, метиловий спирт, етиловий спирт та інші рідини. Робоча речовина рідинних манометричних термометрів практично стислива. Тому зміна об'єму робочої рідини в термобалоні при зміні температури на величину, що відповідає діапазону вимірювання, викличе збільшення тиску в термосистемі, при якому манометрична пружина змінить свій внутрішній об'єм на величину зміни об'єму рідини. Тиск, при якому це матиме місце, залежить від жорсткості пружини і для різних манометричних пружин може бути різним.

У рідинних манометричних термометрах похибка, викликана зміною барометричного тиску, зазвичай, відсутня, т.к. тиск у системі значно. Але похибка, що викликається зміною температури навколишнього середовища, має місце і в манометричних рідинних термометрах. Також у цих термометрах є гідростатична похибка, яка виникає при різних рівнях розташування термобалона та вимірювального приладу (рис. 7).

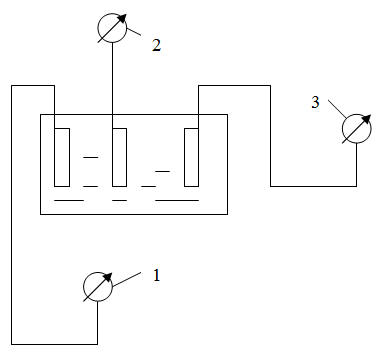


Рисунок – Варіанти розташування рідинних манометричних термометрів.

При однакових температурах термометр 1 показуватиме показання більше, ніж термометр 2. Найбільш правильна установка рідинних манометричних термометрів 3. Для зниження можливих гідростатичних похибок, а також для зменшення запізнення показань обмежують довжину сполучного капіляра до 10 м у ртутних і до 25 м, в інших рідинні термометри. Допустимі відстані по висоті між термобалоном і манометром вказують у монтажних схемах інструкцій.

Шкали рідинних манометричних термометрів виходять майже рівномірними, т.к. залежність тиску рідини від температури за постійного обсягу практично лінійна.

Конденсаційні манометричні термометри призначені для вимірювання температур від -50 до +300 °С. Термобалон термометра приблизно на ¾ заповнений низькокиплячою рідиною, а решта заповнена насиченою парою цієї рідини. Кількість рідини в термобаллоні має бути таким, щоб за максимальної температури не вся рідина переходила в пару. Як робочу рідину застосовують фреон, пропілен, метил, ацетон. Капіляр та манометрична пружина заповнюються, як правило, іншою рідиною. Тиск у термосистемі конденсаційного манометричного термометра дорівнює тиску насиченої пари робочої рідини, що визначається в свою чергу температурою вимірюваного середовища. Залежність насичення пари від температури має нелінійний характері і є однозначною доти, доки температура вбирається у критичну. Тому шкали конденсаційних термометрів виходять нерівномірними. Робоча частина шкали розташовується у її верхній половині.

У зв'язку з тим, що тиск у термосистемі залежить тільки від вимірюваної температури, на показання термометра не впливатиме температура навколишнього середовища. Гідростатична похибка залежатиме від показань приладу: на початку шкали вона буде більшою, а наприкінці – меншою. Барометрична похибка цих термометрів може мати місце на початковій ділянці шкали, коли тиск у термосистемі невеликий. В інших випадках вплив тиску буде нехтує мало.

Спеціально виготовлені конденсаційні манометричні термометри використовуються для вимірювання наднизьких температур. Конденсаційні термометри, заповнені гелієм, застосовуються для вимірювання температур від 0,8 К.

Переваги манометричних термометрів

простота конструкції та застосування;

можливість дистанційної передачі показань;

можливість автоматичного запису показань.

Недоліки манометричних термометрів

невисока точність вимірів (клас точності 1.5; 2.5; 4);

невелика відстань дистанційної передачі (трохи більше 60 м);

великі розміри термобалону;

Проблема ремонту при розгерметизації вимірювальної системи.

Однією з важливих переваг манометричних термометрів є можливість їх використання у пожежо- та вибухонебезпечних приміщеннях.

**Термометри опору, їх характеристики**

Принцип дії термометрів опору (ТЗ) заснований на можливості різних матеріалів (насамперед металів) змінювати свій електричний опір зі зміною температури. Параметр, що характеризує зміну електричного опору з температурою, називають температурним коефіцієнтом електричного опору. Температурний коефіцієнт виявляється у °С-1 або К-1.

Матеріали для термометрів опору повинні мати такі властивості:

Стабільність градуювальної характеристики;

Відтворюваність;

Високий питомий опір;

Високий температурний коефіцієнт;

Хімічна інертність;

Дешевизна

Перші дві вимоги є обов'язковими, інші бажаними. Якщо не виконується хоча б одна з перших двох вимог, матеріал не може бути використаний для серійного виготовлення технічних термометрів.

З погляду цих вимог найкращими матеріалами є чисті метали. Сплави зазвичай мають високий питомий опір, але невеликий температурний коефіцієнт. Напівпровідникові матеріали також задовольняють першим двом вимогам, однак мають недоліки, що будуть розглянуті далі.

Термометри опору з чистих металів, як правило, виготовляються шляхом спеціального намотування тонкого дроту на каркас з ізоляційного матеріалу. Для запобігання пошкодженню дріт разом з каркасом поміщають у захисну оболонку.

В даний час для виготовлення термометрів опору застосовуються такі матеріали: мідь (-200 +200 ° С), платина (-260 + 1100 ° С) і нікель (-60 ÷ +180 ° С). Мідь є найдешевшим матеріалом, який може бути високої чистоти. Опір міді змінюється із температурою практично лінійно (рис. 8):

 (4)

деі- Опір термометра при температуріта 0 °С;– температурний коефіцієнт опору мідного дроту,К-1.

Недоліки міді. У зв'язку з окислюваністю міді вона використовується для вимірювання температур не вище 200 °С. До недоліків міді слід віднести малий питомий опір:Ом · м. Питомий опір впливає на габарити термометра опору: чим менший питомий опір, тим більше потрібно дроту, щоб намотати такий самий опір, тим більше габарити термометра.

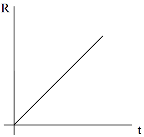


Рисунок – Зміна опору міді від температури.

Мідні термометри опору випускаються ІІ та ІІІ класів (тобто технічні). Номінальний опірза 0 °С становить: 10; 50 і 100 Ом (в експлуатації поки що знаходяться термометри зОм), їм відповідно присвоєно такі умовні позначення: 10М, 50М та 100М (для ТЗОм прийнято позначення гр.23).

Таблиця 3

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Мідні | | Платинові | |
| Старі позначення | Нові позначення | Старі позначення | Нові позначення |
| гр. 23 ()  гр. 24 () | 50 ÷ 200 °С  100М -200 ÷ 200 °С | гр. 20 ()  гр. 21 ()  гр. 22 () | 1П -40 ÷ 1100 °С  5П -100 ÷ 1100 °С  10П -200 ÷ 1000 °С  50П -260 ÷ 1000 °С  100П -260 ÷ 1000 °С  500П -260 ÷ 300 °С |

Чиста платина є одним з найбільш поширених металів, що застосовуються для виготовлення термометрів опору. Платина відповідає обов'язковим вимогам, що висуваються до матеріалів виготовлення термометрів опору. Платинові термоперетворювачі опору використовуються для вимірювання температур від -260 до +1100 °С. Опір платини має складну нелінійну залежність від температури та для інтервалу температур від 0 до 630 °С може бути наближено описано виразом:

, (5)

а на інтервалі від -183 до 0 ° С – виразом:

 (6)

Недоліки платини. Одним із недоліків платини є її забруднення у відновному середовищі парами металів, оксидами вуглецю та іншими речовинами. Особливо це виявляється при високих температурах.

Платинові термометри опору випускаються І та ІІ класів (тобто зразкові та технічні). Номінальний опірза 0 °С становить: 1; 5; 10; 50; 100 та 500 Ом (в експлуатації знаходяться термометри зОм). Цим термоперетворювачем опору присвоєно наступні умовні позначення номінальної статичної характеристики (НСХ) перетворення: 1П, 5П, 10П, 50П, 100П та 500П (термометри з опором)Ом позначаються гр. 21).

Нікелеві термометри опору випускаються ІІІ класу (технічні). Номінальні опори при 0 ° С становлять 50 та 100 Ом. Нікель має високий температурний коефіцієнт (К-1) та великим питомим опоромОм·м, що дозволяє отримувати досить малогабаритні термометри з великим коефіцієнтом перетворення.

Похибки металевих термометрів опору

Похибки термометрів опору залежать від класу термометра та строго нормуються.

Платинові ТС випускаються І та ІІ класів.

Для І класу, °С.

Для ІІ класу, °С.

Мідні ТС випускаються ІІ та ІІІ класів.

Для ІІ класу, °С.

Для ІІІ класу, °С.

Переваги металевих термометрів опору:

Простота;

Висока точність (для платинових ТЗ);

Можливість дистанційної передачі показань.

Недоліки металевих термометрів опору:

Велика довжина;

Велика інерційність;

Дорожнеча (для платинових ТЗ).

Напівпровідникові термоперетворювачі

Крім металів виготовлення термометрів опору застосовують також напівпровідникові матеріали: германій, оксиди міді, марганцю, кобальту, магнію, титану та його суміші. Такі термометри називають термісторами чи терморезисторами. Такі термометри призначені для вимірювання температур у діапазоні від -90 ÷ +180 °С.

Більшість напівпровідникових матеріалів має великий негативний температурний коефіцієнт опору і дуже великий питомий опір. Тому можна виготовляти дуже малі за розмірами чутливі елементи термоперетворювачів опору, що мають значний коефіцієнт перетворення. Залежність опору напівпровідникового термоперетворювача (терморезистора) від температури описується виразом:

 (7)

Значеннявизначається опором термометра за температури(як правило,К (20 ° С)), а значеннязалежить від матеріалу напівпровідника, з якого виготовлено термометр. У зв'язку з тим, що технологія одержання напівпровідникових термоперетворювачів опору не дозволяє виготовляти їх з ідентичними характеристиками, всі напівпровідникові термоперетворювачі опору мають індивідуальні градуювальні характеристики (тобто немає градуювальних таблиць).

Напівпровідникові терморезистори знаходять широке застосування в системах температурної сигналізації. Це викликано тим, що вони мають здатність змінювати свій опір при досягненні певної температури стрибкоподібно в кілька разів, що викликає відповідне збільшення струму і спрацьовування системи сигналізації (релейний ефект).

Найбільшого поширення набули германієві терморезистори для вимірювання температур від 1,5 К і вище. Германієві терморезистори, що застосовуються для технічних вимірювань, мають межу похибок, що допускаються ± (0,05 ÷ 0,1) К.

Переваги: ​​невеликі розміри; Високий коефіцієнт перетворення.

Недоліки: індивідуальне градуювання; при тривалій експлуатації спостерігається нестабільність показань.

Влаштування термометрів опору

Чутливий елемент (ЧЕ) металевого термометра опору складається, як правило, із дроту або стрічки, яка намотана на каркас зі скла, кварцу, кераміки, слюди чи пластмаси. Від чутливого елемента йдуть висновки до затискачів головки термометра, до яких приєднуються дроти, що йдуть до вимірювального приладу (рис. 9). Чутливий елемент термометра опору виконується у вигляді спіралі з дроту 1, поміщеної чотириканальний керамічний каркас 2. Для захисту від механічних пошкоджень і шкідливого впливу вимірюваного або навколишнього середовища чутливий елемент поміщений в захисну оболонку 3, яка ущільнена керамічною втулкою 4.

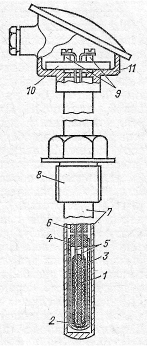


Рисунок – Влаштування термометра опору

Висновки чутливого елемента 5 проходять через ізоляційну керамічну трубу 6. Все це знаходиться в захисному чохлі 7, встановленому на об'єкті вимірювання за допомогою різьбового штуцера 8. На кінці захисного чохла розташовується сполучна головка 11 термометра. У головці знаходиться ізоляційна колодка 10 з гвинтами 9 для кріплення виводів термометра та підключення сполучних дротів. Головка закривається кришкою. Сполучні дроти виводяться через штуцер.

У характеристиці термометра опору вказується робоча довжина, і навіть тиск середовища, у якому можна експлуатувати термометр опору. Під час встановлення термометра необхідно, щоб робочий кінець доходив до центру труби. Необхідно також вказувати на інерційність термометра опору. Бувають інерційні та малоінерційні термометри опору.

Особливості вимірювання опору термометрів та способи їх підключення

При вимірі температури термометрами опору виникає потреба вимірювання опору термометра. Термометр, у свою чергу, приєднаний до вимірювального пристрою з'єднувальними проводами. Тому опір, підключений до вимірювального приладу, більший, ніж опір термометра на величину опору з'єднувальних проводів. Для зменшення або виключення впливу цього додаткового опору на результати вимірювання використовують різні способи, які залежать від схеми підключення термометра і методу вимірювання. Однак суть усіх способів зводиться до того, щоб опір з'єднувальних проводів підігнати до значення, при якому проводилося градуювання. Градуювальне значення опору сполучних проводів вказується на шкалі приладу або його паспорті.

Розрізняють дво-, три- та чотирипровідні схеми приєднання термометрів опору до вимірювального приладу (рис. 10). При двопровідній схемі включення термометр опору та опір сполучних проводів послідовно включені в одну з гілок вимірювальної схеми (рис. 10 а). Підгонка опору з'єднувальних проводів до значення градуювання найчастіше здійснюється наступним чином.

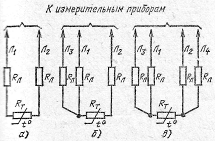


Рисунок – Схеми приєднання термометрів опору.

Послідовно з термометром і з'єднувальними проводами включаються котушка підгону.та еквівалентний опір(Рис. 11). Значення еквівалентного опору відповідає опору термометра за певної температури, наприклад, 100, 50 або 250 °С. затискачі термометра закорочують, і гілка вимірювальної схеми складається із опору реальних сполучних проводів, еквівалентного опору, що імітує опір термометра при певній температурі, і опору підгоночного (рис. 11, б). Потім включають вимірювальну схему та змінюютьдоки вимірювальний прилад не встане на позначку шкали, що відповідає температурі, на яку розраховано еквівалентний опір.

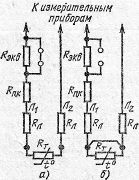


Рисунок 11 – Схема припасування опору сполучних проводів двопровідної лінії.

Після цього еквівалентний опір або відключається, або закорочується, а закоротка з затискачів термометра знімається.

Для зменшення похибки, що викликається невідповідністю опору сполучних проводів, застосовують трипровідну схему підключення (рис. 10 б). У цьому випадку припасування опору з'єднувальних проводів здійснюється послідовним виміром попарно з'єднаних проводів. Чотирьохпровідна схема (рис. 10, в) застосовується при компенсаційному методі вимірювання опору, який дозволяє повністю виключити вплив зміни опору з'єднувальних проводів.

Мостові схеми вимірювання опору

Для вимірювання опорів термометрів опору використовуються такі методи та вимірювальні схеми: одно- та двох мостові схеми (урівноважені та неврівноважені), логометри та компенсаційний метод.

Мостові схеми. Вимірювальний міст є (рис. 12) чотири резистори, які живляться джерела живлення, включеного в живильну діагональ. У вимірювальну діагональвключений вимірювальний прилад із опором.

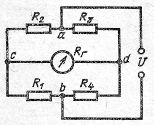


Рисунок – Принципова схема моста.

Можливі два режими роботи мосту:

рівноважний режим, коли зміною опору одного чи кількох резисторів домагаються виконання умови, яке має місце коли

 (8)

нерівноважний режим коли

 (9)

У цьому випадку, якщо потрібна однозначна залежність вимірювального струму від опору, наприклад, то необхідно, щоб решта елементів схеми мали постійні значення:.

У мостах, які використовують рівноважний режим (урівноважених мостах), для вимірювання опору необхідно врівноважити міст – виконати умову (8). Для цього одне або кілька плечей (резисторів) моста робляться змінними, опори можуть бути визначені. Тоді досягнувши рівноваги, по (8) і відомим трьом опорам визначається невідомий (вимірюваний) четвертий опір. Момент наступу рівноваги визначається відсутність струму в нуль-гальванометрі. Найпростіша схема врівноваженого мосту представлена ​​на рис. 13.

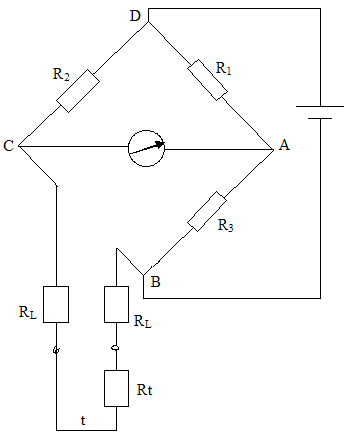


Рисунок – Схема врівноваженого мосту

А, В, С, D – вершини моста;

АС – вимірювальна діагональ;

ВД - живильна діагональ;

СД, DA, АВ, СВ – плечі мосту.

Термометр опору Rt і розташовані послідовно з ним два опори RL з'єднувальних ліній включаються до плеча СВ мостової схеми. У плечі мосту ЦД та АТ включені постійні опори R1 та R2. На плече АВ – змінний опір R3.

Принцип дії рівноважного моста компенсаційний – сигнал небалансу, який у вимірювальної діагоналі у разі порушення рівноваги моста, повинен зводиться до нуля. Змінюючи величину опору R3 досягають рівності напруги в точках А і С, що констатується відсутністю струму діагоналі АС гальванометром (нуль індикатором).

Переваги:

Мостова схема відрізняється високою точністю;

Мостова схема практично не залежить від напруги джерела живлення.

Недоліки – необхідність виконання ручного припасування опору R3.

У цій схемі похибка вносить:

перехідний опір пересувного контакту опору R3.

зміна опору з'єднувальних дротів RL за рахунок температури навколишнього середовища.

Ці похибки можна виключити, зібравши бруківку з трьох провідним включенням термометра.

Мости випускаються класу точності 0,5; 1.

Неврівноважені мости для вимірювання температури із термометрами опору застосовуються рідко. Однак вони знайшли широке застосування для вимірювання опору в газоаналізаторах, концентратомерах та інших засобів вимірювання. У неврівноважених мостах у процесі експлуатації немає необхідності проводити будь-які зміни опорів або перемикання. Покази вимірювального приладу розраховані або відградуйовані відразу в значеннях опору, що вимірюється, або параметра, що впливає на опір.

До переваг неврівноважених мостів слід віднести простоту схеми, яка потребує пристроїв врівноваження; можливість застосування для вимірювання малих опорів (за рахунок зменшення або навіть виключення опору провідників, що з'єднують плечі моста). До недоліків – залежність показань від зміни напруги живлення; нелінійність шкали мосту.

Для використання одночасно позитивних якостей як урівноважених, і неврівноважених мостів розроблено двомостова схема. Схема складається з вимірювального I та порівняльного II мостів, що живляться паралельно від одного джерела живлення. У вимірювальному мосту один або два опори є вимірювальні перетворювачі, так що при зміні їх опору щодо початкового виникає різниця потенціалів. Схема побудована таким чином, що на реохорді Rp, що виконує функцію дільника напруги, відбувається компенсація (урівноваження) різниці потенціалів Uab такою часткою від різниці потенціалів Ucd, що Uef = Uab.

Логометри

Магнітоелектричний логометр є одним із засобів вимірювання, які часто застосовуються в комплекті з технічними термометрами опору для вимірювання температури. Принцип дії логометра (логос - відношення) заснований на вимірі відношення струмів у двох електричних ланцюгах. В одну з них включено термометр опору, а в іншу – постійний опір.

Логометр складається з рамок 1 і 2 жорстко скріплених один з одним і зі стрілкою 3 і поміщених в повітряному зазорі між полюсними наконечниками 4 і 5 постійного магніту 6 і сердечником 7. Цей зазор зроблений нерівномірним, і тому значення магнітної індукції в різних точках зазору ( при різному куті повороту рамок та стрілки) буде різним. Таким чином, кут повороту рухомої системи залежить від опору термометра та не залежить від напруги живлення. Напрямки магнітного поля та струму повинні бути підібрані таким чином, щоб при порушенні рівноваги рамка з великим моментом поверталася у напрямку зменшення магнітної індукції або збільшення повітряного зазору. При цьому рамка з меншим моментом переміщатиметься у бік збільшення магнітної індукції або зменшення повітряного зазору.

Для підвищення чутливості логометра та можливості здійснення температурної компенсації застосовується логометр із симетричною бруківкою схемою. Така схема має більшу чутливість, ніж розглянута вище.

Компенсаційний метод виміру опорів

При точних вимірюваннях, коли повинні бути виключені або зведені до мінімуму похибки, а також при вимірюваннях низьких температур у криогенній техніці, коли опір термометрів мало, широкого поширення набув компенсаційний метод вимірювання. Сутність компенсаційного методу вимірювання опору полягає в тому, що проводиться порівняння падіння напруги на резисторі, що вимірювається, і на зразковому резисторі, включеному послідовно з вимірюваним (рис. 14).

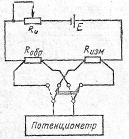


Рисунок - Компенсаційний метод вимірювання опорів

Вимірювання падіння напруги на резисторах здійснюється, як правило, потенціометром. І тут напруга живлення впливає результати виміру, і навіть повністю виключається вплив опору сполучних проводів, т.к. у момент вимірювання струм у проводах, що з'єднують потенціометр з вимірюваним резистором, дорівнює нулю. Для зручності застосування компенсаційного методу вимірювані та зразкові резистори мають чотири висновки: два струмові – для підключення живлення та два потенційні – для підключення потенціометра.

У розглянутому варіанті компенсаційний метод незручний технічних вимірів, т.к. для визначення опору резистора необхідно по черзі виміряти падіння напруги на вимірюваному та зразковому резисторах і потім розрахувати опір вимірюваного резистора. Для технічних вимірювань розроблені автоматичні компенсаційні прилади, які мають позитивні властивості компенсаційного методу вимірювання опору.

Термоелектричні перетворювачі

Застосування термоелектричних термометрів для вимірювання температури ґрунтується на залежності термоелектрорушійної сили термопари від температури. термоелектрорушійна сила (термо-ЕРС) виникає в ланцюгу, складеному з двох різнорідних провідників при нерівності температур у місцях з'єднання цих провідників (рис. 15).

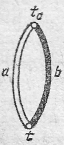


Рисунок – Термоелектричний ланцюг

Сучасна фізика пояснює термоелектричні явища в такий спосіб. З одного боку, внаслідок відмінності рівнів Фермі у різних металів при їхньому дотику виникає контактна різниця потенціалів. З іншого боку, концентрація вільних електронів у металі залежить від температури. За наявності різниці температур у провіднику виникає дифузія електронів, що веде до утворення електричного поля. Таким чином, трмоэлктродвижущая сила складається із суми стрибків потенціалу в контактах (спаях) термопари та суми змін потенціалу, викликаних дифузією електронів, і залежить від роду провідників та їх температури.

Кінці термопари, що контактують з вимірюваним середовищемназивають чутливим елементом (ЧЕ) або гарячим спаєм, а інші кінціназивають вільними кінцями чи холодним спаєм.

Якщо в ланцюзі (рис. 15) температури місць з'єднання провідників a і b будуть однакові, то й різниці потенціалів будуть рівними за значенням, але мати різні знаки:

 (10)

а сумарна термо-ЕРС і струм у ланцюзі дорівнюватимуть нулю:

 (11)

Якщо, то сумарна термо-ЕРС не дорівнює нулю:

 (12)

т.к. різниці потенціалів для тих самих провідників при різних температурах не рівні. Результуюча термо-ЕРС (12) залежить для даних провідників a та b від температурі. Щоб отримати однозначну залежність термо-ЕРС від вимірюваної температуринеобхідно іншу температурупідтримувати незмінною.

Термо ЕРС виникає за наявності двох умов:

a та b – різнорідні електроди;

.

Для вимірювання термо-ЕРС в ланцюг термоелектричного термометра включають вимірювальний прилад, причому його включення вводить в ланцюг, принаймні ще один, третій провідник. Термо-ЕС ланцюга, складеного з трьох різнорідних провідників, не відрізняється від термо-РС ланцюга, складеного з двох провідників, якщо температура місць приєднання третього провідника дорівнює.

На підставі особливостей включення третього провідника в ланцюг термоелектричного термометра можуть бути використані два варіанти включення вимірювального приладу (ІП) в ланцюг термоелектричного термометра: розрив електрода (рис. 16, а) і в розрив спаю (рис. 16, б).

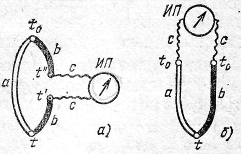


Рисунок – Вмикання вимірювального приладу в ланцюг термопари

У першому випадку, щоб не було спотворення термо-ЕРС, що розвивається, температуриіповинні бути рівними:, а температура вільних кінців. У другому випадку місця приєднання третього провідника одночасно є вільними кінцями термопари. Щоб не було спотворення термо-ЕРС температури цих кінців, повинні бути однакові, як кінці третього провідника, і постійні, як вільні кінці.

Для вимірювання температури термоелектричним термометром необхідно виміряти термо-ЕРС, що розвивається термометром, і температуру вільних кінців. Якщо температура вільних кінців термометра при вимірі температури дорівнює 0 °С, то вимірювана температура визначається відразу з градуювальної характеристики (таблиць, графіків), що встановлює залежність термо-ЕРС від температури робочого спаю.

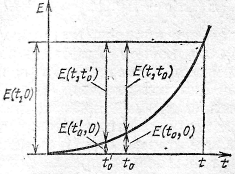


Рисунок – Введення поправки на температуру вільних кінців термопари

Якщо температура вільних кінців відрізняється від 0 °С, але залишається постійною, то для визначення температури робочого кінця за градуювальною характеристикою необхідно знати не тільки термо-ЕРС, що розвивається термометром, але й температуру вільних кінців. Щоб ввести поправку на температуру вільних кінців, необхідно до термо-ЕРС, що розвивається термометромдодати, щоб отримати значення термо-ЕРС:

 (13)

Таку термо-ЕРСрозвиває термометр при температурі робочого спаюта температурі вільних кінців 0 °С, тобто. за умов градуювання.

Якщо в процесі вимірювання температура вільних кінців набуде нового значення, то термо-ЕРС, що розвивається термометром, буде, а термо-ЕРС, що відповідає умовам градуювання

. (14)

Значення поправки на температуру вільних кінців термоелектричного термометра залежить від характеристики термометра, яка визначається матеріалами провідників. Незалежно від способу введення поправки (розрахункового чи автоматичного) методика введення поправки залишається незмінною: визначається розрахунковим шляхом або автоматично у схемі виходить значення, яке потім підсумовується з термо-ЕРС термопари. Сумарна термо-ЕРСвідповідає градуювальному значенню.

Влаштування термоелектричних термометрів та застосовувані матеріали

Два будь-які різнорідні провідники можуть утворити термоелектричний термометр. Щоб визначити підбір матеріалів для термоелектродів, необхідно визначити їх властивості по відношенню до одного матеріалу – нормального електрода. Як нормальний електрод приймають платиновий електрод.

Всі матеріали можна поділити за своїми термоелектричними властивостями на позитивні та негативні електроди. Позитивними умовно називають матеріали, у яких у парі з платиною струм тече від платини до цього матеріалу, а негативними – у яких струм тече у зворотному напрямку.

Вимоги до матеріалів для термоелектродів:

сталість термоелектродних властивостей (стабільна градуювальні характеристика);

високе значення коефіцієнта перетворення;

висока жаростійкість (вісмут - практично не застосовується, тому що при високій термо ЕРС має температуру плавлення +270 ° С);

висока електропровідність (практично не застосовується кремній);

можливість відтворення сплавів однакового складу;

легкість технологічної обробки.

Відповідно до стандартів РЕВ застосовують такі стандартні термоелектричні термометри.

Стандартні термоелектричні термометри

Таблиця 4

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Тип термопари термоелектричного термометра | Позначення нове (старе) | Робочий діапазон тривалого режиму роботи, °С | Максимальна температура короткочасного режиму роботи, °С |
| Мідь-капелєва | - | - 200 ÷ + 100 | - |
| Мідь-міднонікелева | Т | - 200 ÷ + 400 | - |
| Залізо-міднонікелева | J | – 200 ÷ + 700 | 900 |
| Хромель-капелєва | L (ХК) | – 50 ÷ + 600 | 800 |
| Нікельхром-міднонікелева | E | – 100 ÷ + 700 | 900 |
| Нікельхром-нікельалюмінієва (хромель-алюмелева) | До (ХА) | - 200 ÷ + 1000 | 1300 |
| Платинородій (10%) - платинова | S (ПП) | 0 ÷ + 1300 | 1600 |
| Платинородій (30%) - платинородієва (6%) | B (ПР) | 300 ÷ + 1600 | 1800 |
| Вольфрамренія (5%) - вольфрамренева (20%) | (ВР) | 0 ÷ + 2200 | 2500 |

На рисунку показано пристрій термоелектричного термометра. Термоелектроди 1 розташовані так, що їх спай 2 стосується захисного чохла 3. На термоелектроди одягнені ізоляційні намисто 4. На кінці захисного чохла кріпиться головка термометра 5. У головці розташована колодка 6 із затискачами 7 для термоелектродів та з'єднувальних проводів 8.

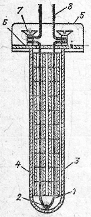


Рисунок – Пристрій термоелектричного термометра

На головці термопари вказується тип, межі, рік випуску, умови застосування (абсолютний тиск середовища).

Для кожного типу термопар нормуються допустимі відхилення (±) термо-ЕРС:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Тип термопари | Позначення | t < = 300 °С | t > = 300 °С |
| ПП  ПР 30/6  ХА  ХК | S  B  K  L | 0,01  0,01  0,16  0,20 | 0.01+2.5\*10-5(t-300)  0.01+3.3\*10-5(t-300)  0.16+2\*10-4(t-300)  0.2+6\*10-4(t-300) |

Велике поширення набули також термоелектричні термометри кабельного типу. Вони являють собою два термоелектроди, поміщені в тонкостінну оболонку (рис. 19).

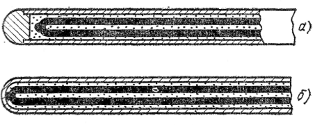


Рисунок – Влаштування термометрів кабельного типу

Простір між термоелектродами та оболонкою заповнюється спеціальною ізолюючою засипкою. Оболонка виготовляється з нержавіючої або жароміцної сталі. зовнішній діаметр оболонки – від 0,5 до 6 мм, довжина – до 25 м. Випускаються хромель-алюмелеві та хромель-копелеві термоперетворювачі з ізольованим (рис. 19, а) та неізольованим (рис. 19, б) спаями. Застосовуються в інтервалі температур від -50 до +900 ° С (в оболонці жароміцної сталі до 1100 ° С) при тиску до 40 МПа. Істотною перевагою термометрів кабельного типу є їх радіаційна стійкість, що дозволяє їм працювати в енергетичних реакторах АЕС, а також підвищена стійкість до теплових ударів, вібрації та механічних навантажень.

Засоби вимірювання термо-ЕРС

В даний час для вимірювання термо-ЕРС термоелектричних термометрів найбільшого поширення набули мілівольтметри, потенціометри – автоматичні та з ручним управлінням та нормуючі перетворювачі.

Принцип дії мілівольтметра заснований на взаємодії струму, що проходить через рухому рамку приладу з магнітним полем постійного магніту. Напрямок сили, що діє на провідник у магнітному полі, визначається правилом лівої руки, а її значення:

 (15)

де- Довжина провідника, м;- магнітна індукція, Т;- Сила струму в провіднику, А.

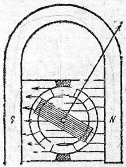


Рисунок – Рамка мілівольтметра у магнітному полі

Рамка, обертаючись у зазорі між наконечниками і сердечником, завжди розташовується паралельно магнітним силовим лініям, так що момент, що обертає, визначається виразом:

 (16)

При проходженні струму рамка з прикріпленою до неї стрілкою почне повертатися доти, доки не буде виконана умова (урівноважування двох моментів):

 (17)

де;– питомий протидіючий момент,- Кут повороту рамки. Такий момент створюється спіральними пружинами, з'єднаними із віссю рамки..- Чутливість приладу.

Рамка жорстко скріплена зі стрілкою та утворює рухливу систему мілівольтметра, яка може повертатися навколо своєї осі. Підведення струму до рамки здійснюється через спіральні пружинки, які одним кінцем з'єднані з рамкою, а іншим з нерухомими контактами. Тертя в опорах рамки є однією з причин похибки мілівольтметра, воно викликає варіацію.

Мілівольтметри можуть бути показуючими, самопишучими та регулюючими. За конструктивним виконанням приладу бувають щитовими та переносними. Клас точності переносних пристроїв: 0,2; 0,5; 1,0, а для щитових – 0,5; 1,0; 1,5.

Термо-ЕРС термоелектричного термометра однозначно залежить від температури робочого спаю, якщо температура вільних кінців постійна. Коли термо-ЕРС термометра вимірюється мілівольтметром, слід мати на увазі, що фактично мілівольтметр вимірює не термо-ЕРС, а струм, що протікає по рамці. Тому для однозначності залежності між термо-ЕРС і показаннями мілівольтметра необхідно, щоб опір всього ланцюга термоелектричний термометр-мілівольтметр був постійним, а точніше дорівнював градуювальному.

Компенсаційний метод виміру заснований на врівноважуванні вимірюваної ЕРС падінням напруги, значення якого може бути визначено.

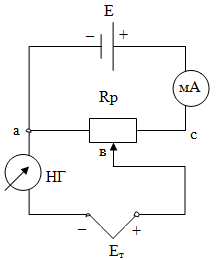


Рисунок - Компенсаційний метод вимірювання термо-ЕРС

Джерело термо-ЕРС ЕТ підключений до дільника напруги Rp, що живиться від джерела живлення Е, таким чином, що падіння напруги на дільнику Uaв включено назустріч ЕТ. Переміщаючи двигун дільника можна визначити положення, коли Uав = ЕТ. В цьому випадку термо-ЕРС ЕТ буде врівноважена падінням напруги Uав, струм буде відсутній і високочутливий нуль-гальванометр (НГ) покаже нуль. Щоб визначити значення термо ЕРС ЕТ, треба визначити падіння напруги:

Uав = IRав

Значення струму I, що у робочому контурі, може бути визначено за показаннями міліамперметра.

Головна перевага компенсаційного методу полягає в тому, що результати виміру не залежать від опору ланцюга термоелектричного термометра. Тоді як при вимірюванні термо-ЕРС мілівольтметром опір ланцюга визначав результати вимірювання.

В даний час випускаються автоматичні потенціометри, що показують і самопишучі (що здійснюють запис на стрічковій діаграмі).

Клас точності дорівнює 0.25 та 0.5 для КСП 4; 0.5 та 1 – для інших модифікацій. Потенціометри типу КСП можуть здійснювати дистанційну передачу показань.

Методи вимірювання температури нагрітих тіл по їх випромінюванню

Всі розглянуті вище термометри для вимірювання температури (термометри розширення, опору та термоелектричні) передбачають безпосередній контакт між чутливим елементом термометра та тілом, що вимірюється, або середовищем. Тому такі методи вимірювання температури іноді називають контактними. Верхня межа застосування контактних методів обмежується значеннями 1800-2200 °С. Однак у ряді випадків у промисловості та при дослідженнях виникає необхідність вимірювати більш високі температури. Крім того, часто неприпустимий безпосередній контакт термометра з вимірюваним середовищем. У цих випадках застосовуються безконтактні засоби вимірювання температури, які дозволяють виміряти температуру тіла або середовища теплового випромінювання. Такі засоби називаються пірометрами.

Безконтактні методи вимірювання теоретично не мають верхньої межі вимірювання та можливості їх використання визначаються відповідністю спектрів випромінювання вимірюваних тіл та спектральних характеристик пірометрів. Якщо будь-яких умов можна використовувати і контактні і безконтактні методи, то, зазвичай, перевагу слід надати контактним, т.к. вони дозволяють забезпечити більш високу точність виміру.

Усі тіла випромінюють електромагнітні хвилі різної довжиниабо частоти. Електромагнітне випромінювання, яке збуджується тепловим рухом молекул, називають тепловим випромінюванням. Це випромінювання має місце при температурах до 4000 ° С як результат коливального або обертального руху молекул. За більш високих температур випромінювання викликається переважно процесами дисоціації та іонізації.

Якщо випромінювання будь-якого тіла падає на інше, непрозоре для цього випромінювання тіло, воно поглинається на поверхні і перетворюється на теплоту. Процеси поглинання та випромінювання взаємооборотні. Промені, що падають ззовні на поверхню тіла, можуть повністю або частково відбиватися від поверхні, поглинатися тілом, проходити через тіло.

Відношення відбитого, поглиненого і пропущеного потоку випромінювання до потоку випромінювання, що падає на тіло, називається відповідно коефіцієнтами відображення, поглинаннята пропускання. Для монохроматичного випромінювання (випромінювання з певною довжиною хвилі) ці коефіцієнти називаються відповідно спектральними коефіцієнтами відображення, поглинаннята пропускання. Вони залежать від матеріалу тіла, способу обробки, стану поверхні, температури та інших факторів. Між ними існують такі співвідношення:

 (18)

Тіло, що поглинає все випромінювання, що падає на нього, називається абсолютно чорним тілом.

**Яскравою температурою** реального тіла Тя називають температуру, за якої щільність потоку спектрального випромінювання абсолютно чорного тіла дорівнює щільності потоку спектрального випромінювання реального тіла для тієї ж довжини хвилі (або вузького інтервалу спектра) за дійсної температури Тд.

**Колірною температурою** реального тіла Тц називають температуру, при якій відношення щільностей потоків випромінювання абсолютно чорного тіла для двох довжин хвиль λ1 і λ2 дорівнює відношенню щільностей потоків випромінювань реального тіла для тих самих довжин хвиль при дійсній температурі Тд.

Методи вимірювання температури тіл з випромінювання

Існує велика кількість різних методів вимірювання температури тіл з їхнього випромінювання, але для вимірювання високих температур у реальних технологічних процесах застосовуються такі типи пірометрів: квазимонохроматичні, повного випромінювання та спектрального відношення. Іноді у зв'язку з технічними труднощами реалізації методу повного випромінювання використовуються пірометри часткового випромінювання.

Принцип дії квазімонохроматичних пірометрів заснований на порівнянні яскравості монохроматичного випромінювання двох тіл: еталонного тіла і тіла, температуру якого вимірюють. Як еталонне тіло зазвичай використовують нитку лампи розжарювання, яскравість випромінювання якої регулюють.

Пірометр являє собою телескопічну трубку з лінзою 1 об'єктиву та лінзою 4 окуляри. Усередині телескопічної трубки у фокусі лінзи об'єктива знаходиться лампа розжарювання 3 з підковою ниткою.

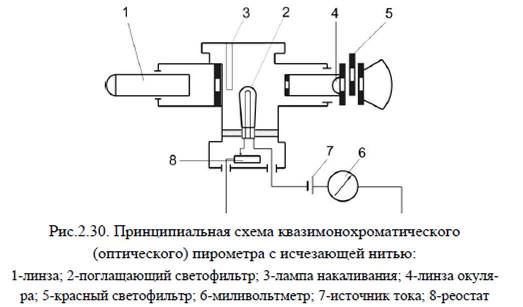


Рисунок – Принципова схема квазімонохроматичного пірометра

Лампа живиться від джерела струму через 7 реостат 8. У ланцюг живлення лампи включений мілівольтметр 6, конструктивно об'єднаний з трубкою телескопа. Шкала мілівольтметра відградуйована у градусах температури. Для отримання монохроматичного світла окуляр має червоний світлофільтр 5, що пропускає тільки промені певної довжини хвилі. В об'єктиві знаходиться сірий поглинаючий світлофільтр 2, що служать для розширення меж вимірювання.

Об'єктив і окуляр приладу можуть переміщатися вздовж осі телескопічної трубки, що дозволяє отримати різке зображення розпеченого тіла і нитки. При підготовці оптичної системи до вимірювання трубку наводять на тіло та пересувають об'єктив до отримання чіткого зображення тіла та нитки лампи (у вигляді різкої чорної підковки). Включивши джерело струму, реостатом регулюють яскравість нитки доти, доки середня частина її не зіллється з освітленим тілом. У цей момент за шкалою мілівольтметра відраховують температуру тіла.

Залежність дійсної температури тіла від яскравості. що вимірюється пірометром, виражається залежністю:



де - довжина хвилі монохроматичного випромінювання; С – константа:

*ελ-*ступінь чорноти тіла для цієї довжини хвилі.

Стабільність показань пірометра з ниткою, що зникає залежить, головним чином, від сталості характеристик вимірювального приладу і лампи. Лампа з вольфрамовою ниткою протягом дуже тривалого періоду зберігає властиву їй залежність яскравості нитки від сили струму, що протікає через неї, якщо температура не перевищує 1400°С. Нагрів до температури вище 1400°З призводить до розпилення вольфрамової нитки та зміни її опору; вольфрам, що виганяється, осідає на стінках колби лампи і утворює темний наліт. З цих причин яскрава характеристика лампи змінюється. Межу вимірювання підвищують введенням сірого світлофільтра, який однаково поглинає енергію хвиль усіх довжин. Скло сірого світлофільтра вибирають такої оптичної щільності, щоб при яркісній температурі випромінювача вище 1400°С нитку лампи розжарювання нагрівалася до яркісних температур не вище 1400°С. Відповідно до цього мілівольтметр постачають двома шкалами: верхньої - для вимірювання температур від 800 до 1400°З виведеним сірим світлофільтром і нижньою - для температур вище 1300°С з введеним сірим світлофільтром.

Приладобудівна промисловість випускає переносні пірометри з ниткою, що зникає, в різному конструктивному оформленні для температур від 800°С до декількох тисяч градусів. Пірометри працюють із ефективною довжиною хвилі 0,65 або 0,66 мкм.

**Пірометри спектрального відношення**

У колірних пірометрах, що застосовуються для промислових вимірів, визначається відношення спектральної енергетичної яскравості (ВЕЯ) реального тіла у променях двох заздалегідь вибраних довжин хвиль. тобто показання пірометра є функцією f(Eλ1/Eλ2). Це відношення для кожної температури по-різному, але цілком однозначно.

У більшості випадків для реальних тіл криві Еλ =f /(λ) при різних температурах цілком подібні до кривих для абсолютно чорного тіла: тому практично не потрібно вводити поправки на неповноту випромінювання, що є основною перевагою колірного пірометра. Другою важливою перевагою колірних пірометрів від відстані до об'єкта виміру та від поглинання радіації в середовищі.

Більшість конструкцій колірних пірометрів заснована на визначенні кольору тіла, що вимірюється, по відношенню енергетичних яскравостей для двох довжин хвиль, не дуже близьких одна до іншої у видимій частині спектру. Щоб уникнути залежності результатів вимірювання від суб'єктивних особливостей спостерігача (колірночутливість та стомлюваність ока), у колірних пірометрах для вимірювання відношення енергетичних яскравостей використовують фотоелементи.

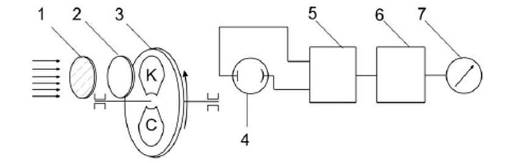


Рисунок – Принципова схема пірометра спектрального відношення

Вимірюване випромінювання через захисне скло 1 (рис. 2.31) та об'єктив 2 потрапляє на фотоелемент 4. Між об'єктивом та фотоелементом встановлений обтюратор 3, що обертається синхронним двигуном. Обтюратор виконаний у вигляді диска з двома отворами, одне з яких закрито червоним світлофільтром, інше - синім С. Таким чином, при обертанні обтюратора на фотоелемент поперемінно потрапляють випромінювання відповідної СЕЯ. Спектральна характеристика фотоелемента залежить від температури, тому фотоелемент у пірометрі міститься в термостаті з автоматичним регулюванням.

Електричний струм, напруга якого пропорційно відповідним СЕЯ попередньо посилюється електронним підсилювачем 5 і перетворюється спеціальним електронним логарифмуючим пристроєм 6 постійний струм: сила постійного струму залежить від 1/Т. Сила струму логарифмує пристрою вимірюється вказівним або реєструючим мілівольтметром 7.

Залежність дійсної температури тіла від колірної, що вимірюється пірометром, виражається залежністю:

Межа виміру пірометрів становить від 300 до 2800°С. основна похибка при вимірі температури фізичних тіл вбирається у =1 % від верхньої межі вимірів.

Є колірні пірометри з диференціальною вимірювальною схемою, що включає два фотоелементи.

**Пірометри повного випромінювання (радіаційні)**

Пірометри повного випромінювання вимірюють радіаційну температуру тіла, тому часто називають радіаційними (або радіометрами). Принцип дії ґрунтується на використанні закону Стефана-Больцмана.

Закон Стефана-Больцмана: Енергетична яскравість чорного тіла пропорційна четвертому ступеню температури T.

**Радіаційною температурою**реального тіла Тр називають температуру, за якої повна енергетична яскравість абсолютно чорного тіла дорівнює повній енергетичній яскравості випромінювання даного тіла за дійсної температури Тд.

ε – ступінь чорноти

Оскільки за визначенням Еачт=Ед, то:

Залежність дійсної температури тіла від радіаційної, що вимірюється пірометром, виражається залежністю:

Пірометр забезпечений оптичною системою (лінзою, дзеркалом), що збирає промені, що випускаються нагрітим тілом, на якому-небудь теплоприймачі. Теплоприймач зазвичай складається з мініатюрної термоелектричної батареї (з декількох малоінерційних послідовно з'єднаних ТЕП), термометра опору або напівпровідникового терморезистора. Як вимірювальні прилади застосовують мілівольтметри, автоматичні потенціометри і врівноважені мости.

Пірометр з термобатареєю складається з телескопа з лінзою 1 об'єктиву та лінзою 2 окуляри. На шляху променів лінзи 1 встановлена ​​діафрагма 3, а у фокусі лінзи об'єктива - термоелектрична батарея 4.

Робочі спаї ТЕП прикріплені до хрестоподібної платівки з платинової фольги, покритої платиновим чернем для кращого поглинання падаючих променів. Вільні кінці термометрів ТЕП укріплені на слюдяній пластинці, а сполучні дроти виведені до клем, що знаходяться в корпусі телескопа. Перед окулярною лінзою розміщено кольорове скло 5 для захисту очей при встановленні пірометра. Температура робочих кінців термобатареї не повинна перевищувати 250 °С. Для зменшення кількості променів, що падають на термобатарею, служить діафрагма 3.

Вид матеріалу лінзи визначає інтервал вимірюваних температур та градуювальну характеристику. Скло з флюориту забезпечує можливість вимірювання низьких температур, починаючи з 100°С. кварцове скло використовується для температури 400 - 1500 ° С, а оптичне скло для температур 950 ° С і вище.

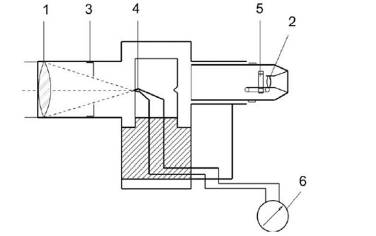


Рисунок – Принципова схема пірометра повного випромінювання з термобатареєю у скляному балончику:

1.2-лінзи: 3-діафрагма: 4-батарея: 5-кольорове скло: 6 - мілівольтметр.

Даними пірометрами вимірюють температуру від 100 до 3500 С. Основна допустима похибка технічних промислових пірометрів зростає зі збільшенням верхньої межі виміру та для температур 1000, 2000 і 3000°С становить відповідно ±12; ±20 та ±35°С.

Точний облік кількості променистої енергії, що надходить у приймач, вкрай складний, так як між теплоприймачем і навколишнім середовищем відбувається теплообмін, тому прилад може мати не піддаються обліку похибки. Незважаючи на ці недоліки, пірометри повного випромінювання широко застосовують у виробничій практиці: вони можуть бути встановлені стаціонарно, дозволяють застосовувати дистанційну передачу, автоматично записувати та регулювати температуру.

Величини та постійні, що застосовуються в пірометрії випромінювання

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Величина чи постійна | Позначення | Визначення |
| Енергія випромінювання, Дж | W | Енергія випромінювання, еквівалентна роботі в 1 Дж |
| Потік випромінювання, Вт |  | Потік випромінювання, еквівалентний потужності 1 Вт |
| Енергетична сила світла, Вт/ср |  | Енергетична сила світла, що створює в тілесному куті 1 ср. потік випромінювання 1 Вт |
| Енергетична яскравість, Вт/(м2ср) |  | Енергетична яскравість тіла, перпендикулярно поверхні якого площею 1 м2 випромінюється світло енергетичною силою 1 Вт/ср. |
| Спектральна енергетична яскравість, Вт/(м3ср) |  | Спектральна енергетична яскравість тіла, при якій у діапазоні довжин хвиль 1 м рівномірно розподілена енергетична яскравість 1 Вт/(м2ср) |
| Постійна Планка, Дж |  | Дж·с |
| Постійна Больцмана, Дж/К |  | Дж/К |
| Швидкість світла у вакуумі, км/с |  | м/с (300000 км/с) |
| Перша постійна випромінювання, Вт·м2 |  | Вт·м2 |
| Друга постійна випромінювання, м · До |  | м·К |
| Постійна Стафана-Больцмана, Вт/(м2 К) |  | Вт/(м2 К) |

***Переваги методів вимірювання температури тіл з випромінювання***.

Всі методи вимірювання не вимагають безпосереднього контакту з вимірюваним середовищем, вони можуть вимірювати температуру на відстані і тому не спотворюють температурне поле об'єкта вимірювання.

Верхня межа вимірювань пірометрами випромінювання не обмежена.

Усі методи дуже чутливі до зміни температури.

***Недоліки.***

Однак усі методи при вимірі температури реальних тіл дають значення умовної псевдотемператури (яскравої, колірної, радіаційної), а не дійсної температури тіла. У випадку найменше відхилення від дійсної має колірна температура, а найбільше – радіаційна. Розбіжність між температурою, що показується пірометром, і дійсною температурою тіла може становити десятки та сотні градусів.

Похибки

Однією з основних складових похибки вимірювання температури пірометрами випромінювання є похибка за рахунок невизначеності коефіцієнта теплового випромінювання вимірюваного тіла. В реальних умовахзалежить від роду матеріалу, стану його поверхні та її температури. Тому помилка в оцінці становить, як правило, щонайменше 10-20%. Відносна похибка вимірювання температури за рахунок невизначеностідля квазімонохроматичного методу може становити 2-3%.

У пірометрах спектрального відношення похибка виміру за рахунок невизначеності відношеннябуде значно менше.

У пірометрах повного випромінювання похибка вимірювання температури за рахунок невизначеності оцінки інтегрального коефіцієнта теплового випромінюванняможе досягати 20-30% і більше. Тому відносна похибка вимірювання температури за рахунок невизначеностідля методу повного випромінювання може становити 5-8% і більше.

Крім похибки, пов'язаної з невизначеністю коефіцієнта теплового випромінювання, при вимірюванні температури пірометрами випромінювання можуть бути похибки за рахунок впливу проміжного середовища. Послаблення теплового випромінювання проміжним середовищем, що знаходиться між об'єктом виміру та пірометром, впливає на результати вимірювання всіх пірометрів. Однак ступінь цього впливу може бути різним. Наприклад, запиленість і задимленість проміжного середовища, наявність у ній водяної пари та вуглекислого газу найбільшою мірою впливає на показання пірометрів повного або часткового випромінювання. У квазімонохроматичних пірометрах і пірометрах спектрального відношення вплив проміжного середовища, як правило, менший.

Вимірювання тиску

Тиск належить до поширених вимірюваних фізичних величин. Контроль за перебігом більшості технологічних процесів у тепловій та атомній енергетиці, металургії, хімії пов'язаний з вимірюванням тиску або різниці тисків газових та рідких середовищ.

Тиск є широким поняттям, що характеризує нормально розподілену силу, що діє з боку тіла на одиницю поверхні іншого. Якщо діюче середовище – рідина чи газ, то тиск, характеризуючи внутрішню енергію середовища, одна із основних параметрів стану. У міжнародній системі одиниць СІ як одиниця тиску прийнятий паскаль (Па), рівний тиску створюваного силою в 1 ньютон, що діє на площу 1 м2 (). Одиницядуже мала, тому в технічних вимірах допускається застосування позасистемних одиниць: бар, міліметр ртутного стовпа та міліметр водяного стовпа (чисельно рівний), що мають наступні співвідношення з одиницею системи СІ:



В даний час у техніці ще застосовується система одиниць МКГСС (метр, кілограм-сила, секунда), де як основна одиниця тиску приймаєтьсяабо позасистемна одиниця – технічна атмосфера. Остання має наступні співвідношення з одиницеюта позасистемними одиницями:



При вимірюваннях розрізняють абсолютний, надлишковий та вакууметричний тиски. Під абсолютним тискомрозуміють повний тиск, який дорівнює сумі атмосферного тискута надлишкового.

Поняття вакууметричного тиску вводиться при вимірюванні тиску нижче за атмосферний.

За принципом дії прилади для вимірювання тиску поділяються  
(ГОСТ 8.271-77) на такі основні групи:

Рідинні – у яких вимірюваний тиск урівноважується тиском стовпа рідини відповідної висоти.

Деформаційні, – в яких вимірюваний тиск визначається за величиною деформації різних пружних чутливих елементів або по силі, що розвивається ними.

Вантажопоршневі – у яких вимірюваний чи відтворюваний тиск урівноважується тиском, створюваним масою поршня та вантажів.

Електричні, – дія яких ґрунтується на залежності електричних параметрів манометричного перетворювача від вимірюваного тиску.

А також іонізаційні та теплові.

Влаштування перелічених приладів тиску різноманітне. Серед них можна виділити п'ять основних груп загальнопромислових вимірювальних приладів та перетворювачів ДСП: механічні, з диференційно-трансформаторними перетворювачами, з компенсацією магнітних потоків, з силовою компенсацією та з тензоперетворювачами («Сапфір-22»). Кожна з груп при загальній елементній базі та настановних розмірах забезпечує вимірювання та перетворення тиску в уніфікований сигнал у межах, що регламентуються ГОСТ 18140-77, 2405-72, 2648-78 та ін.

За назвою розрізняють такі основні прилади для  
вимірювання тиску:

Манометри – пристрої вимірювання тиску чи різниці тисків (загальне найменування). Вони у свою чергу поділяються на:

Барометри для вимірювання барометричного (абсолютного) тиску атмосферного повітря.

Манометри надлишкового тиску – для вимірювання надлишкового тиску (вище атмосферного – барометричного), що дорівнює різниці між абсолютним та атмосферним тиском;

Вакуумметри – для вимірювання вакуумметричного тиску (нижче атмосферного), рівного різниці між атмосферним та абсолютним тиском або для вимірювання абсолютного тиску нижче 100;

Мановакууметри – для вимірювання надлишкового та вакууметричного тисків;

Диференціальні манометри – для вимірювання різниці двох тисків (у межах, за ГОСТ 3720-66, до), жодна з яких не є тиском довкілля.

Манометри, вакуумметри та диференціальні манометри, призначені для вимірювань невеликих надлишкових та вакууметричних тисків (до 40 кПа = 0,4 кгс/см2) або різниці тисків (до) газових середовищ, називають напоромірами, тягомірами або дифернціальними тягонапоромірами. Тягонапороміри мають двосторонню шкалу з межами виміру до ± 20 кПа (± 0,2 кгс/см2).

Рідинні манометри та дифманометри

У рідинних манометрах вимірюваний тиск або різницю тиску врівноважується тиском стовпа рідини. У приладах використовується принцип сполучених судин, у яких рівні робочої рідини збігаються при рівності тисків над ними, а при нерівності займають таке положення, коли надлишковий тиск в одному з судин врівноважується гідростатичним тиском надлишкового стовпа рідини в іншому.

Більшість рідинних манометрів мають видимий рівень робочої рідини, яким проводиться безпосереднє зняття показань. Ці прилади використовуються в лабораторній практиці та при проведенні промислових випробувань. Існує група рідинних дифманометрів. Вони рівень робочої рідини безпосередньо немає. Зміна рівня викликає переміщення поплавка або зміна характеристик іншого пристрою, що забезпечують або безпосереднє показання вимірюваної величини за допомогою відлікового пристрою, або перетворення і передачу її значення на відстань.

Різновиди рідинних манометрів

Двотрубні рідинні манометри. Для вимірювання тиску та різниці тисків використовують двотрубні манометри та дифманометри з видимим рівнем, які називаються U-подібними (рис. 23).

Трубки заповнюються робочою рідиною до нульової позначки. У трубку 1 подається тиск, що вимірюється, трубка 2 повідомляється з атмосферою. При вимірі різниці тисків до обох трубок підводять вимірювані тиски.

Стовп рідини заввишкиврівноважує різницю тисків:



Як робоча рідина використовуються вода, ртуть, спирт, трансформаторне масло. У рідинних манометрах функції чутливого, що сприймає зміни вимірюваної величини виконує робоча рідина. Вихідною величиною є різниця рівнів, вхідний тиск або різниця тисків. Висота стовпавизначається як сума висоті.

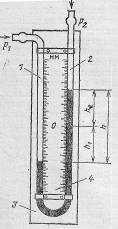


Рисунок – Схема двотрубного манометра

Якщо щільність середовища над робочою рідиною можна порівняти з щільністю останньої, то:



Двотрубні манометри з водяним заповненням використовуються для вимірювання тиску, розрідження, різниці тиску повітря та неагресивних газів у діапазоні до ± 10 кПа. При заповненні манометра ртуттю межі виміру розширюються до 0,1 МПа, при цьому вимірюваним середовищем можуть бути вода, неагресивні рідини та гази.

Джерелами похибок двотрубних манометрів є відхилення від розрахункових значень місцевого прискорення вільного падіння, щільностей робочої рідини та середовища над нею, помилки у зчитуванні висоті.

Місцеве прискорення вільного падіння розраховується за формулою і залежить від відхилення географічної широти від широти 45°, що відповідає нормальному прискоренню вільного падіння і висоти над рівнем моря. Щільності робочої рідини та середовища даються у таблицях теплофізичних властивостей речовин залежно від температури та тиску. Похибка зчитування різниці висот рівнів робочої рідини залежить від ціни поділу шкали.

Однотрубні манометри. Для підвищення точності відліку різниці висот рівнів використовуються однотрубні (чашкові) манометри (рис. 24).

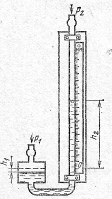


Рисунок – Схема однотрубного манометра

У однотрубного манометра одна трубка замінена широкою судиною, в яку подається більший з вимірюваних тисків. Трубка, прикріплена до шкальної пластинки, є вимірювальною і повідомляється з атмосферою, при вимірюванні різниці тисків до неї підводиться менший тиск. Робоча рідина заливається в манометр до нульової позначки.

Під дією тиску частина робочої рідини із широкої судини перетікає у вимірювальну трубку. Оскільки обсяг рідини, витісненої з широкої судини, дорівнює обсягу рідини, що надійшла вимірювальну трубку, то



де– площі поперечного перерізу вимірювальної трубки та широкої судини відповідно.

При , і якщото зміною рівня в широкій посудині нехтують і при вимірюванні враховується тільки зміна рівня вимірювальної трубки.

Вимірювання однотрубних манометрах висоти одного стовпа робочої рідини призводить до зниження похибки зчитування.

Інші складові похибки, зумовлені відхиленнями від розрахункового значення прискорення вільного падіння, щільності робочої рідини та середовища над нею, температурними розширеннями елементів приладу є спільними для всіх рідинних манометрів.

У двотрубних та однотрубних манометрів основною похибкою є похибка зчитування різниці рівнів. За однієї і тієї ж абсолютної похибки, наведена похибка виміру знижується зі збільшенням меж виміру. Мінімальний діапазон вимірювання однотрубних манометрів із водяним заповненням становить 1,6 кПа (160 мм вод. ст.).

Мікроманометри. Для вимірювання тиску та різниці тисків до 3 кПа (300 кгс/м2) використовуються мікроманометри, які є різновидом однотрубних манометрів та забезпечені спеціальними пристроями або для зменшення ціни поділу шкали, або для підвищення точності зчитування висоти рівня за рахунок використання оптичних або інших пристроїв. Найбільш поширеними лабораторними мікроманометрами є мікроманометр типу ММН з похилою вимірювальною трубкою (рис. 25).

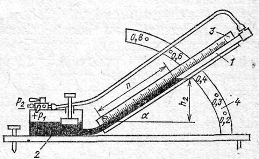


Рисунок – Схема мікроманометра ММН

Показання мікроманометра визначаються за довжиною стовпчика робочої рідиниу вимірювальній трубці 1, що має кут нахилу. Виходячи з рівності об'ємів робочої рідини, витісненої з широкої судини 2 вимірювальну трубку 1 отримаємо:



де- Зміна рівня в широкій посудині;– площі поперечного перерізу широкої судини та трубки. Оскільки, то



При певній щільності робочої рідини, в якості якої зазвичай використовують спирт, та нормальному прискоренні вільного падіннявсі помножувачі прив останньому вираженні позначають одним коефіцієнтом, Що змінюється від 0,2 до 0,8.

На рис. кронштейн 3 з вимірювальною трубкою 1 кріпиться на секторі 4 в одному з п'яти фіксованих положень, яким відповідаютьта п'ять діапазонів вимірювання приладу від 0,6 кПа (60 кгс/м2) до 2,4 кПа (240 кгс/м2). Наведена похибка виміру вбирається у 0,5%. Мінімальна ціна поділу пристановить 2 Па (0,2 кгс/м2), подальше зниження ціни поділу, пов'язане зі зменшенням кута нахилу вимірювальної трубки, обмеження зниженням точності зчитування положення рівня робочої рідини через розтяг меніски.

Більш точними приладами є мікроманометр типу ММ, звані компенсаційними. Похибка зчитування висоти рівня цих приладах вбирається у ± 0,05 мм.

Барометр. Барометри використовуються для вимірювання атмосферного тиску. Найбільш поширеними є чашкові барометри з ртутним наповненням, відградуйовані в мм рт. ст. (Рис. 26). Похибка зчитування не перевищує ±0,1 мм.

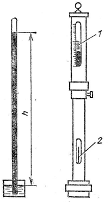


Рисунок – Схема чашкового ртутного барометра

Компенсаційні манометри (Манометри Мак-Леода). Принцип дії манометра заснований на використанні закону Бойля-Маріотта, згідно з яким для фіксованої маси газу добуток обсягу тиску при незмінній температурі становить постійну величину (рис. 27).

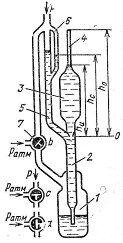


Рисунок – Схема компенсаційного манометра

Набір компенсаційних манометрів разом із мембранно-емкостным манометром входить до складу національного спеціального стандарту одиниці тиску області 10-3 – 103 Па.

Поплавкові дифманометри. Принцип врівноваження вимірюваного тиску силою тяжкості стовпа робочої рідини використовується в рідинних дифманометрах поплавця. Які є різновидом однотрубних манометрів, але на відміну від розглянутих вище приладів цього типу немає видимого рівня робочої рідини (рис. 28).

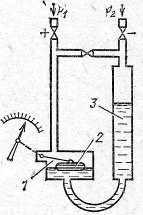


Рисунок – Схема поплавкового дифманометра

У широкій посудині 1, куди подається більша з вимірюваних тисків, плаває поплавець 2. Його переміщення, що визначається вимірюваною різницею тисків, передається стрілці, що показує, або записуючого пристрою. Хід поплавцязалежить від співвідношення судин. Вузька судина 3 є змінною.

Випускаються показують і самописні поплавкові дифманометри типу ДП. Виробляється сім типорозмірів змінних судин, що забезпечують відповідно до стандартного ряду вимірювання різниці тиску від 6,3 кПа (630 кгс/м2) до 0,1 МПа (1 кгс/см2) при статичному тиску 25 МПа. Граничні похибки приладів не перевищують ±2% від діапазону вимірювання. Поплавкові дифманометри, що показують, можуть мати додаткові пристрої для сигналізації відхилень (ДП-778) і отримання уніфікованого пневматичного сигналу (ДП-787). Основним недоліком показують і самописних поплавкових дифманометрів є наявність виведення механічного переміщення із внутрішньої порожнини приладу, що часто перебуває під високим статичним тиском.

Перевагами розглянутих вище рідинних манометрів і дифманометрів є їхня простота і надійність за високої точності вимірювань. Працюючи з рідинними приладами необхідно виключати можливість навантажень і різких змін тиску, т.к. у цьому випадку може відбуватися виплескування робочої рідини у лінію чи атмосферу.

Деформаційні манометри та дифманометри

У деформаційних манометрах використовується залежність деформації чутливого елемента або сили, що розвивається, від вимірюваного тиску. Пропорційна тиску деформація чи сила перетворюється на показання чи відповідні зміни вихідного сигналу. Більшість деформаційних манометрів і дифманометрів містять пружні чутливі елементи, що здійснюють перетворення тиску пропорційне переміщення робочої точки.

Найбільш поширені пружні чутливі елементи представлені на рис. До них відносяться трубчасті пружини (рисунок, а), сильфони (рисунок, б), плоскі та гофровані мембрани (рисунок, в, г), мембранні коробки (рисунок, д) і мляві мембрани з твердим центром (рисунок, е).

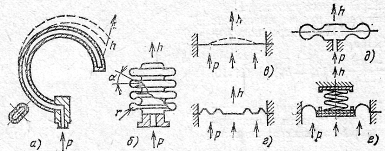


Рисунок – Пружні чутливі елементи

Порожні одновиткові трубчасті пружини мають еліптичний або плоскоовальний переріз. Один кінець пружини, який надходить вимірюваний тиск, закріплений нерухомо, другий (закритий) може переміщатися. Під дією різниці вимірюваного внутрішнього тиску і зовнішнього атмосферного трубчаста пружина деформується і переміщується в 1 – 3 мм. Для тисків до 5 МПа трубчасті пружини виготовляють із латуні, бронзи, а для більш високих тисків – із легованих сталей та сплавів нікелю.

Сильфонні та мембранні чутливі елементи мають більш широкі можливості для збільшення ефективної площі метою отримання необхідного зусилля перестановки, дозволяє використовувати їх для вимірювання малих надлишкових тисків і розрідження. Сильфон являє собою тонкостінну трубку з поперечними кільцевими гофрами на бічній стінці. Жорсткість сильфона залежить від матеріалу, зовнішнього та внутрішнього діаметрів, товщини стінки заготовки, радіусу закруглення гофр та кута їх ущільнення, числа гофр. Сильфони бувають цільнотягнутими та звареними.

Найбільш різноманітними за конструкцією є мембранні чутливі елементи. Представлена ​​на рис., плоска або пластинчаста мембрана являє собою гнучку тонку пластину, закріплену по колу. Під впливом різниці тисків, що діють з обох боків на мембрану, її центр переміщається. Плоска мембрана має нелінійну статичну характеристику та малі переміщення робочої точки, у зв'язку з чим її переважно застосовують для перетворення тиску в силу (п'єзоелектричні перетворювачі) або поверхневі деформації (тензоперетворювачі).

Для поліпшення статичної характеристики використовують гофровані мембрани та мембранні коробки (рис. 29, г, д). Профілі мембран можуть бути пилчастими, трапецеїдальними, синусоїдальними. Гофрування мембрани призводить до збільшення її жорсткості, спрямовування статичної характеристики та збільшення зони пропорційних переміщень робочої точки. Більш широко використовуються мембранні коробки, які є зварені або спаяні по зовнішній кромці мембрани. Жорсткість коробки вдвічі нижча за жорсткість кожної з мембран. У дифманометрах, чутливих елементах регуляторів прямої дії використовуються мембранні блоки, що включають дві коробки та більше.

У напоромірах та тягомірах застосовуються мляві мембрани (рис. 29, е), виготовлені з бензомаслостійкої прогумованої тканини. У центрі мембрани кріпляться металеві пластини, одну з яких упирається гвинтова пружина, виконує функції пружного елемента.

Пружні властивості матеріалів чутливих елементів залежить від температури. Це визначає необхідність захисту приладів від впливу високих температур середовища. З часом у пружних чутливих елементів накопичуються пластичні деформації та знижуються та зменшуються пружні. Це призводить до зниження крутості статичної характеристики приладу та її зміщення. Цей процес прискорюється при підвищеній температурі та пульсації вимірюваного тиску. Конструкція деформаційних манометрів та дифманометрів передбачає можливість корекції відхилень показань або вихідного сигналу, спричинених старінням чутливого елемента.

Відповідно до використовуваного типу розглянутих чутливих елементів деформаційні манометри поділяються на трубчасто-пружинні, сильфонні та мембранні.

Трубчасто-пружинні манометри, що показують, випускаються з верхньою межею вимірювання від 0,1 МПа (1 кгс/см2) до 103 МПа (104 кгс/см2). Пружинні вакуумметри мають діапазон вимірювання 0,1 - 0 МПа, а мановакууметри при нижній межі вимірювання 0,1 МПа мають верхню межу вимірювання за надмірним тиском від 0,1 до 2,4 МПа. Зразкові пружинні манометри, що показують, мають клас точності 0,15; 0,25 та 0,4; робітники 1,5; 2,5; 4, робітники підвищеної точності 0,6 та 1.

Випускаються пружинні манометри з одновітковою (типу МТ) та багатовитковою (типу МТМ) трубчастою пружиною. Можуть бути такими, що показують і самопишучими класу точності 1; 1,5.

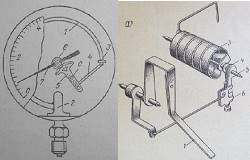


Рисунок – Трубчасто-пружинний манометр, що показує, і багатовиткова трубчаста пружина

Для сигналізації граничних відхилень тиску застосовують електроконтактні манометри типу ЕКМ (рис. 31). У показує манометр вводяться дві додаткові стрілки 2, 3 до яких підібгані електричні контакти 4, що показує стрілка 1 також забезпечена електричним контактом 6. Додаткові стрілки встановлюються проти значень тиску, що сигналізується. При досягненні стрілкою, що показує, будь-якої з додаткових стрілок ланцюг замикається і викликає спрацьовування сигналізації.

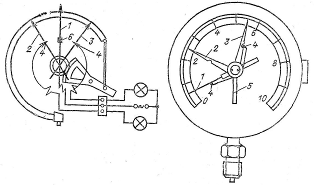


Рисунок – Електроконтактний манометр типу ЕКМ

Для передачі на відстань до вільного кінця трубки прикріплюють диференціально-трансформаторний перетворювач, який перетворює переміщення трубки в електричний сигнал.

Диференціально-трансформаторні перетворювачі (ДТП) призначені для перетворення лінійного переміщення осердя (пов'язаного з чутливим елементом) у вихідний електричний сигнал. Принцип дії ґрунтується на залежності взаємної індуктивності між обмоткою збудження та вторинною обмоткою від положення сердечника. Перетворювач являє собою трансформатор (рисунок а), що має обмотку збудження 3 і дві секції 1 і 2 вторинної обмотки, включені зустрічно, диференціально (звідси і назва).

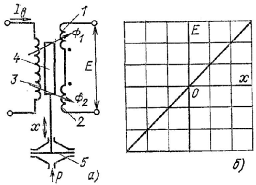


Рисунок – Схема диференціально-трансформаторного перетворювача

Створюваний струмом збудженнямагнітний потік обмотки збудження пронизує обидві секції вторинної обмотки. Частина цього потокупронизує секцію 1, індукуючи в ній ЕРС, частина потокупронизує секцію 2, індукуючи в ній ЕРС.

Таким чином, при зміні тискупрогинається мембрана 5, яка переміщує феромагнітний осердя (плунжер) 4. При переміщенні сердечника вгору збільшуєтьсяі зменшуєтьсяі навпаки.

Оскільки секції вторинної обмотки включені зустрічно, ЕРСвсієї вторинної обмотки дорівнюватиме:



У середньому положенні осердя (коли він порівну перекриває обидві секції). При зсуві сердечника від середнього положення вгору ЕРС буде збільшуватися, а при зміщенні сердечника вниз ЕРС також зростатиме (за модулем), тільки фаза її буде зворотною (рис. 32, б).

На рис. представлена ​​схема трубчасто-пружинного манометра ПЕД з диференціально-трансформаторним перетворювачем 1. Клас точності цих приладів 1, а верхні межі виміру від 0,1 до 160 МПа.

Сильфонні манометри та дифманометри

Сильфонні чутливі елементи використовуються в механічних приладах, що показують і самопишучих, наступних типів: МСП, МСС (манометри), МВСС (мановакуумметри), ВСП, ВСС (вакуумметри), ДСП, ДСС (дифманометри), НСП, НСС (напороміри), ТмСП, ТМСП тягоміри), ТНСП, ТНСС (тягонапороміри).

У цих приладах всередині сильфон знаходиться пружина, що визначає діапазон вимірювання приладу. Зчленування робочої точки сильфона з пристроєм, що показує або реєструє, виконується так само, як і у пружинних манометрів. Сильфонні манометри мають вужчий діапазон виміру, ніж пружинні.

У сильфонних механічних дифманометрів як чутливий елемент використовується сильфонний блок, схема якого представлена ​​на рис. 33 а. А на мал. 33 б дано зовнішній вигляд дифманометра.

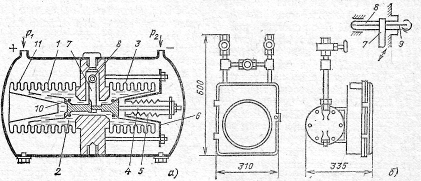


Рисунок – Сильфонний дифманометр типу ДС

Під дією різниці тисків робочий сильфон 1, що знаходиться в плюсовій камері дифманометра, стискається і кремнійорганічна рідина 2, що заповнює внутрішню порожнину сильфона 1, частково витісняється у внутрішню порожнину сильфона 3, що знаходиться в мінусової камери диф. При цьому переміщується шток 4, жорстко з'єднаний з дном сильфона 3. Працюючі на розтягнення пружини 5 одним кінцем прикріплені до нерухомої склянки 6, а іншим - до кінця штока 4. Зі штоком 4 з'єднаний кінець важеля 7, який за допомогою торсіону 8, що відокремлює внутрішню порожнину дифманометра від атмосфери, повертає вісь 9, пов'язану з пристроєм, що записує або показує. Гумові кільця 10 служать обмеження ходу штока 4 при односторонніх навантаженнях. Перші три гофри 11 являють собою термокомпенсатор,

Дифманометри типу ДС мають верхню межу вимірювання від 6,3 кПа до 0,16 МПа при статичному тиску 16 та 32 МПа, клас точності 1; 1,5.

Сильфони широко використовуються як чутливі елементи в перетворювачах тиску зі статичним врівноваженням: в приладах з компенсацією магнітних потоків, в електричних і пневматичних перетворювачах тиску з силовою компенсацією.

Мембранні манометри та дифманометри

Мембранні пружні чутливі елементи, найчастіше у вигляді мембранних коробок, використовуються в приладах для вимірювання напору та розрідження. Схема профільного напороміру типу НМП та його зовнішній вигляд представлені на рис. 34.

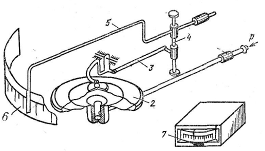


Рисунок – Схема та зовнішній вигляд мембранного напороміру НМП

Вимірюваний тиск через штуцер 1 на задній стінці приладу подається у внутрішню порожнину мембранної коробки 2. За допомогою системи важелів і тяг 3 переміщення центру мембранної коробки перетворюється в пропорційний кут повороту осі 4, на яку насаджена показує стрілка 5, що переміщається вздовж 6. Налаштування початкового положення стрілки, що показує, використовується коректор 7. Ці прилади випускаються так само, як тягомери і тягонапороміри. Діапазон виміру приладів досягає 25 кПа при класі точності 1,5; 2,5.

Мембранні чутливі елементи застосовуються в перетворювачах тиску як із прямим перетворенням, і зі статичним врівноваженням. Розглянемо дифманометр типу ДМ, що має диференційно-трансформаторний перетворювач 1 (рис. 35). У цьому дифманометрі чутливим елементом служить мембранний блок, верхня мембранна коробка 2 якого знаходиться в мінусової камери, куди надходить менше вимірюваних тисків. Нижня мембранна коробка 3 знаходиться у плюсовій камері дифманометра. Через трубку 4 внутрішні порожнини мембранних коробок 2 і 3 заповнені дистилятом або кремнійорганічної рідиною, повідомляються.

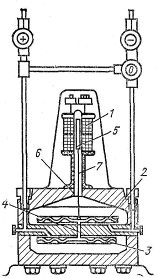


Рисунок – Схема мембранного дифманометра ДМ

Під дією різниці тисків нижня мембранна коробка 3 стискається і частина води перетікає в мембранну коробку 2, викликаючи її деформацію і переміщення сердечника 5. Серце знаходиться всередині розділової трубки 6, виконаної, як і стрижень 7, з немагнітного матеріалу. Мембрани кожної коробок мають однаковий профіль, завдяки чому при односторонніх перевантаженнях статичним тиском одна з коробок складається, і чутливий елемент зберігає свою пружну характеристику. Нижня мембранна коробка має малу жорсткість, і за її допомогою здійснюється компенсація температурних змін об'єму рідини, що знаходиться всередині мембранного блоку.

Дифманометри типу ДМ мають відповідно до стандартного ряду верхню межу вимірювання від 1,6 кПа до 0,63 МПа при статичному тиску 6,3; 25 та 63 МПа, клас точності дифманометрів 1; 1,5.

Вантажопоршневі манометри

У вантажопршневих манометрах тиск, що вимірюється, врівноважується силою тяжкості неущільненого поршня з вантажами. Ці манометри широко застосовуються як зразкові засоби відтворення одиниці тиску в діапазоні від 10-1 до 103 Па, а також для точних вимірювань тиску в лабораторній практиці.

Схема поршневого манометра, має діапазон вимірювання 6 МПа (МП-60), представлена ​​на рис. 36. Поршень 1 з тарілкою 2 для вантажів 3 переміщається всередині циліндра 4. Поршнева пара підганяється таким чином, щоб проміжок між поршнем 1 і циліндром 4 не перевищував 0,01 мм. При такому зазорі навіть при високих тисках швидкість опускання пошня через витік робочої рідини не перевищує 1 мм/хв.

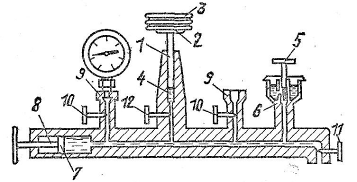


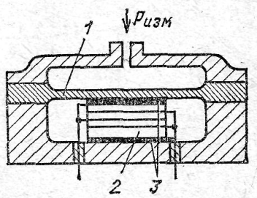
Рисунок – Схема вантажопоршневого манометра МП-60

Для забезпечення рівномірного зазору між циліндром і поршнем останній момент вимірювання обертають за годинниковою стрілкою. У манометрах з діапазоном вимірювання 0,6 МПа та вище обертання поршня здійснюється вручну. А в манометрах з діапазоном вимірювання 0,06 та 0,25 МПа обертання поршня проводиться електричним двигуном.

Внутрішня порожнина поршневого манометра ретельно заповнюється робочою рідиною (гасом, касторовою або трансформаторною олією). Заливання рідини проводиться при відкритому вентилі 5 через отвір у дні резервуару 6; поршнем 7 гвинтового преса рідина 8 засмоктується всередину манометра. За допомогою преса 8 у процесі вимірювання забезпечується підйом поршня 1 з вантажами до висоти, заданої покажчиком. До стояків 9 із запірними вентилями 10 підключаються манометри, що повіряються. Вентиль 11 служить для зливу рідини з манометра поршневого. Для отримання заданого тиску на тарілку з урахуванням її маси з поршнем накладаються вантажі, що створюють певну силу тяжкості.

Електричні манометри та вакуумметри

П'єзоелектричні манометри



Принцип дії манометрів цього типу заснований на п'єзоелектричному ефекті, сутність якого полягає у виникненні електричних зарядів на поверхні кварцової стиснутої пластини, яка вирізається перпендикулярно електричній осі кристалів кварцу. Схема п'єзоелектричного манометра представлена ​​малюнку.

Вимірюваний тиск за допомогою мембрани 1 перетворюється на зусилля, що стискає кварцові пластини 2. Електричний заряд, що виникає на металізованих площинах 3 під дією зусилляз боку мембрани 1 визначається виразом



де- Тиск, що діє на металеву мембрану 1 з ефективною площею;- П'єзоелектрична постійна, Кл/Н.

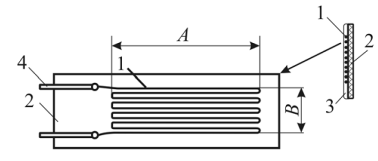
Кварц на відміну від інших сегнетоелектриків, що мають п'єзоефект, є механічно міцним і має високу жорсткість, що виключає вплив пружної характеристики мембрани 1 на коефіцієнт передачі п'єзоелектричного перетворювача.

П'єзоелектрична постійна кварцу відрізняється стабільністю та слабкою залежністю від температури, що дозволяє використовувати п'єзоперетворювачі для вимірювання тиску високотемпературних середовищ до 500 °С. При температурі вище 500 вона швидко зменшується і за нормальної температури 570°З стає рівною нулю, тобто. кварц втрачає п'єзоелектричні властивості. З метою підвищення чутливості кілька кварцових пластин включаються паралельно. Верхня межа вимірювання тиску цих приладів досягає 100 МПа (1000 кгс/см2).

**Тензорезистивні перетворювачі**

В основі роботи тензоперетворювачів (тензорезисторів) лежить явище тензоефекту. що полягає у зміні активного опору провідникових та напівпровідникових матеріалів за їх механічної деформації.

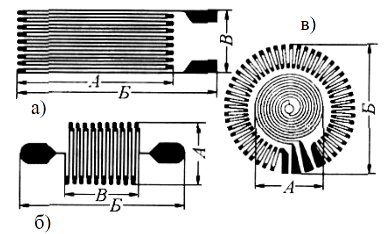
За способом закріплення на чутливих елементах датчиків вони діляться на наклеювані і ненаклеювані. за конструктивним виконанням - на дротяні, фольгові, напівпровідникові.

***Дротові тензоперетворювачі*** конструктивно являють собою відрізок тонкого дроту (діаметром 0.02...0.05 мм), який зигзагоподібно наклеєний на тонку паперову або плівкову основу (підкладку) 2. Зверху дріт також закритий тонким папером або лаковою плівкою 3. або фетром. Для включення у вимірювальну схему до кінців дроту припаюються мідні висновки 4. Вимірювальною базою перетворювача є довжина петель решітки А. величина якої лежить у межах 1,5...100 мм. Ширина решітки дорівнює 5...10 мм. Номінальний опір 10...1000 Ом. номінальний струм – 30 мА.

1 - дріт; 2 – підкладка; 3 – захисна плівка;

4 – мідні виводи

***Фольгові тензоперетворювачі*** є подальший розвиток дротяних. Вони замість решіток із дроту застосовують решітку з фольги товщиною 0.004...0.012 мм. Малюнок ґрат вибирають таким, щоб можна було знизити деформації, яка у фольгових тензоперетворювачах практично зводиться до нуля. На рис. а представлена ​​типова форма фольгового тензоперетворювача, рисунку б – короткобазовий перетворювач, рисунку в – для наклейки на круглу мембрану.



Фольгові тензоперетворювачі можуть пропускати більший струм, ніж дротяні, завдяки більшій площі поперечного перерізу провідника при тих же розмірах решітки та більшій тепловіддачі, що покращує теплообмін, внаслідок більшої площі прилягання до деформованої деталі (чутливого елемента датчика). Завдяки цьому можна збільшити значення номінального струму до 0,2 А. Опір фольгових тензоперетворювачів дорівнює 30...250 Ом.

Як матеріал решіток дротяних і фольгових тензоперетворювачів застосовуються як чисті метали (срібло, платина, мідь), так і сплави (константан, ніхром, манганін та ін.).

Основними перевагами дротяних та фольгових тензоперетворювачів є: практично повна відсутність їх впливу на деформацію деталі; лінійність показників; низька вартість.

Основним недоліком є ​​відносно низький температурний діапазон працездатності від -40 до +70°С.

***Напівпровідникові тензоперетворювачі*** відрізняються від дротяних і фольгових великою (до 50%) зміною опору при деформації та вищою межею чутливості до температури (в 10...20 разів).

Їх переваги полягають у вищому (у 60 разів) коефіцієнті тензочутливості, малих розмірах (довжина бази А = 3...10 мм), більших значеннях вихідного сигналу.

Найбільш сильно тензоефект виражений у таких напівпровідникових матеріалах, як германій, кремній, антимонід індія, фосфід індія, арсенід галію, антимонід галію. Для тензоперетворювачів частіше застосовують германій та кремній у вигляді пластин товщиною 0,03...0,2 мм, шириною 0,5...1 мм та довжиною (базою) 3...15 мм.

Існує кілька способів виготовлення напівпровідникових тензоперетворювачів: вирізування з напівпровідникового монокристалу; вирощування монокристалу за допомогою конденсації парів; нанесення на деякі види підкладок тонких плівок із властивостями монокристалів; отримання дифузійним способом.

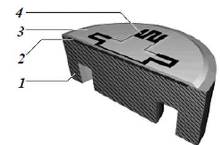
Особливо широке застосування у виготовленні загальнопромислових тензорезисторних ІПД через свої високі механічні, ізолюючі та теплостійкі якості отримала технологія КНС — «кремній на сапфірі». Спрощена конструкція чутливого елемента тензоперетворювача, що базується на даній технології, представлена ​​на рис. 3.16. Чутливий елемент складається з сапфірової підкладки 3, яку дифузійним способом нанесені тензорезистори 4 (найчастіше у вигляді врівноваженого вимірювального мосту Уітстона). Підкладка припаяна твердим припоєм 2 до мембрани титану 1.

1 - титанова мембрана:

2 - срібловмісний припій:

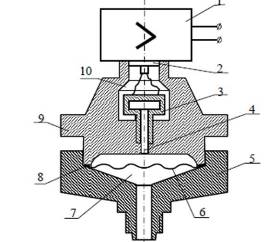
3 - сапфірова підкладка:

4 - тензорезистори

 Чутливий елемент включається в загальний вимірювальний ланцюгного тиску, структурна схема якого представлена ​​на рисунку

Деформація вимірювальної мембрани під впливом зовнішнього тиску Р призводить до локальних деформацій тензорезисторного мосту, що складається з постійних тензорезисторів R2, R3, R4 та змінного R1. В результаті відбувається розбаланс моста, який перетворюється електронним блоком та уніфікований вихідний електричний сигнал.

До переваг даного типу чутливих елементів можна віднести досить високий температурний діапазон працездатності (від -160 до +1500 ° С), хорошу захищеність чутливого елемента від впливу будь-якого агресивного середовища, серійне виробництво, низьку вартість.

**Конструкція тензорезистивного перетворювача тиску**

1 – електронний блок;

2-гермовивід:

3 - тензоперетворювач:

4 – канал;

5 - фланець:

6 - вимірювальна мембрана:

7-вимірювальна камера;

8 – прокладка:

9 - основа;

10 – внутрішня порожнина.

Переважна більшість датчиків тиску нашій країні випускаються з урахуванням тензорезисторних чутливих елементів. Конструкція однієї з моделей такого датчика представлена ​​на рисунку

Мембранний тензоперетворювач 3 розміщений всередині основи 9. Внутрішній канал 4 тензоперетворювача заповнений кремнійорганічної рідиною і відокремлений від вимірюваного середовища металевою гофрованою мембраною 6, привареної по зовнішньому контуру до основи 9. Порожнина 10 повідомлена з навколишньою атмосферою. Вимірюваний тиск подається в камеру 7 фланця 5, який ущільнений прокладкою 8. Тиск, що вимірюється впливає на мембрану 6 і через рідину впливає на мембрану тензоперетворювача, викликаючи її прогин і зміна опору тензорезисторів. Електричний сигнал від тензоперетворювача передається від вимірювального блоку в електронний блок 1 по порід через гермовивід 2.

Основною перевагою перетворювачів Сапфір-22 є використання невеликих деформацій чутливих елементів, що підвищує їх надійність і стабільність характеристик, а також забезпечує вібростійкість перетворювачів. При ретельній температурній компенсації гранична похибка приладів може бути знижена до 0,1%.

Перетворювачі «Сапфір» призначені для безперервного перетворення значення вимірюваного параметра тиску абсолютного (ТА), надлишкового (ДІ), розрідження (ДВ), тиску-розрідження (ДІВ), гідростатичного (ДГ) та різниці тисків (ДД) нейтральних та агресивних середовищ у уніфікований струм сигнал.

**Ємнісні перетворювачі тиску**

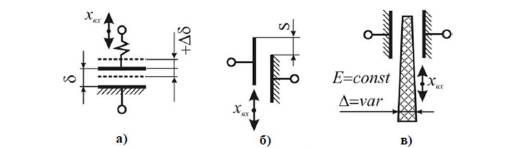
Принцип дії ємнісних перетворювачів заснований на зміні ємності змінного конденсатора під впливом неелектричної величини, що перетворюється (наприклад, тиску). Ємність конденсатора залежить від таких параметрів як відстань між пластинами (обкладками), площа пластин S, діелектрична постійна між пластинами Е.

Рисунок – Ємнісні перетворювачі тиску

а - із величиною зазору, що змінюється:

6 - з площею, що змінюється:

в - з діелектричною проникністю, що змінюється

Найбільше застосування у системах автоматики отримали плоскопаралельні та циліндричні перетворювачі. На малюнку схематично зображено пристрій плоскопаралельних ємнісних перетворювачів, заснованих на трьох принципах: зміні величини зазору між пластинами (обкладками) конденсатора, причому однією з пластин може бути поверхня об'єкта (деталі), що не входить до складу перетворювача (рисунок а); зміні площі S перекриття пластин у результаті їхнього відносного зміщення (рисунок б); зміні діелектричної проникності матеріалу Е (рисунок в).

Характеристика управління ємнісного плоскопаралельного перетворювача з повітряним зазором, що змінюється, визначається виразом:

де С - ємність конденсатора, Ф; S – відстань між обкладками, м; Е – абсолютна діелектрична проникність середовища між обкладками, Ф/м; S – площа обкладок, м2.

У першому випадку ємність змінюється за гіперболічним законом, у другому і третьому - лінійно.

Основними перевагами ємнісних перетворювачів є: - Висока чутливість (до 500 В/мм); простота конструкції; малі розміри та маса; мала інерційність; висока точність та стабільність характеристик.

До недоліків слід віднести: великий внутрішній опір; вплив на роботу перетворювача паразитних ємностей (потрібне екранування); необхідність посилення сигналу, що знімається; потреба джерела напруги високої частоти; сильний вплив зміни температури, вологості та забрудненості навколишнього середовища; для досягнення максимальної чутливості монтаж слід проводити короткими

Вимірювання витрат рідин, газів і парів

При вимірах, що з урахуванням кількості речовини, найважливішими вихідними поняттями є витрата і кількість речовини. Витрата є кількість речовини, що протікає через переріз трубопроводу за одиницю часу. Кількість речовини можна вимірювати або одиницях маси (кг, т), або одиницях обсягу (м3, л).

Відповідно до обраних одиниць може проводитися вимірювання або масової витрати(кг/с, кг/год, т/год, тощо), або об'ємної витрати(м3/с, л/с, м3/год тощо). У системі СІ основними одиницями витрати є кілограм маси за секунду (кг/с) і кубічний метр за секунду (м3/с).

Одиниці маси дають повніші відомості про кількість чи витраті речовини, ніж одиниці обсягу, т.к. обсяг речовини, особливо газів, залежить від тиску та температури.

Відповідно до ГОСТ-15528 вимірювальний прилад, що служить для вимірювання витрати речовини, називається витратоміром, а прилад для вимірювання кількості речовини – лічильником кількості (лічильником). У кожному даному випадку до цих термінів слід додавати найменування контрольованого середовища.

За методами вимірювання витратоміри можна поділити на такі основні різновиди:

Змінного перепаду тиску, – що вимірюють витрати по перепаду тиску на пристроях, що звужують.

Пневмометричні (напірні), – що вимірюють витрати по швидкості потоку в одній або декількох точках поперечного перерізу трубопровідника.

Постійного перепаду тиску (обтікання), – що вимірюють витрати по перерізу потоку у рухомого опору, обтічного вимірюваним середовищем.

Електромагнітні або індукційні, – що вимірюють витрати по ЕРС індукційної електропровідної рідиною, що перетинає магнітне поле.

Ультразвукові, – що вимірюють витрату зі зміщення звукових коливань середовищем, що рухається.

Тахометричні, – що вимірюють витрату за швидкістю обертання ротора, крильчатки або диска, розташованих у потоці вимірюваного середовища.

Не всі різновиди витратомірів придатні для кожного випадку вимірювання витрати. Найбільш універсальні – витратоміри змінного перепаду тиску. Вони застосовуються для вимірювання середніх та великих витрат – від 1 м3/год та більше у трубопроводах від 50 мм (в окремих випадках від 12 мм) та більше. Інші різновиди витратомірів мають значно більші обмеження.

Лічильники кількості застосовують лише для вимірювання витрати рідких чи газових середовищ. За методами виміру існують два основні різновиди:

Швидкісні (тахометричні), – аналогічні тахометричним витратомірам, але не мають пристрої для відліку миттєвої витрати;

Об'ємні, у яких вимірюване середовище вимірюється окремим рівними за обсягом, дозами.

Метод вимірювання витрати по перепаду тиску в звужувальному пристрої заснований на залежності перепаду тиску в нерухомому звужувальному пристрої від витрати вимірюваного середовища. Цей метод є у теплотехнічній практиці найпоширенішим. Звужуючий пристрій слід розглядати як первинний перетворювач витрати. Перепад тиску, що створюється в звужувальному пристрої, вимірюється дифманометром, шкала якого градуюється в одиницях витрати.

Розглянутий принцип вимірювання полягає в тому, що при протіканні потоку через отвір звужувального пристрою підвищується швидкість потоку в порівнянні зі швидкістю до звуження. Збільшення швидкості а, отже, і кінетичної енергії викликає зменшення потенційної енергії і статичного тиску. Витрата може бути визначена по перепаду тиску, виміряному дифманометром відповідно до градуювальної характеристики.

Розрізняють витратоміри зі стандартними та спеціальними пристроями, що звужують. Принциповою перевагою їх у порівнянні з усіма іншими витратомірами є можливість визначити градуювальну характеристику розрахунковим шляхом.

Як стандартні звужувальні пристрої для вимірювання витрати рідин, газів і пари використовуються діафрагми, сопла і значно рідше сопла Вентурі (рис. 44). На малюнку символамиівідзначено точки відбору тисків на дифманомтр.

Діафрагма є (рис. 44, а) тонкий диск з круглим отвором, вісь якого розташовується по осі труби. Стандартні діафрагми встановлюються на трубопроводах діаметром щонайменше 50 мм.

Сопло (рис. 44 б) має спрофільовану вхідну частину, яка потім переходить в циліндричний ділянку діаметром. При вимірюванні витрати газу стандартні сопла встановлюються на трубопроводах діаметром не менше 50 мм та при вимірюванні витрати рідин на трубопроводах діаметром не менше 30 мм.

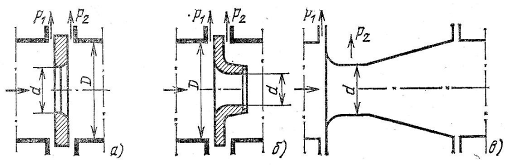


Рисунок – Стандартні звужувальні пристрої: а – діафрагма, б – сопло, в – сопло Вентурі.

Сопло Вентурі (рис. 44, в) має вхідну частину з профілем сопла, що переходить у циліндричну частину, вихідний конус (може бути довгим або укороченим). Мінімальний діаметр трубопроводу для стандартних сопл Вентурі становить 65 мм.

Стандартні витратоміри змінного перепаду тиску мають обмеження: вони не застосовні для середовищ, що протікають трубопроводами невеликих діаметрів і середовищ з великою в'язкістю.

Рівняння для масовогота об'ємноговитрати виходять їх рівняння Бернуллі та мають вигляд:



де - Коефіцієнт витрати;

– поправочний множник на розширення вимірюваного середовища (для стисканого середовища);

– площа отвору пристрою, що звужує.

Відношення площі отвору пристрою, що звужуєдо площі трубопроводуназивається відносною площею (модулем) звужувального пристрою:



де - Діаметр звужуючого пристрою;

- Діаметр трубопроводу.

Конкретний тип звужувального пристрою вибирається при розрахунку в залежності від умов застосування, необхідної точності залишкової втрати тиску. Однак у будь-якому разі точність вимірювання витрати газів і пари при використанні сопла вище, ніж при використанні діафрагми. Крім того, зміна або забруднення вхідного профілю звужувального пристрою в процесі експлуатації мало змінює коефіцієнт витрати сопла і значно більшою мірою змінює коефіцієнт витрати діафрагми.

На практиці для розрахунку градуювальної характеристики звужувального пристрою рівняння витрати подаються в іншому вигляді:



У процесі розрахунку набувають значення коефіцієнтів, і підставляючи отримані значення рівняння витрати отримують градуювальну характеристикузвужуючого пристрою, за допомогою якої визначають витрату по вимірюваному перепаду тиску.

Існує й інша методика розрахунку звужуючого пристрою, метою якого є визначення діаметра звужувального пристрою. Цей розрахунок проводиться у разі керівному нормативному документу РД-50-213-80. У цьому випадку градуювальна характеристика пристрою, що звужує, задається вибором верхньої межі вимірювання за витратоюта відповідним йому перепадом тискуна звужувальному пристрої.

Згадані методики розрахунку градуювальних характеристик застосовні тільки до стандартних пристроїв, що звужують. Нестандартні пристрої, що звужують, повинні градуюватися експериментально.

Між витратою і перепадом тиску в пристрої, що звужує, існує певна квадратична залежність, що дозволяє дифманометри градуювати в одиницях витрати. Для отримання рівномірної шкали витратоміра в кінематичну або електронну схему дифманометрів включають різні типи пристроїв, що витягують квадратний корінь. Наявність таких пристроїв є одним із недоліків методу вимірювання витрати на перепад тиску.

Іншим серйозним недоліком методу є звужений діапазон вимірювання витратоміра, що зазвичай охоплює інтервал 30 - 100%. Це пов'язано з тим, що на початку шкали різко збільшується відносна похибка вимірювання перепаду тиску. При зменшенні витрати віддо, перепад тиску в пристрої звуження зменшиться в 16 разів, а при витраті– у 100 разів. При цьому відносна похибка вимірювання перепаду збільшиться відповідно у 16 ​​та 100 разів. Тому точність витратоміра зазвичай гарантується лише в межах шкали 30 – 100%.

На результати вимірювання витрати також впливає зміна густини вимірюваного середовища (особливо газів). Наприклад, при зміні температури газу з 20 до 5 °С може викликати похибку вимірювання витрати на 2,6%. При значних і частих коливаннях густини застосовуються витратоміри з автоматичним введенням поправки на густину.

При установці звужувальних пристроїв необхідно дотримуватися ряду умов, що сильно впливають на похибки вимірювання. Звужуючий пристрій повинен розташовуватися в трубопроводі перпендикулярно до осі трубопроводу. Вісь звужувального пристрою повинна співпадати з віссю трубопроводу. Ділянка трубопроводу довжиною 2D до і після звужувального пристрою повинна бути гладкою, циліндричною, на ньому не повинно бути жодних уступів, а також помітних оку наростів і нерівностей від заклепок та зварювальних швів. А також рух потоку до і після звужуючого пристрою має бути стаціонарним; у внутрішній порожнині прямих ділянок трубопроводу до та після звужуючого пристрою не повинні накопичуватися опади у вигляді пилу, піску, металевих предметів та інших забруднень; на поверхні звужуючого пристрою не повинні утворюватися відкладення, змінюють його геометрію чи конструктивні розміри. Крім того, для стандартних звужуючих пристроїв потік повинен бути турбулентним і при проходженні через звуження середовище не повинно змінювати свого фазового стану (рідина не повинна випаровуватися хоча б частково, пара - конденсуватися і т.п.).

Комплект для вимірювання витрати складається з пристрою, що звужує, сполучних (імпульсних) ліній і диференціального манометра-витратоміру.

Відбір тискуізазвичай здійснюється через окремі циліндричні отвори (рис. 45 а) або через дві кільцеві камери, кожна з яких з'єднується з внутрішньою порожниною трубопроводу кільцевою щілиною або групою рівномірно розподілених по колу отворів (рис. 45, б).

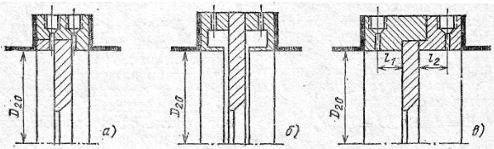


Рисунок – Способи відбору тисків: а – через окремі отвори; б – через кільцеві камери; в – фланцевий.

Конструкція добірних пристроїв для діафрагм та сопл однакова. Звужувальні пристрої з кільцевими камерами зручніші в експлуатації, особливо за наявності місцевих збурень потоку, т.к. кільцеві камери забезпечують вирівнювання тиску по колу труби, що дозволяє точніше вимірювати перепад тиску при скорочених прямих ділянках трубопроводу. Подані на рис. 45 а, б схеми відбору тиску називаються кутовим способом відбору.

Існує інший спосіб відбору для діафрагм – фланцевий, коли перепад тиску вимірюється через окремі циліндричні отвори, розташовані на певній відстані (25,4 мм РД-50-213-80) від площин діафрагм (рис. 45, в). Ця схема відбору поширена на заході.

Дифманометр підключається до звужувального пристрою двома імпульсними трубками довжиною від 15 м (рекомендована довжина) до 50 м (довжина, що допускається).

Основними перевагами звужуючих пристроїв є:

Звужувальні пристрої – прості, дешеві та надійні засоби вимірювання витрати;

є універсальними, тобто. можуть застосовуватися для вимірювання витрати практично будь-яких однофазних середовищ у широкому діапазоні тисків, температур, витрат та діаметрів трубопроводів;

Градуювальна характеристика стандартних пристроїв звуження може бути визначена певним шляхом, відпадає необхідність у зразкових витратомірних установках;

Можливість використання для різних умов вимірювання однотипних пристроїв дифманометрів і вторинних приладів; індивідуальним для кожного витратоміра є тільки пристрій, що звужує.

Найбільш важливими недоліками витратомірів з пристроями, що звужують, є:

Нелінійна залежність між витратою та перепадом, що не дозволяє вимірювати витрати меншечерез високу похибку виміру.

Необхідність індивідуального градуювання звужувальних пристроїв при вимірюванні витрат при малих числахабо у трубах малого діаметра.

Витратоміри з пристроями, що звужують, мають обмежену точність, причому похибка вимірювання коливається в широких межах (1,5 - 3%) в залежності від стану звужуючого пристрою, діаметра трубопроводу, сталості тиску і температури вимірюваного середовища.

Обмежена швидкодія (інерційність) через наявність довгих імпульсних трубок і у зв'язку з цим труднощі при вимірюванні витрат, що швидко змінюються.

Лекція 8. Застосування пристроїв, що звужують, для вимірювання витрати при малих числах Рейнольдса, забруднених та інших середовищах. Вимірювання швидкості та витрати середовищ напірними пристроями. Витратоміри обтікання, основи теорії область застосування.

Насправді часто виникає необхідність виміру витрати при малих числах Рейнольдса, наприклад, при вимірі витрати в'язких речовин, газів з малою щільністю, при вимірі в трубопроводах малого діаметра та ін.

Існує велика кількість різних пристроїв, що звужують, для малих і середніх чисел Рейнольдса. Найбільш простим пристроєм, що звужує, є діафрагма з вхідним конусом. Характеристика цього перетворювача залежить від відношення, кута вхідного конусата відносини– діаметр отвору до ширини конуса діафрагми. Область застосування даної діафрагми віддо; діаметр трубопроводу – від 12,5 мм та більше. Ця діафрагма дає хорошу сталість коефіцієнта витрати при.

Іншим різновидом діафрагми з конічним входом є діафрагма з подвійним конусом або подвійним скосом. У таких діафрагм залежність коефіцієнта витрати відсильно впливає вхідний кутта ширина вхідної частини. Перспективною вважається діафрагма з, для якої рекомендуєтьсяідля діапазону зміни чисел.

Також застосовуються звужувальні пристрої типу сопло з профілем «чверть кола», сопло з профілем «півкола», а для середніх значень чиселможе бути використана здвоєна діафрагма, що складається з двох діафрагм, розташованих на певній відстані один від одного. Недоліком здвоєних діафрагм є можливість засмічення внутрішнього простору між діафрагмами.

Спільним для всіх розглянутих звужуючих пристроїв є необхідність їхнього індивідуального градуювання разом з прилеглими ділянками трубопроводу в межах тих чисел, у яких передбачається їх застосування.

При вимірюванні витрати забруднених рідин і особливо газів стандартної діафрагми на трубопроводі можуть утворюватися відкладення. Тому як звужувальні пристрої для таких потоків використовуються сегментні діафрагми, отвори яких розташовуються в нижній частині перерізу трубопроводу. У цьому випадку домішки вільно проходять через отвір та не утворюють відкладень. Притуплення вхідної кромки сегментних діафрагм менше впливає коефіцієнт витрати, ніж стандартних.

Для вимірювання витрати рідин, з яких можуть виділятися гази, також можна використовувати сегментні діафрагми, однак отвори їх закінчення повинні розташовуватися у верхній частині перерізу трубопроводу.

**Пневмометричний вимір витрати**

Такий вимір витрати ґрунтується на вимірі місцевих швидкостей потоку в окремих точках перерізу трубопроводу. Знаючи швидкості в окремих точках, можна визначити середню швидкість, а нею величину витрати. Місцеві швидкості визначаються динамічному тиску потоку вимірюваного середовища.

Розглянемо потік вимірюваного середовища, що протікає прямою ділянкою трубопроводу діаметром. В кінці прямої ділянки завдовжкиможна вважати, що потік став стаціонарним, і в ньому встановився постійний розподіл швидкостей перерізу трубопроводу. Рідинні манометри, встановлені різними способами в одній і тій же точці поперечного перерізу трубопроводу (рис. 46), покажуть різні тиски: манометр 1 – статичний тиск, манометр 2 – повний тиск, а манометр 3 – динамічний тиск.

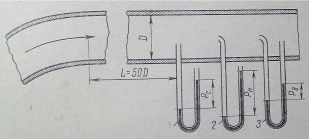


Рисунок – Вимірювання витрати середовища за допомогою рідинних манометрів

Динамічний тиск, кг/(с2м) або н/м2:



де - Швидкість потоку, м / с;

- Щільність потоку, кг/м3.

Для потоку, що встановився, співвідношення між швидкістю в центрі трубопроводута середньою швидкістюзалежить від числа Рейнольдса. З дослідів Стентона та Нікурадзе відомо:

 0÷2300 1·104 1·105 1·106 1·107

 2,0 1,275 1,195 1,155 1,13

Знаючи, знаходять об'ємну витрату (м3/с)



або масова витрата (кг/с)



де- Діаметр трубопроводу, м.м.

Вимірювання витрати по динамічному тиску вперше було здійснено, французьким ученим Піто в 1732 р. Прості пневмометричні трубки Піто, що вимірюють динамічний тиск (рис. 46), мають істотний недолік: їх положення має суворо відповідати напрямку потоку - отвір однієї трубки повинен розташовуватися строго потоку, а інший суворо паралельно. Навіть невеликий перекіс може зробити істотні додаткові похибки.

У сучасній практиці застосовують Г-подібні пневмометричні комбіновані трубки. Одна з найпоширеніших конструкцій комбінованих пневмометричних трубок наведена на рис. 47.



Рисунок – Комбінована пневмометрична трубка

Трубка встановлюється вхідним отвором назустріч потоку. Статичний тиск вимірюється поряд невеликих отворів на зовнішній поверхні трубки. Допустимо розбіжність осі трубки з напрямком потоку на кілька градусів (до 15 °). Зовнішній діаметр трубкизазвичай дорівнює 5 – 12 мм. Пневмометрична трубка не помітно спотворюватиме потік, якщо площа трубки не перевищує 0,25 % площі трубопроводу.

Похибки вимірювання витрати за допомогою пневмометричних трубок визначаються в основному похибками вимірювання динамічного тиску манометрами та похибками перерахунку місцевих швидкостей на середню.

У теплотехнічній практиці, навіть у дослідницьких роботах, витрати з полю швидкостей визначають дуже рідко.

**Витратоміри постійного перепаду тиску (обтікання)**

Ротаметри є найпоширенішим різновидом витратомірів постійного перепаду тиску. Ротаметри набули широкого поширення в хімічній промисловості, в лабораторних та напівпромислових установках для вимірювання витрати рідин та газів. Ці витратоміри можуть вимірювати дуже малі витрати різних середовищ, зокрема агресивних. Верхні межі виміру по воді від 0,04 до 16 м3/год, а повітрям – від 0,063 до 40 м3/ч.

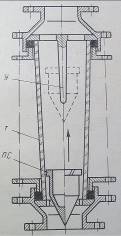


Рисунок – Схема конструкції скляного ротаметра

Принципово конструкція ротаметра дуже проста (рис. 48). Потік вимірюваного середовища протікає знизу вгору по конічній трубці Т, що розширюється догори, всередині якої розташований рухливий опір ПС (поплавець) або ротор (звідси ротаметр). Залежно від витрати рухливий опір розташовується в трубці нижче або вище, створюючи різні за площею кільцеві прохідні перерізи. Підйом рухомого опору обмежується стрижневим упором.

Принцип дії ротаметра заснований на врівноважуванні при будь-якій витраті сили тяжіння рухомого опору силами, що діють на нього вимірювання середовища. При цьому вертикальне положення поплавця однозначно пов'язане з витратою.

У ротаметрах найпростіших конструкцій зі скляними конічними трубками висоту підйому рухомого опорувизначають візуально за положенням верхньої кромки рухомого опору і шкалою нанесеної на зовнішню поверхню трубки.

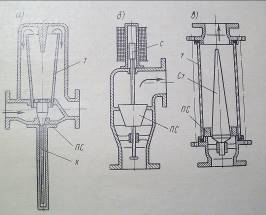


Рисунок – Конструкції ротаметрів: а – з металевою трубкою (тип РМ); б – з електричною телеметричною системою (тип РЕ); в – для непрозорих рідин (РМ).

У ротаметрах (типу РМ) з металевими конічними трубками Т, що показують витрату на місці вимірювання, рухливий опір має хвостовик Х (рис. 49 а), що переміщається в камері з оглядовим склом, на рамці якого нанесена шкала.

У складніших конструкціях (типу РЕ і РП) рухливий опір пов'язані з сердечником З електричної телеметричної системою (рис. 49, б) чи з іншим пристроєм електричної чи пневматичної системи передачі.

При вимірах скляними ротаметрами непрозорих рідин застосовують циліндричні скляні трубки Т і циліндричні рухомі опори з отвором посередині, крізь який проходить нерухомий стрижень Ст змінного перерізу (рис. 49, в).

Щоб виключити прилипання рухомого опору до стінок трубки, на верхній циліндричній частині його роблять косі прорізи (мал. 48), завдяки яким потік вимірюваного середовища призводить рухливий опір безперервне обертання, центруючи його відносно трубки. Тому рухливий опір і називають нерідко ротором. У складніших конструкціях ротаметрів рухливі опори переміщуються в напрямних пристроях (рис. 49, б).

Градуювання ротаметра проводиться у воді чи повітрі. Тому їх застосування на інших середовищах вимагає переградуювання. Шкала ротаметрів практично рівномірна.

Ротаметри обов'язково повинні встановлюватися вертикально, а потік має бути спрямований знизу нагору.

Зазвичай у ротаметрах використовуються скляні конічні трубки, на зовнішній поверхні яких нанесена шкала. Вказівником служить верхня горизонтальна поверхня поплавця. Такі ротаметри застосовуються для вимірювання витрати газів або прозорих рідин, що перебувають під тиском не більше ніж 0,6 МПа (6 кгс/см2).

Для вимірювання витрати середовищ під надлишковим тиском до 6,4 МПа (64 кгс/см2) використовуються ротаметри з металевою конічною трубкою. Зазвичай такі ротаметри забезпечуються диференційно-трансформаторними або пневматичними перетворювачами для дистанційної передачі показань.

Переваги ротаметрів. Ротаметри – досить надійні та невибагливі в експлуатації засоби вимірювання. Вони мають практично лінійну шкалу, прості, дешеві та досить точні (похибка не перевищує 1 – 1,5%).

Недоліки ротаметрів. Ротаметри вимагають обов'язкової вертикальної установки під час направлення потоку знизу вгору. Трудність дистанційної передачі показань та запису; непридатність для вимірювання витрати середовищ з високим тиском та температурою.

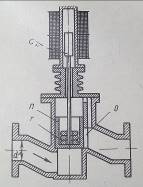


Рисунок – Схема витратоміру поршневого типу

Крім ротаметрів відомий і ряд інших витратомірів постійного перепаду тиску, що набули значно меншого поширення. Серед таких приладів найпоширенішими є витратоміри поршневого типу. Поршень П витратоміра (рис. 50) під тиском рідини, що надходить, піднімається вгору і відкриває вихідне вікно О. вага поршня з вантажами Г і всієї рухомої частини врівноважується перепадом тиску до і після вихідного вікна. Таким чином, площа вихідного вікна прямо пропорційна величині витрати і відповідно пропорційна величині підйому поршня. Останній жорстко пов'язаний із сердечником З телеметричної системи передачі показань.

Витратоміри випускають на один діаметр умовного проходу. Однак за рахунок зміни кількості вантажів можна змінювати верхню межу виміру витрати від 0,5 до 4,0 м3/год (з розрахунку на воду).

В основному витратомір призначений для вимірювання витрати в'язких рідин. Допустима похибка з двома вторинними приладами не перевищує ±2,5 %.

Тахометричні, електромагнітні, ультразвукові витратоміри. Вимірювання кількості теплоти

Тахометричні витратоміри та лічильники кількості використовують залежність частоти обертання тіла, встановленого у трубопроводі, від швидкості руху середовища або об'єму. Тобто. принцип їх роботи заснований на вимірюванні кількості обертів крильчатки, кутова швидкість якої пропорційна швидкості рідини, що протікає через прилад. Пропорційність між числом обертів крильчатки та швидкістю рідини істотно залежить від в'язкості рідини.

Це найбільш точний метод вимірювання витрати, який набув дуже широкого поширення за кордоном. Похибка таких витратомірів може бути не більше 0,25% для рідин та 0,5% для газів. Проте вони мають обмежений термін служби. Виняток становлять кулькові витратоміри з гідродинамічним підвісом, але конструкція їх ротора не забезпечує поки що високої точності вимірювання.

Тахометричні перетворювачі витрати можуть використовуватися як у лічильниках кількості, так і у витратомірах. У лічильниках перетворювач витрати пов'язані з рахунковим механізмом. Тахометричні витратоміри містять електричні тахометричні перетворювачі частоти обертання чутливого елемента в електричний сигнал, який потім вимірювається показуючим приладом. Електричні перетворювачі швидкості надають незначну гальмівну дію на рухомий елемент (порівняно з механічною передачею), внаслідок чого їхня точність вища, ніж лічильників з механічним редуктором.

Тахометричні прилади вимірюють об'ємні витрати. При необхідності вимірювання масових витрат вони повинні забезпечуватися щільномірами та обчислювальним пристроєм.

Розрізняють шестерні, лопатеві, камерні, ротаційні та інші об'ємні лічильники кількості. Швидкісні лічильники кількості та витратоміри (крильчасті, турбінні) застосовуються, як правило, для вимірювання витрати води або газу. У кулькових тахометричних витратомірах витрата визначається частотою обертання кулі спеціально закрученим потоком рідини. Відмінною особливістю кулькових витратомірів є тривалий термін служби. У кульковому витратомірі з гідродинамічним підвісом (тип ШРГП) куля вільно врівноважується в певному перерізі витратоміра по осі потоку і обертається у підвішеному стані з пропорційною частотою потоку. Термін служби такого витратоміра – не менше 8 років та досить високий клас точності – 1, який може бути підвищений.

Об'ємні та тахометричні витратоміри та лічильники кількості набули широкого поширення в системах водопостачання, для вимірювання витрати та кількості мазуту та інших в'язких та агресивних середовищ.

Тахометричні лічильники шестерного типу поділяються на дві основні групи:

з вертикальними крильчатками (рис. 51 б), в яких потік рідини спрямований тангенціально до середнього радіусу лопаток крильчатки;

з гвинтовими крильчатками з аксіально спрямованим (паралельно осі крильчатки) потоком рідини (рис. 51 а).

Лічильники першої групи використовують для виміру щодо невеликих витрат, а другий – для великих витрат рідин.

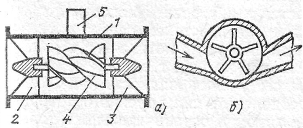


Рисунок – Тахометричні лічильники витрати: а – з аксіальною крильчаткою; б – з тангенціальною крильчаткою

Об'ємні лічильники здійснюють вимірювання витрати рідин у широкому діапазоні в'язкості з високим ступенем точності.

Існує багато конструкцій об'ємних лічильників. Найпростішими лічильниками для вимірювання витрати рідин, є лічильники поршневого типу, що є одно-або багатоступінчасті насоси, що працюють вхолосту у зворотному напрямку. Кількість рідини, що протікає визначається за лічильником ходів поршня. Найчастіше зустрічаються при вимірах невеликих кількостей нафтопродуктів.

Об'ємні (камерні) лічильники дискового типу, лічильники з кільцевим поршнем, ротаційні лічильники з прямими та вигнутими лопатями застосовуються вкрай рідко.

Найбільшого поширення набули об'ємні лічильники рідини з овальними шестернями (рис. 52). У вимірювальній камері лічильника розташовані дві овальні шестірні, що примусово пов'язані між собою зубчастим зачепленням. Під дією різниці тисків до і після вимірювальної камери через овальну форму шестерень виникає крутний момент, що змушує обертатися шестірні. При цьому з кожним оборотом переміщується певний обсяг рідини, що вимірювається.

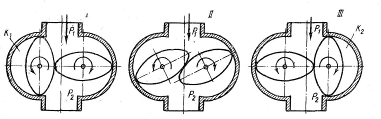


Рисунок – Схема дії лічильників із овальними шестернями

У положенні І момент, що обертає, виникає на лівій шестерні, змушуючи її обертатися проти годинникової стрілки і обертати праву шестерню. У положенні ІІ крутний момент виникає на обох шестернях. У положенні ІІІ крутний момент виникає на правій шестірні, а ліва є веденою. За один оборот вимірювальні порожнини К1 та К2 двічі наповнюються та двічі спорожняються. Передача руху від шестерень до передавального та лічильного механізмів проводиться від однієї з шестерень за допомогою магнітної муфти.

Аналогічно влаштовані і ротаційні лічильники. Тільки ротори (шестірні) тут вісімкової форми та не мають зубчастого зачеплення.

Кульковими називаються тахометричні витратоміри, рухомим елементом яких є кулька, що безперервно рухається в одній площині внутрішньої поверхні труби під впливом попередньо закрученого потоку. Швидкість руху кульки по колу труби пропорційна до об'ємної витрати рідини (рис. 53).

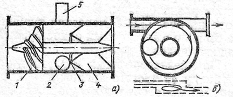


Рисунок – Схема кулькових перетворювачів витрати: а – для великих витрат; б – для малих витрат

**Ультразвукові витратоміри**

Ультразвукові коливання (частота вище 15 кГц) успішно застосовуються для вимірювання витрати рідин та газів (меншою мірою) незалежно від електричних властивостей вимірюваного середовища. Ультразвуковий метод вимірювання витрати заснований на явищі зміщення звукового коливання середовищем, що рухається. Якщо коливання поширюються у бік руху потоку, всі вони тим швидше досягають заданої (прийомної) точки, що більше швидкість потоку.

Час проходження звуковим коливанням відстані між вібраторами (випромінювачем та приймачем):



де- Швидкість звуку в даному середовищі.

Якщо коливання поширюються проти руху потоку, має місце зворотне явище – уповільнення поширення, і навіть пропорційне швидкості потоку. В цьому випадку час проходження звуковим коливанням відстані проти швидкості потоку



Ультразвукові витратоміри, засновані лише на виміріінераціональні через похибки, пов'язані з можливими коливаннями швидкості звуку (через зміни температури або щільності потоку), а також тому, що вплив швидкості потоку рідини на часімало порівняно із впливом швидкості звуку. Іншими словами, повна зміна швидкості потокувіддонезначно змінює величиниі(менше ніж на 1%). Положення різко покращується, якщо побудувати прилад, який реагував би на різницю



Різницяможна визначати такими основними методами:

фазовим по зміні різниці фазових зрушень двох ультразвукових коливань, спрямованих по потоку та проти нього;

частотно-імпульсним за зміною різниці частот повторення коротких імпульсів або пакетів ультразвукових коливань, спрямованих одночасно по потоку та проти нього;

час-імпульсним по зміні різниці часу проходження коротких імпульсів, що прямують одночасно по потоку і проти нього.

Пристрій перетворювача та вимірювальної схеми ультразвукового витратоміра, так само як і характер його роботи залежать від того, чи проводиться випромінювання ультразвукових коливань по потоку і проти нього, по одному або двох різних електроакустичних каналів. У зв'язку з цим ультразвукові витратоміри бувають однопроменеві (одноканальні) та двопроменеві (двоканальні).

До переваг ультразвукових витратомірів слід віднести:

можливість вимірювання витрати будь-яких рідин як електропровідних, так і непровідних, у тому числі агресивних та в'язких;

можливість виміру витрат, близьких до нульового;

висока швидкодія, що дозволяє вимірювати витрати, що змінюються із частотою до 5 – 10 кГц;

відсутність безпосереднього контакту з вимірюваним середовищем приймальних пристроїв;

дуже невелика величина чи повна відсутність додаткової втрати тиску.

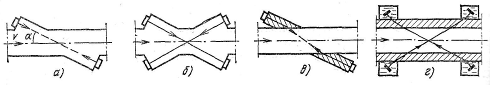


Рисунок – Схеми перетворювачів ультразвукових витратомірів з випромінюванням по потоку: а, одноканальні; б, г – двоканальні

Найбільш серйозним недоліком ультразвукових витратомірів є залежність показань від профілю швидкостей, що змінюється із зміною витрати. Похибка збільшується при спотвореному профілі швидкостей через наявність, наприклад поблизу перетворювача місцевих опорів. Звідси випливає необхідність прямих ділянок труби до і після витратоміра.

Іншим серйозним недоліком є ​​вплив на показання приладу зміни фізико-хімічних властивостей вимірюваного середовища та його температури, що впливають швидкість звуку.

**Електромагнітні витратоміри**

Принцип дії електромагнітних витратомірів заснований на законі електромагнітної індукції, відповідно до якого електропровідної рідини, що перетинає магнітне поле, індуктується ЕРС, пропорційна швидкості руху рідини.

На рис. 55 показана принципова схема електромагнітного витратоміра. Корпус 1 перетворювача, виготовлений з немагнітного матеріалу та покритий зсередини електричною ізоляцією 2 (гумою, емаллю, фторопластом тощо), розташований між полюсами магніту. Через стінку труби ізольовано від неї діаметром введені електроди 3, що знаходяться в електричному контакті з рідиною. Силові лінії магнітного поля спрямовані перпендикулярно площині, що проходить через вісь труби та лінію електродів.

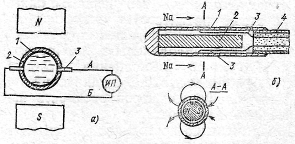


Рисунок – Схема електромагнітного витратоміра: а – із зовнішнім магнітом; б – із внутрішнім магнітом

Електромагнітні витратоміри можуть бути використані в ряді випадків, коли застосування витратомірів інших типів утруднене або неможливо зовсім: при вимірюванні витрати агресивних, абразивних та в'язких рідин та пульп, вимірюванні витрати рідких металів.

До недоліків електромагнітних витратомірів слід віднести вимоги до мінімального значення електропровідності вимірюваного середовища, що звужує коло використання таких витратомірів. Іншим недоліком є ​​складність вимірювальної схеми, схильність до її впливу багатьох перешкод, що ускладнює виготовлення витратомірів класу більше 1 і ускладнює експлуатацію.

**Тепломіри**

Вимірювання витрати та кількості теплоти відіграє важливу роль при автоматизації систем теплопостачання. Прилад, який вимірює кількість теплоти, перенесеної теплоносієм в одиницю часу, називається тепломіром.

У теплоенергетиці може вимірюватися або витрати теплоти з потоком теплоносія (теплова потужність потоку), або кількість теплоти, що виробляється або споживається різними установками. У першому випадку витрати теплавизначається через масову витратута ентальпію потоку:



Тепломіри, що реалізують вираз, називають тепломірами потоку.

У другому випадку витрата теплоти може бути визначена як різниця теплових потужностей на вході та виході установки:



Тепломіри, що реалізують цей вираз, називають різницевими.

Таким чином, для вимірювання витрати теплоти має проводитися безперервне вимірювання масової витрати та ентальпії з подальшим обчисленням результату за наведеними виразами. Ентальпія теплоносія розраховується за наближеними формулами за тиском та температурою.

Застосовувачі, що застосовуються в промисловості, зазвичай вимірюють об'ємну витрату. Перехід від об'ємної витрати до масового здійснюється через щільність середовища. При зміні тиску і температури середовища її щільність змінюється, що викликає зміну показання тепломіра, якщо вони автоматично не коректуються. Зміна густини середовища може бути враховано за допомогою апроксимуючих функцій за поточним значенням параметрів середовища.

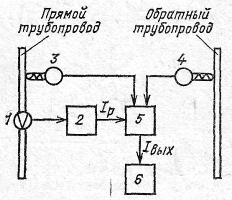


Рисунок – Функціональна схема теплолічильника

Вимірювання рівня рідин та сипких матеріалів

Загальні відомості щодо вимірювання рівня рідини. Гідростатичні, поплавкові, буйкові, ємнісні, акустичні та інші рівнеміри, пристрій принцип дії. Джерела похибок рівнемірів.

Вимірювання рівня рідин відіграє важливу роль при автоматизації технологічних процесів, особливо якщо підтримка рівня пов'язана з умовами безпечної роботи обладнання. Рівнеміри можуть використовуватися або для контролю за відхиленням рівня від номінального (з двосторонньою шкалою), або для визначення кількості рідини (у поєднанні з відомими розмірами ємності) з односторонньою шкалою.

Залежно та умовами вимірювання, характеру контрольованого середовища використовуються різні методи вимірювання рівня. Якщо в дистанційній передачі показань немає необхідності, рівень можна вимірювати рівнемірами з візуальним відліком. При необхідності дистанційного вимірювання рівня використовуються складніші рівнеміри: гідростатичні (дифманометричні та барботажні), буйкові та поплавкові, ємнісні, індуктивні, радіоізотопні, хвильові, акустичні, термокондуктометричні.

Рівнеміри з візуальним відліком

Такі рівнеміри засновані на візуальному вимірі висоти рівня рідини. При невисоких тисках середовища висота рівня вимірюється у скляній трубці (вказівному склі), що сполучається з рідинним та газовим просторами контрольованого резервуару (рис. 57). При підвищених тисках застосовуються плоскі шибки, на поверхні яких з боку рідини нанесені вертикальні грановані канавки. З умов міцності не рекомендується застосовувати вказівне скло довжиною більше 0,5 м, тому при великому діапазоні вимірювання рівня встановлюється кілька стекол у шаховому порядку таким чином, щоб їх діапазони вимірювання перекривалися.

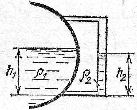


Рисунок – Схема рівнеміру з візуальним відліком

Основним джерелом додаткової похибки таких рівнемірів є різниця щільностей рідини в контрольованому резервуарі і склі, викликана різницею температур (особливо якщо рідина в резервуарі знаходиться при високій температурі, а вказівне скло знаходиться на значному видаленні). Відмінність щільностей призводить до відмінності рівнів у резервуарі та вказівному склі; при цьому абсолютна похибка виміру може бути обчислена за формулою:



деі- щільності рідини в резервуарі та вказівному склі.

Похибка може досягати суттєвих значень, тому з метою її зменшення необхідна або теплова ізоляція рівнеміру, або продування його рідиною з резервуару перед відліком.

Гідростатичні рівнеміри

У цих рівнях вимір рівнярідини постійної густинизводиться до вимірювання гідростатичного тиску, створюваного рідиною, причому



Гідростатичний рівнемір, у якому гідростатичний тиск рідини вимірюється дифманометром, називається дифманометричним.

Гідростатичний рівнемір, в якому гідростатичний тиск рідини перетворюється на тиск повітря, називається пневморівнеміром. Різновидом пневморівнемера є барботажний рівнемір, в якому повітря, що подається від стороннього джерела, барботує через шар рідини.

Дифманометричні рівнеміри. Схема підключення дифманометра до відкритого резервуару, що під атмосферним тиском, зображено на рис. 58.

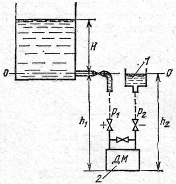


Рисунок – Схема підключення дифманометра при вимірюванні рівня у відкритому резервуарі

Обидві імпульсні трубки дифманометра заповнюються контрольованою рідиною (якщо вона не є агресивною). Дифманометр вимірює різницю тисківі, що впливають на його чутливий елемент. Відповідно до вищенаведеного виразу можна записати вирази для цих тисків:

Таким чином, дифманометр вимірюватиме перепад тисків, що виражається через контрольований рівень



Якщо щільністьірідини в обох імпульсних трубках однакові і якщо, то

,

де.

З двох виразів видно, що дифманометрический рівнемір вимірює «ваговий» рівень, тобто. його показання будуть змінюватися за зміни щільності контрольованого середовища. Похибка також з'явиться, якщо є різниця щільностейів імпульсних трубках (щоб уникнути цієї похибки імпульсні трубки прокладаються поруч). І остання формула справедлива лише в тому випадку, якщо рівень рідини в «мінусовій» імпульсній трубці буде незмінним при зміні контрольованого рівня.

Для забезпечення цього на мінусової імпульсної трубки встановлюється зрівняльна посудина. Посудину та імпульсна трубка заливаються рідиною до рівня 00, прийнятого за початкову позначку шкали рівнеміра.

Необхідність установки зрівняльної судини пояснимо на прикладі (рис. 59). Припустимо, що з нульовому значенні вимірюваного рівнярівень рідини в мінусової імпульсної трубки відповідає лінії 00. При збільшеннізбільшуватиметься тиску плюсовій (нижній) камері дифманометра, що викличе стиснення плюсової (нижньої) мембранної коробки. Це призведе до розширення та збільшення обсягу мембранної коробки у мінусовій камері.

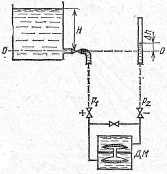


Рисунок – Схема утворення похибки за відсутності зрівняльної судини

Очевидно, що такий же об'єм рідини буде виштовхнуто з верхньої камери імпульсну лінію, що призведе до збільшення рівня в ній на. При цьому перепад, що діє на дифманометр,. Оскільки, показання рівнеміра будуть заниженими, причому абсолютна похибка вимірювання збільшується зі збільшенням контрольованого рівня.

Установкою зрівняльної судини великого діаметру можна зменшити, т.к. одні й самі обсяг рідини, виштовхнутої з мінусової камери дифманометра, у широкому посудині викличе менше зміна рівня, ніж у тонкої імпульсної трубці.

Найпростішою схемою вимірювання рівня рідини в резервуарі під тиском є ​​схема вимірювання рівня барабана котла з використанням однокамерного зрівняльного судини (рис. 60).

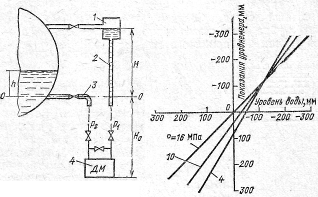


Рисунок – Схема рівнеміру з однокамерною зрівняльною судиною

Зрівняльна посудина 1 приєднана до парового простору. Трубка 3 безпосередньо підключається до водяного простору барабана. Вираз для різниці тисків, що вимірюється дифманометром 4, може бути отримано через тиску, створювані в плюсовійта мінусовийкамери дифманометра.

,

де– щільність води в зрівняльному посудині та імпульсній трубці 2.

Тискявляє собою суму гідростатичних тисків стовпа рідиниу барабані, що має щільність, стовпа рідинив імпульсній трубці 3 із щільністюта стовпа пари в барабані заввишкита щільністю.



Таким чином, перепад тиску визначатиметься виразом:



З виразу длявидно, що показання рівнеміра залежать не тільки від поточного рівня, але й від густин водиі пара, які у свою чергу залежать від температури та тиску середовища в барабані. Тому розрахунок шкали дифманометрів-рівнемірів виробляють на робочий (номінальний) тиск у барабані. Крім того, на результат вимірювання впливатимуть зміни щільності водиу імпульсній трубці, т.к. при цьому змінюється гідростатичний тиск стовпа заввишкив імпульсній трубці 2, у той час як тискмає залишатися незмінним. Це може відбуватися за зміни температури навколишнього середовища в барабані.

На рис. 60 представлені графіки, що ілюструють зміну показань рівнеміра при відхиленні тиску пари в барабані від розрахункового значення 16 МПа. Рівномір вимірює відхилення рівня в барабані від номінального в інтервалі ± 315 мм, отже номінальний рівень на рис. 60 відповідає позначці 0. З графіка видно, що зміна параметрів середовища в барабані суттєво спотворює показання рівнеміра, причому ця похибка залежить від поточного значення рівня. Мінімальний вплив відхилення параметрів рівнемір буде відчувати при рівні, що відповідає точці перетину ліній, але цей рівень нижчий за номінальний.

Зменшення впливу змінина показання рівнеміра може бути досягнуто використанням двокамерної зрівняльної судини (рис. 61).

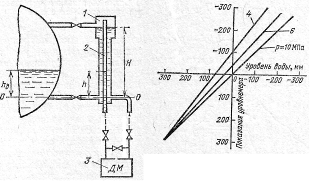


Рисунок – Схема рівнемера з двокамерною зрівняльною судиною

Зовнішня поверхня зрівняльного посудини 1 покрита тепловою ізоляцією, для того щоб щільність води в ньому і у внутрішній трубці 2, з'єднаної з водяним простором барабана, була дорівнює щільності води в барабані, що зумовить рівність рівня водиу трубці 2 та дійсного рівня води в барабані. Для такої схеми вираз для перепаду тиску, що діє на дифманометр 3, має вигляд:



деі– щільності води та пари в барабані.

Таким чином, і при використанні такої схеми показання рівнеміру залежать від різниці густин води та парияка визначається режимом роботи установки.

Похибка рівнеміра з двокамерною зрівняльною судиною, як і з однокамерною, залежить від поточного значення рівня. При певному його значенні, що відповідає точці перетину ліній на рис. 61 зміни тиску не позначаються на показаннях рівнеміра. Це значення вище номінального (для рис. 60 воно було нижче). Тому в експлуатації зручно використовувати рівнемір, що має мінімальну похибку від зміни тиску при номінальному рівні в барабані (тобто рівні, що відповідає точці 0 на рис. 60, 61). Для такого рівня лінії, що характеризують залежність показань від рівня при різних тисках повинні перетинатися на початку координат.

Такі характеристики мають рівнеміри з комбінованими зрівняльними судинами.

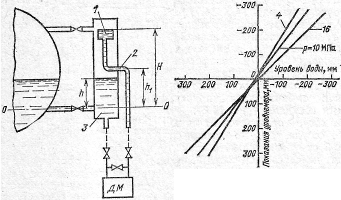


Рисунок – Схема рівнеміру з комбінованою зрівняльною судиною

Ця посудина відрізняється від двокамерної судини тим, що імпульсна трубка 2 від зрівняльного судини 1 проходить не через всю посудину 3, а виведена збоку; таким чином, стовп води заввишкиперебуває у холодному стані, т.к. трубка 2 не ізолюється. Зовнішня поверхня судини покрита тепловою ізоляцією. У цьому випадку перепад тиску, що діє на дифманометр, визначається виразом:

,

де- Щільність води в трубці 2 на ділянці.

З виразу длявидно, що на залежністьвпливає значення. Значеннярекомендується вибирати із співвідношення, де– номінальний рівень у барабані щодо нульової лінії 00, а на графікувідповідає точці перетину прямих (рис. 62). Тобто. як видно з графіків (рис. 62), мінімальний вплив зміна тиску надає практично за номінального рівня.

Слід зазначити, що у схемах з двокамерними зрівняльними судинами велике значення має забезпечення рівності температур у барабані та посудині. За будь-якої зміни температури в посудині щодо барабана з'явиться додаткова похибка, т.к. буде порушено основну вимогу до зрівняльних судин – стабілізація гідростатичного тиску в одній із камер дифманометра.

Всі три розглянуті схеми рівнемірів не забезпечують незалежності показань від зміни тиску за будь-якого поточного значення контрольованого рівня.

Усі розглянуті схеми підключення рівнемірів можуть використовуватись для вимірювання рівня рідин в об'єктах електростанцій або промислових підприємств. конкретна схема вимірювання визначається умовами роботи об'єкта та необхідною точністю вимірювання рівня.

Метод вимірювання рівня дифманометрами має низку переваг. Такі рівнеміри відрізняються механічною міцністю, простотою монтажу, надійністю. На них притаманний один істотний недолік: чутливий елемент дифманометрів знаходиться в безпосередньому контакті з контрольованим середовищем. При вимірі рівня агресивних середовищ це викликає необхідність використання спеціальних матеріалів для дифманометрів, або застосування схем підключення дифманометрів, що не допускають попадання активних середовищ в дифманометр, наприклад, включення в імпульсні лінії розділових пристроїв, продування імпульсних ліній чистою водою і т.д. Від цього недоліку вільний один із типів гідростатичних рівнемірів – барботажний пневморівнемір.

Поплавкові та буйкові рівнеміри

Поплавковим називається рівнемір, заснований на вимірі положення поплавця, що частково занурюється в рідину, причому ступінь занурення поплавця (осаду) при незмінній щільності рідини незмінна. Про рівень судять за положенням покажчика, з'єднаного з гнучким поплавцем (стрічка, трос) або жорстким механічним зв'язком. Поплавець переміщається вертикально разом з рівнем рідини, і, отже, за становищем може бути визначено значення рівня. При русі поплавця на нього діють такі сили: сила тяжкості поплавця, що виштовхує сила газової та рідкої фаз, сили опоруу рухомих елементах рівнеміра. Поплавкові рівнеміри використовуються для вимірювання рівня в резервуарах при невисокому надлишковому тиску, тому силою, що виштовхує, газової фази на поплавок можна знехтувати. У цьому випадку сили, що діють на поплавок, пов'язані:



де- Об'єм зануреної частини поплавця;- Щільність рідини.

Сила опоруспрямована проти руху поплавця і тому змінює знак у разі зміни напрямку руху. З останнього виразу можна отримати. Об `ємоднозначно визначає осадку поплавця.

При зміні щільності контрольованої рідини назмінюється обсяг зануреної частини нащо призводить до зміни опади, тобто. до появи додаткової похибки. Таким чином,є параметром, що визначає додаткову похибку, спричинену зміною щільності контрольованої рідини. Для зменшення цієї похибки доцільно зменшення осаду поплавця, що може бути досягнуто або збільшенням площі поперечного перерізу поплавця, або зменшенням сил, або полегшенням поплавця.

Розміри поплавця обмежуються розмірами рівнеміра, маса поплавця не може бути сильно зменшена через необхідність забезпечення необхідного натягу гнучкого елемента та подолання сил тертя. Значення сил опору визначається вибором схеми зв'язку поплавця з вимірювальною схемою рівня.

Найбільшого поширення набули рівнеміри з механічним зв'язком поплавця з вимірювальною схемою, причому цей зв'язок може бути утворений як гнучкими елементами, так і жорсткими (важелем, рейкою). Використання гнучких елементів практично виключено в рівнях для судин під тиском через складність герметизації висновків. Герметизація простіше забезпечується в важільних рівнемірах, проте їх недоліком є ​​невеликий діапазон виміру - до декількох десятків сантиметрів (при гнучкому зв'язку діапазон виміру досягає 12 м).

Деяке поширення мають рівнеміри з немеханічним зв'язком поплавця з вимірювальною схемою. Наприклад, поплавець може нести ампулу з радіоактивним ізотопом, а встановлений у верхній частині судини детектор реєструє інтенсивність випромінювання, пропорційну видалення поплавця від детектора. В інших конструкціях поплавець може нести перемичку, що закорочує принаймні зміни рівня дві паралельні струни, розташовані по висоті судини.

Можливий індуктивний спосіб визначення положення поплавця. У таких рівнях поплавець несе якийсь елемент, який може змінити індуктивність довгої котушки, розташованої по осі судини. Вихідним сигналом є індуктивність котушки, яка певним чином пов'язана зі становищем поплавця, тобто. із значенням рівня. Діапазон вимірювання індуктивних рівнемірів поплавця може бути збільшений використанням дискретних схем. У цьому випадку використовується ряд малих за висотою котушок, розташованих в ізольованій рідині трубі. Переміщаючись уздовж цієї труби, поплавець змінюватиме індуктивність тієї котушки, поряд з якою він знаходиться, що фіксується вимірювальною схемою.

Поплавкові рівнеміри мають певні переваги: ​​простоту пристрою, великий діапазон вимірювання, досить високу точність, можливість вимірювання рівня агресивних і в'язких середовищ, широкий температурний діапазон вимірювання. Недоліки, що обмежують їх застосування: наявність поплавця в резервуарі, проблеми вимірювання рівня резервуарів під тиском.

Буйковими називаються рівнеміри, засновані на законі Архімеда: залежності сили, що виштовхує, що діє на буек, від рівня рідини. Чутливим елементом таких рівнемірів є масивне тіло (наприклад, циліндр) - буйок, підвішене вертикально всередині судини і частково занурене в контрольовану рідину. Буйок закріплений на пружній підвісці з жорсткістю, що діє на буйку з певним зусиллям. При збільшенні рівнявід нульового положення 00 збільшиться виштовхувальна сила, що викличе підйом буйка на, причому під час підйому його збільшується осаду, тобто.. При цьому змінюється зусилля, з яким підвіска діє на буйок, причому зміна дорівнює зміні сили, що виштовхує, викликаної збільшенням опади буйка на:



де- Жорсткість підвіски;,– щільність рідини та газу;- Площа поперечного перерізу буйка.

Звідси можна отримати вираз статичної характеристики буйкового рівнеміра:



Таким чином, статична характеристика буйкового рівнеміра лінійна, причому чутливість його може бути збільшена збільшеннямабо зменшенням жорсткості підвіски.

З виразу статичної характеристики видно, що додаткові похибки можуть виникнути з допомогою зміни величин,,. Причиною зміни цих величин є зміна температури та тиску в посудині, при цьому найбільшою є похибка, спричинена зміною.

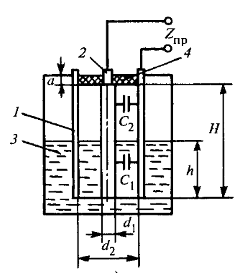
Ємнісний, термокондуктометричний, радіохвильовий, хвилеводний рівнемір. Вимірювання рівня сипучих тіл. Сигналізатори рівня

В електричних рівнях рівень рідини перетворюється на будь-який електричний сигнал. Робота ємнісних рівнемірів полягає в тому, що діелектрична проникність водних розчинів солей, кислот і лугів відрізняється від діелектричної проникності повітря або водяної пари. Діелектрична проникність показує у скільки разів сила взаємодії двох електричних зарядів у середовищі менша ніж у вакуумі.

Ємнісними називаються рівнеміри, що ґрунтуються на залежності електричної ємності конденсаторного перетворювача, частково введеного в рідину, від її рівня.

Конструкція конденсаторних перетворювачів різна для електропровідних та неелектропровідних рідин. Електропровідними вважаються рідини, що мають питомий опір ρ<106 Ом·м та діелектричну проникність більше 7. Відмінність перетворювачів полягає в тому, що один з електродів рівнемірів для електропровідних рідин покритий ізоляційним шаром, а електроди перетворювачів для неелектропровідних рідин не ізольовані.

Часто застосовуються циліндричні електроди, що забезпечують більшу жорсткість конструкції.

Конденсаторний перетворювач для неелектропровідних рідин (спирти, бензол, фенол, нафта, гас), що складається з двох коаксіально розташованих електродів 1 і 2, поміщених в резервуар 3, в якому проводиться вимірювання рівня наведено на малюнку. Взаємне розташування електродів зафіксовано прохідним ізолятором 4. Електроди утворюють циліндричний конденсатор, частина міжелектродного простору висотою Н заповнена контрольованою рідиною, частина її парами.

У загальному вигляді ємність циліндрич конденсатора визначається виразом:

**З = 2·π ·ε· ε0 ·H / ln(d2/d1)**

де ε0 = 8,85 · 10-12 Ф/м – діелектрична проникність вакууму;

ε - відносна діелектрич проникнення речовини, що заповнює міжелектродний простір;

Н – висота електродів

h – висота вимірюваної рідини

d1, d2 – діаметри внутрішнього та зовнішнього електродів.

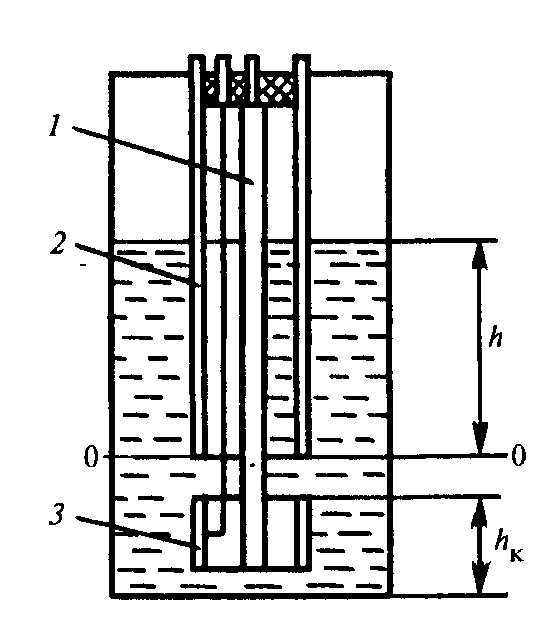
Ємність для частини перетворювача, що знаходиться в рідині та газовому просторі:

Ємність перетворювача при їж = коснт однозначно залежить від рівня h. Сі – ємність прохідного ізолятора.



Однак у реальних умовах їжак може змінюватись при зміні температури рідини або її складу.

Для зменшення впливу зміни їжак на показання рівнеміра використовується компенсаційний конденсатор. Нижня частина електрода 1 і додатковий електрод 3 утворюють компенсаційний конденсатор, який постійно занурений в рідину. слід його ємність залежить тільки від їжак. Його ємність використовується в електронній схемі як коригувальний сигнал. Однак при цьому збільшується невимірюваний рівень.

Переваги: ​​дешевизна, простота обслуговування, зручність монтажу, відсутність рухомих елементів, можливість використання в широкому інтервалі температур і тисків.

Недоліки: непридатність для вимірювання рівня в'язких, плівкоутворюючих рідин, що кристалізуються і містять домішки.

Термокондуктометричні рівнеміри

*Термокондуктометричними* називаються рівнеміри, елементом електричного ланцюга яких є резистор, що нагрівається струмом, з великим температурним коефіцієнтом електроопору, електричний опір якого залежить від рівня рідини. Принцип дії таких рівнемірів ґрунтується на відмінності умов теплообміну в рідинах та газах. Чутливий елемент таких рівнемірів є протяжним терморезистором.

Термокондуктометричний перетворювач поміщається в резервуар в такий спосіб, що його перебуває у рідини, решта — у газовому просторі При зміні рівня змінюється довжина цих ділянок. Так як у загальному випадку температура рідини та її парів може бути однаковою, відбувається підігрів перетворювача.

Прямий підігрів здійснюється струмом постійної сили, що проходить через перетворювач. При непрямому підігріві перетворювач повинен мати додатковий підігрівач.

Принцип дії термокондуктометричного перетворювача полягає у використанні відмінності тепловіддачі від нагрітого терморезистора до рідини та газу, внаслідок чого ділянки його, що знаходяться в рідині та газі, мають різну температуру і, отже, різний опір. Таким чином, сумарний їхній опір визначатиметься рівнем. Припустимо, що за відсутності рідини «сухий» перетворювач має температуру t1, при цьому його погонний (на одиницю довжини) опір дорівнює r0 і температурний коефіцієнт опору дорівнює α. При довжині перетворювача Н його повний опір R0 = r0 · H

При рівні рідини h занурена частина стала мати температуру t2, ПРИ цьому повний опір перетворювача визначається виразом Rh= r0·h·[1 + α·(t2-t1)]+ r0·(H - h)

Таким чином, залежність між збільшенням опору ΔR і рівнем h (статична характеристика) матиме вигляд:

**∆R= Rh –R0 = r0·h·α·(t2-t1)**

Основна сфера застосування - кріогенна техніка, де вони використовують для вимірювання рівня зріджених газів.

Ультразвукові рівнеміри

Людина здатна чути звук від 16 Гц до 16 кГц.

Ультразвукові рівнеміри (частота вище 20 КГц) дозволяють вимірювати рівень без контакту з вимірюваним середовищем і в важкодоступних місцях. В ультразвукових рівнемірах зазвичай використовується принцип відображення звукових хвиль від межі розділу «рідина – газ (повітря)». На малюнку показано вимірювальна схема ультразвукового рівнеміру, що працює на відображенні звуку від межі розділу двох середовищ.

Прилад складається із електронного блоку (ЕБ). п'єзоелектричного випромінювача (перетворювача) та вторинного приладу. Електронний блок складається з генератора 1, що задає частоту повторення імпульсів, генератора імпульсів 2, що посилаються у вимірюване середовище, приймального підсилювача 4 і часу вимірювача 5.

Генератор 1 керує роботою генератора 2 та схемою вимірювання часу. Генератор 2 формує короткі імпульси для збудження п'єзоелектричного випромінювача 3. Електричний імпульс, перетворений в ультразвуковий в п'єзоелектричному випромінювачі, поширюється в газовому середовищі, відбивається від межі розділу «рідина - повітря», повертається назад електричний сигнал. Обидва імпульси посланий та відбитий, розділений у часі, надходять на підсилювач 4.

У п'єзоелектричному датчику використовується прямий п'єзоелектричний ефект. Прямий пьезоэффект у тому, що з механічної деформації кристалів у певних напрямах з їхньої межах виникають електричні заряди протилежних знаків, що зумовлює генерації електричного поля. Це зумовлено деформацією елементарних кристалічних осередків і зсувом подрешеток щодо один одного при механічному впливі на кристал. У п'єзодатчиках під дією ультразвукових хвиль, що реєструються, в пластинці виникають вимушені механічні коливання (змінна деформація), які і призводять до генерації змінного електричного поля, відповідна електрична напруга може бути виміряна.

Явище зворотного п'єзоелектричного ефекту полягає у механічній деформації деяких матеріалів (кристали кварцу та турмаліну, сегнетова сіль, фосфорнокислий амоній, керамічний матеріал на основі титанату барію) під дією змінного електричного поля. Якщо до певних площин кристала підвести змінне електричне поле, кристал стискається або розтягується залежно від полярності електричного поля. Основною частиною такого випромінювача є платівка або стрижень із п'єзоелектричного матеріалу. На поверхню пластини у вигляді шарів, що проводять, нанесені електроди. При дії змінного електричного поля пластина вібрує, випромінюючи механічну хвилю відповідної частоти. Найбільша інтенсивність УЗ-хвилі спостерігається під час виконання умови резонансу.

Час між моментом посилки імпульсу і моментом надходження відбитого імпульсу є функцією висоти вимірюваного рівня. тобто.

***τ = 2(Hмах – h)/c***

де Нтах - максимальний рівень, що вимірюється:

*h -* поточний рівень:

*з*- швидкість поширення ультразвуку у вимірюваному середовищі.

Постійна напруга, пропорційна часу запізнення відбитого сигналу (рівню), що отримується у вимірнику часу, подається на вторинний прилад 6.

Хімічні та фізичні властивості середовища не впливають на результат вимірювання, отриманий ультразвуковим методом, тому без проблем може вимірюватись рівень агресивних, абразивних, в'язких та клейких речовин. Однак необхідно пам'ятати, що швидкість поширення ультразвуку впливає температура повітря в середовищі його поширення. Крім того, сильно залежною від температури, швидкість ультразвуку залежить від тиску повітря: вона збільшується зі зростанням тиску. Пов'язані зі змінами тиску нормальної атмосфері відносні зміни швидкості звуку становлять приблизно 5%. Швидкість ультразвуку також залежить від складу повітря, наприклад, від процентного вмісту СС і вологості. Вплив відносної вологості на швидкість ультразвуку є меншим проти впливу. надається температурою і тиском:

Основні переваги методу:

безконтактний:

застосовується для забруднених рідин:

реалізація методу не пред'являє високих вимог до зносостійкості та міцності обладнання:

незалежність від щільності контрольованого середовища

+- 0,1... 2,5 %

Недоліки:

велика розбіжність конуса випромінювання;

відображення від нестаціонарних перешкод (наприклад, мішалок) можуть спричинити помилки вимірювання: застосовується тільки в резервуарах з нормальним атмосферним тиском;

на сигнал впливають пил. пар. газові суміші та піна.

Радіохвильові рівнеміри

Радіохвиля 5,8 ГГц – 10 ГГц: 24 ГГц

Робота радіолокаційних рівнемірів ґрунтується на явищі відображення електромагнітних хвиль від межі розділу середовищ, що відрізняються електричними та магнітними властивостями.

Швидкість поширення електромагнітної хвилі в середовищі визначається значеннями її діелектричної ε і магнітної µ проникності: V = c / √εμ , де з - швидкість світла у вакуумі.

Схема рівнеміра складається з випромінювача 1, приймача електромагнітної енергії 2 і перетворювача вимірювання 3 інтервалу часу. Рівень h визначається вимірюванням часового інтервалу між моментом посилки сигналу випромінювачем 1 і приходом відбитого сигналу на приймач 2. Ці величини пов'язані співвідношенням = 2(H - h)√εμ /c .

Зазвичай локація ведеться через газове середовище над рідиною (у принципі локація може здійснюватися через рідину, якщо вона неэлектропроводная). Локація через газ краще, оскільки випромінювачі не піддаються впливу рідини. Крім того, магнітні та діелектричні проникності газів невеликі і практично не залежать від зміни параметрів та властивостей газу. Це робить показання рівнеміра практично не залежними від властивостей рідини. Недоліком таких рівнемірів є складність точного виміру малих інтервалів часу. Вони чутливі до знаходження в зоні випромінювання сторонніх предметів, наприклад, металевих стінок ємностей. Для усунення цього недоліку необхідно застосувати вузькоспрямоване випромінювання за допомогою рупорних антен.

Одним із найважливіших елементів радарного рівнеміра є його антенна система.

Найуніверсальнішою є рупорна. Цей тип антени може використовуватися у великих ємностях, застосовується в різних (у тому числі складних) умовах, забезпечує вимірювання до 35...40 м (в умовах спокійної поверхні), дозволяє працювати з великим діапазоном середовищ по діелектричній проникності.

Стрижнева антена також широко застосовується. Радарні рівнеміри з цим видом антени використовують у невеликих ємностях: агресивними середовищами, хімічними речовинами, гігієнічними продуктами. Стрижнева антена застосовна і у разі, коли доступ у ємність обмежений малими розмірами патрубка. Антени покрита шаром захисної ізоляції, здійснює вимірювання на відстанях до 20 м.

Трубчаста антена - це надбудований подовжений хвилевід, через це вона дозволяє випускати найсильніший сигнал за рахунок зниження розсіювання. Такі антени застосовують у тих випадках, коли проведення вимірювання за допомогою рупорної або стрижневої антени пов'язане з великими труднощами або просто неможливе (наявність піни, сильного випаровування або високої турбулентності рідини).

У системах комерційного обліку нафтопродуктів застосовуються антени параболічного та планарного типів, оскільки вони забезпечують особливо високу точність вимірів.

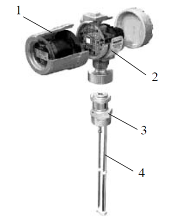
На сьогоднішній день радарні рівнеміри є найуніверсальнішими, так як їх експлуатація забезпечує мінімальний контакт вимірювального пристрою з контрольованим середовищем, вони можуть працювати незалежно від змін температури та тиску (причому радарні покажчики рівня рідини застосовні в таких умовах, за яких неможливо використання інших методів) .

Радарні рівнеміри мають більшу стійкість до таких факторів як запиленість, випаровування з контрольованої поверхні, ціноутворення, мають високу точність. Однак недоліком радарного методу є дорожнеча таких приладів.

Хвильоводні рівнеміри

Мікрохвильовий діапазон/діапазон радіохвиль надвисоких частот 300 МГц - 300ГГц.

Даний тип рівнемірів відноситься до рівнемірів контактного типу. Мікрохвильові радіоімпульси малої потужності прямують вниз по зонду, зануреному в технологічне середовище, рівень якого потрібно визначити. Коли радіоімпульс досягає середовища з коефіцієнтом діелектричної проникності, відмінною від проникності газу над поверхнею середовища, то через різницю коефіцієнтів діелектричних проникностей відбувається відображення мікрохвильового сигналу у зворотному напрямку. Тимчасовий інтервал між моментом передачі зондувального імпульсу і моментом прийому ехо-сигналу пропорційний відстані рівня контрольованого середовища. Аналогічним чином вимірюється відстань між датчиком та межею розділу двох рідких середовищ з різними коефіцієнтами діелектричної проникності. Інтенсивність відбитого сигналу залежить від діелектричної проникності середовища. Що вище діелектрична проникність, то вище інтенсивність відбитого сигналу. Хвильоводна технологія мають ряд переваг у порівнянні з іншими методами вимірювання рівня, оскільки радіоімпульси практично несприйнятливі до складу середовища, атмосфери резервуару, температури і тиску.

Оскільки радіоімпульси направляються по зонду, а чи не вільно поширюються у просторі резервуара, то хвилеводна технологія може успішно застосовуватися для малих і вузьких резервуарів, і навіть для резервуарів з вузькими горловинами. У разі необхідності знімна голова датчика дозволяє замінювати модуль електроніки, не порушуючи герметичність резервуара, що може бути важливим при вимірюванні рівня зріджених газів та аміаку.

Воловодний рівнемір (малюнок 2) включає наступні основні елементи: корпус 1, електронний модуль 2, фланцеве або різьбове з'єднання з резервуаром 3 і зонд 4. Корпус рівнеміра, що складається з двох незалежних відсіків (відсік електроніки та клемний відсік для підключення кабелів), може бути знятий із зонда, при цьому відкривати резервуар не потрібно. Крім того, корпус такої конструкції підвищує надійність та безпеку рівнеміру при експлуатації у небезпечних виробництвах.

Залежно від умов технологічного процесу використовується один із п'яти типів зондів: коаксіальний, жорсткий двострижневий, жорсткий однострижневий, гнучкий двопровідний та гнучкий однопровідний. Вибір зонда визначається властивостями середовища (щільність, в'язкість, агресивність), рівень якого необхідно виміряти.

*Коаксіальний зонд*(рис. 5.22. а) - оптимальне рішення для вимірювання рівня зовнішньої поверхні та рівня розділу двох рідин, наприклад, розчинників, спиртів, водних розчинів, зріджених газів та рідкого аміаку. Коаксіальний зонд забезпечує найвище відношення сигнал/шум. Рекомендується для вимірювання рівня рідин з низькою діелектричною проникністю, а також для вимірювань в умовах турбулентності, у присутності піни або потоків рідини або пари поблизу зонда (оболонка коаксіального зонда працює як заспокійлива криниця).

Він може використовуватися в умовах електромагнітних перешкод, що допускається контакт зонда з металевими конструкціями. Не рекомендується для середовищ, схильних до кристалізації або налипання, а також для порошків. Максимальний діапазон вимірювань при використанні зонда коаксіального становить 6 м.

*Двострижневий жорсткий*(рис. 5.22. 6) або двопровідний гнучкий (рис. 5.22. в) зонди рекомендуються при вимірюванні рівня рідин (нафтопродукти. розчинники, водні розчини тощо). Можливе застосування для вимірювання рівня та розділу рідких середовищ. Можуть застосовуватися з більш в'язкими рідинами, ніж рекомендовано для коаксіального зонда, проте не слід застосовувати цей зонд для липких продуктів, коли існує можливість налипання і утворення перемичок між двома стрижнями або проводами зонда. Двострижневий зонд із жорсткими стрижнями підходить для вимірювань у діапазоні до 3 м. Для гнучкого двопровідного зонда діапазон вимірювань до 23.5 м.

*Однострижневий жорсткий*(рис. 5.22, г) або однопровідний гнучкий (рис. 5.22. д) зонди менш сприйнятливі до налипання середовища та утворення наростів. Вони можуть застосовуватися для в'язких рідин, суспензій, водних розчинів та алкогольних напоїв, а також використовуватися для санітарних цілей у харчовій та фармацевтичній промисловості. Можна використовувати для вимірювання рівня твердих частинок, гранул та порошків.

Вимірювання рівня сипких матеріалів

Є ряд причин, що ускладнюють завдання вимірювання рівня сипких матеріалів проти вимірюванням рівня рідин. Насамперед це неоднорідність речовин обсягом, пов'язана з наявністю простору між твердими частинками, заповненого газом. Ступінь неоднорідності залежить від розмірів частинок і безпосередньо впливає на фізичні властивості матеріалу, що ускладнює застосування методів вимірювання рівня, які використовують певні фізичні властивості. Наступна складність вимірювання рівня обумовлена ​​обмеженою рухливістю частинок через дію сил тертя і зчеплення між частинками, результатом чого є відсутність горизонтальної площини розділу газ - матеріал. Поверхня сипучого матеріалу розташована до горизонталі під кутом природного укосу, причому цей кут при заповненні або випорожненні ємності може бути різним.

Обмежена рухливість частинок призводить до зводоутворення, що порушує нормальну роботу вимірювальних пристроїв. Наслідком обмеженої рухливості є залежність тиску всередині сипучої маси від орієнтації одиничного майданчика, форми бункера, коефіцієнта тертя матеріалу стінки, що обмежує застосування методів вимірювання рівня, заснованих на залежності тиску від рівня (по типу гідростатичних).

Негативними якостями сипких матеріалів є здатність до налипання та абразивна дія. Ускладнити роботу рівнемірів може також запилення газового простору, що впливає на електричні властивості середовища, а також висуває підвищені вимоги до забезпечення вибухобезпеки.

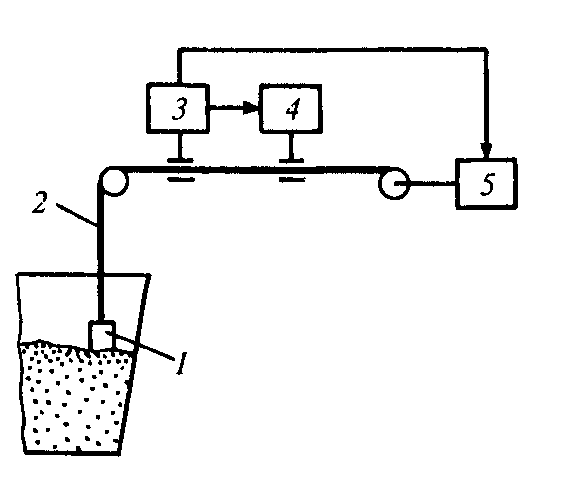
Масові рівнеміри

Найпростішими за принципом дії рівнемірами для сипких матеріалів є масові, засновані на зважуванні бункера разом із матеріалом, що його заповнює. Як перетворювач у цих рівнях може бути використана гідравлічна месс- доза, яка служить опорою однієї з лап бункера. Мессдоза (вимірювальна банка) є сталевий корпус з поршнем, який спирається лапа бункера. Поршень тисне на металеву мембрану, що герметизує. Внутрішня порожнина корпусу (під мембраною) заповнена рідиною та з'єднана з манометром. Тиск рідини у системі мессдоза-манометр дорівнює силі тяжкості бункера з матеріалом, поділеної площу поршня. Манометр градуюється в одиницях маси чи рівня. Похибка таких рівнемірів досягає ±10%. У масових рівнях замість мессдози можуть застосовуватися і більш досконалі магнітопружні перетворювачі, що забезпечують більш високу точність вимірювання (їх похибка не більше ± 5%). Основний елемент таких перетворювачів - металевий чутливий елемент, магнітна проникність якого змінюється за пружної механічної деформації. Магнітопружні перетворювачі встановлюються під опори бункера і входять у схему неврівноваженого мосту, вихідний сигнал якого від ступеня деформації перетворювача, тобто. від кількості матеріалу у бункері. Магнітопружні перетворювачі встановлюються під опори бункера і входять у схему неврівноваженого мосту, вихідний сигнал якого від ступеня деформації перетворювача, тобто. від кількості матеріалу у бункері. Магнітопружні перетворювачі встановлюються під опори бункера і входять у схему неврівноваженого мосту, вихідний сигнал якого від ступеня деформації перетворювача, тобто. від кількості матеріалу у бункері.

Масові рівнеміри визначають масу матеріалу в ємності, вимірюючи за допомогою тензодатчиків зусилля, які прикладаються до її опор. Під опори ємності встановлені тензодатчики, що підключаються до МП контролера комплекту рівнеміра, який з результату вимірювання забирає вагу тари та отримує чисту вагу матеріалу в ємності.

Вихідний сигнал - уніфікований струмовий чи дискретний. К.Т. , 0,1, 0,25, 0,5 чи 1,0.

Лотовий рівнемір

Специфічним рівнеміром для сипких матеріалів є лотовий (рис. 11.31). Чутливим елементом таких рівнемірів є масивне тіло - лот 7, підвішене на гнучкому тросі 2. На початку циклу вимірювань лот зафіксований у граничному верхньому положенні. Цикл виміру рівня починається з моменту розгальмування лота, при цьому під дією власної ваги лот починає опускатися. У цей же момент сигнальним пристроєм 3, що реагує на натяг троса, включається відліковий пристрій 4, що реєструє зсув лота щодо початкового граничного положення. В момент торкання лотом поверхні натяг троса зменшується і сигнальний пристрій відключає відліковий пристрій, одночасно включаючи механізм підйому лота 5, що повертає лот у вихідне положення, після чого цикл повторюється. Покази відлікового пристрою дозволяють визначити поточне значення рівня. Перед початком наступного циклу вимірювання показання відлікового пристрою повинні бути скинуті. За такою схемою працює рівнемір сипучих тіл УСТ-2 (межі виміру 0...25 м, основна відносна похибка ±2,5 %).

1 – лот

2 – гнучкий трос

3 – сигнальний пристрій

4 – відліковий пристрій

5 – механізм підйому лота

Сигналізатори рівня

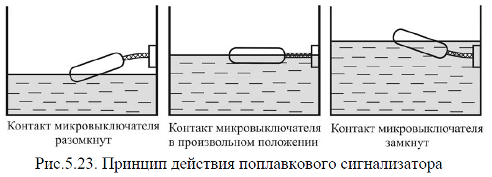
Кінцеві вимикачі граничного рівня (сигналізатори рівня) формують вихідний сигнал у тих випадках, коли рівень контрольованого матеріалу досягає, піднімається вище або опускається нижче за певний рівень, заданий щодо висоти установки датчика. Прикладами можуть бути: захист від переповнення, захист обладнання від режиму «сухого ходу», перевірка мінімального та максимального рівнів заповнення резервуарів. Для визначення граничного рівня існують такі засоби контролю: поплавкові вимикачі, кінцеві вимикачі з чутливим елементом, що вібрує, кондуктометричні вимикачі, ємнісні зонди, занурювальні магнітні зонди.



Поплавкові сигналізатори рівня

Поплавкові сигналізатори мають необхідну плавучість, що дозволяє їм у незакріпленому стані перебувати на поверхні рідини в строго горизонтальному положенні. У конкретних застосуваннях датчик закріплюється за допомогою власного кабельного затиску на висоті, що відповідає граничному рівню рідини.

Процес перемикання запускається хитання датчика, коли він відхиляється від горизонтального положення в будь-якому напрямку, як це представлено на рис.5.23. В якості комутаційних пристроїв часто застосовуються рідкометалеві мікровимикачі, в яких в даний час замість ртуті використовується галінстан (рідкий металевий сплав. включає галій, індій і олово і рідкий стан, що зберігає, при температурах вище -19 °С).



Вимикач поплавця складається з корпусу поплавця з вбудованим мікровимикачем і приєднувального кабелю.

Як поплавки застосовують переважно порожнисті кулясті або сферо-циліндричні тіла, виконані з поліпропілену, стійкого до впливу неконцентрованих кислот і лугів, більшості розчинників, спирту, бензину, води, консистентних мастил і масел.

На рис.5.24 представлено регульований комбіноване пристрій з поплавкових вимикачів, що дозволяє змінювати рівні спрацьовування вимикачів, якщо цього вимагатимуть нові експлуатаційні умови. У цьому сигналізаторі поплавці налаштовуються до кінця несучої штанги. Підстроювання за рівнями спрацьовування проводиться користувачем дома застосування за допомогою переміщення установочних фіксуючих кілець.

Основні переваги методу:

простота;

міцність;

невисока вартість.

Недоліки:

непридатні для клейких рідин;

проблеми з рідинами, що плескаються;

плавучість залежить від розмірів поплавця;

точка спрацьовування залежить від коливань щільності

Вібраційні сигналізатори рівня

Як вібраційних кінцевих вимикачів застосовують пристрої з резонатором камертонного типу (через форму його часто називають коливальною вилкою), в яких п'єзоелектричним способом збуджуються сильні механічні коливання в діапазоні резонансних частот. Зовнішній вигляд вібраційного датчика представлено на рис.5.25. Завдяки високим механічним якостям вібруючої системи цілком достатня дуже мала потужність збудження. Розміщення чутливого елемента всередині контрольованого середовища викликає різке зменшення амплітуди коливань аж до повного гасіння. Зміна стану коливання станом спокою. навпаки, як електричного сигналу граничного рівня надходить на індикатор. У цьому функціонування даних пристроїв залежить від флуктуацій фізичних властивостей контрольованого речовини.

Вібраційні кінцеві вимикачі можна використовувати для визначення граничного рівня практично всіх рідин та сипких матеріалів.

Основні переваги методу:

простота:

не потрібне регулювання у місці установки;

відсутні рухомі частини;

нечутливі до турбулентності, утворення піни та зовнішньої вібрації:

допускають будь-яку просторову орієнтацію:

нечутливі до більшості фізичних властивостей вимірюваної речовини (виняток - щільність):

перевірка функціонування може проводитись дома монтажу.

Недоліки:

клейкі речовини та тверді частинки в рідинах можуть спричиняти відмови:

тверді частинки можуть заклинювати коливальну вилку.

Кондуктометричні сигналізатори рівня

Цей метод ґрунтується на зміні сили струму. При порожньому резервуарі опір між двома електродами нескінченно великий: при зануренні кінців електродів у провідне середовище опір зменшується відповідно до величини її провідності. Область застосування методу поширюється виключно на контроль рівня рідин, що проводять. Отже, рівень сипких або в'язких матеріалів вимірювати вказаним методом не можна. Необхідна наявність у контрольованої речовини певної мінімальної провідності (більше 1 мкС/см). щоб при вимірі рівня кондуктометричним методом можна було отримати помітний сигнал зміни струму.

Даний метод застосовують головним чином для вимірювання граничного рівня в цистернах, баках і парових котлах. Займисті рідини, такі як різні види палива, маєта і розчинники, є діелектриками, тому для них цей метод не застосовується на відміну від кислот, лугів та розчинів, що містять воду і є провідниками. Рівень агресивних рідин визначається без проблем шляхом використання електродів, виконаних з високоміцних матеріалів. Зовнішній вигляд кондуктометричного кінцевого вимикача

При реалізації кондуктометричного методу два електроди встановлюються вище поверхні провідної рідини, рівень якої контролюється. Коли рідина досягає тієї точки, де обидва електроди контактують з рідиною, електричний струм викликає спрацьовування реле. Якщо потрібно виявити кілька значень рівня, використовується кратне число електродів. Для того щоб виключити такі ефекти, як електроліз рідини або вибух, застосовуються постійний струм досить малої величини та змінний струм.

На основі даного методу може бути легко та економічно реалізовано визначення не лише граничного, а й міжфазного рівня: наприклад. досить просто виявляється межа між водою та непровідними рідинами в розділювачах (сепараторах) олії чи бензину.

Основні переваги методу:

простота та міцність;

відсутність рухомих механічних елементів;

нечутливі до турбулентності;

технологічним процесом допускаються висока температура та тиск;

просте регулювання та обслуговування.

Недоліки:

непридатні для клейких речовин та діелектриків;

масляні речовини можуть викликати налипання на електроди тонкого шару покриття, що не проводить, що може бути причиною відмови.

Магнітні сигналізатори рівня

Магнітні занурювальні зонди граничного рівня розроблені для використання в очищених рідинах, таких як вода, розчинники, олії, різні види палива. Залежно від виду контрольованої рідини можливі різні виконання зондів:

пластикові для агресивних кислот та лугів:

з нержавіючої сталі для води, масел тощо:

з нержавіючої сталі у вибухозахищеному виконанні для горючих рідин, таких як паливо, розчинники, спирти.

Ці датчики працюють наступним чином: поплавець, що направляється трубкою зонда, плаває на поверхні рідини: тороїдальний магніт, змонтований на поплавці, у відповідному положенні замикає язичкові герметизовані контакти, встановлені на напрямній трубці, за допомогою магнітного поля. Зовнішній вигляд магнітного занурювального зонда представлений на рис.5.28.

Основні переваги методу:

простий принцип дії:

нескладний монтаж:

нескладне технічне обслуговування.

Недоліки:

плавучість залежить від розміру поплавця:

точки перемикання залежать від щільності середовища:

максимальна довжина зонда – близько 6 м;

мінімально допустима густина контрольованого середовища дорівнює 0,7 г/см3.

можна використовувати лише в очищених рідинах.

Ротаційні (прапорні) сигналізатори рівня

У датчиках електромеханічного типу (Paddlewheel-Level Sensor) вимірювальна лопата (як правило, виконана у формі «прапорець» для полегшення монтажу датчика в технологічний отвір у стінці або кришці резервуара) приводиться в дію електромотором. При збільшенні рівня матеріалу збільшується механічне навантаження на лопату. Виникає реактивний момент, який використовується для впливу на механічний вимикач, внаслідок чого обертання мотора припиняється, та замикаються виконавчі контакти реле. Виникнення реактивного моменту супроводжується зростанням струму, споживаного електродвигуном. У більш досконалих моделях саме зміна струму є сигналом для зупинки мотора і формування електронного або релейного вихідного сигналу. При зниженні рівня матеріалу лопата звільняється,

Методи та прилади аналізу складу газів

Засоби вимірювання, які застосовуються для аналізу складу газів, називаються газоаналізаторами.

Де застосовуються: у коксохімічному виробництві, нафтопереробці, газовій промисловості, в яких на основі безперервного автоматичного контролю складу газів здійснюється керування основними хіміко-технологічними процесами. Також застосовуються на теплових електричних станціях для контролю за процесом горіння та визначення необхідного надлишку повітря. Якщо пам'ятаєте, коефіцієнтом надлишку повітря називаємо відношення практично необхідної кількості повітря до теоретично необхідного. Зменшення подачі повітря призводить до зростання втрати від хімічної неповноти згоряння внаслідок нестачі кисню. А збільшення витрати підводиться в топку повітря викликає зростання втрати з газами, тому що на нагрівання додаткового повітря марно витрачається частина тепла. Таким чином,

Також газоаналізатори застосовуються для контролю вмісту шкідливих домішок у газових викидах промислових підприємств.

Для вимірювання концентрації одного з компонентів газової суміші використовується та чи інша фізико-хімічна властивість цього газу, що відрізняється від властивостей інших газів. Чим різкіша ця відмінність і чим вона специфічніша, тим вище чутливість методу і простіше здійснюється підготовка проби газу. Різноманітність методів вимірювання, що використовуються в газоаналізаторах, обумовлена ​​обширністю аналізованих компонентів газових сумішей і широким діапазоном зміни їх концентрації.

Переважна більшість промислових автоматичних газоаналізаторів призначена для вимірювання концентрації одного компонента суміші газів. У цьому випадку суміш газів розглядається як бінарна, в якій визначається компонент впливає на фізико-хімічну властивість суміші, а інші компоненти, незалежно від їх складу і концентрації, не впливають і вважаються другим компонентом суміші.

Існують газоаналізатори, призначені для аналізу різних складових багатокомпонентних газових сумішей, здебільшого ці прилади використовуються у лабораторній практиці. Газоаналізатори градуюються у відсотках за обсягом, г/м3, мг/л. Перша одиниця вимірювання є більш зручною, оскільки відсотковий вміст компонентів газової суміші зберігається при зміні температури та тиску. Відтворення одиниць виміру концентрації компонентів газових сумішей проводиться за допомогою атестованих еталонних газових сумішей.

Існуюча класифікація газоаналізаторів ґрунтується на фізико-хімічних властивостях, покладених в основу вимірювання концентрації визначених компонентів суміші, і включає наступні основні групи приладів: 1.механічні, 2.теплові, 3.магнітні, 4.оптичні, 5.хроматографічні, 6.електричні та 7.масспектрометричні.

Газоаналізатори на відміну від засобів вимірювання температури, тиску є установкою, що містить крім вимірювального перетворювача (приймача) ряд пристроїв, що забезпечують відбір, підготовку і транспортування проби газу через прилад. Для газоаналізаторів характерною є наявність двох груп приладів. У першу входять вимірювальні прилади, в другу – індикатори, сигналізатори, детектори витоку газів. Прилади другої групи часто є переносними, більш простими за конструкцією та мають меншу кількість допоміжних пристроїв.

**Об'ємні хімічні газоаналізатори**

У механічних газоаналізаторах вимір змісту визначених компонентів проводиться на підставі зміни механічних параметрів стану або відповідних властивостей газової суміші. До вимірюваних величин у цих приладах відносяться зміни обсягу або тиску проби газової суміші, її в'язкості, щільності, швидкості поширення звуку.

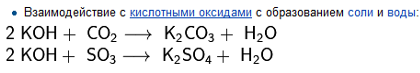
Найбільш поширеними приладами цього є об'ємні (волюмометричні) газоаналізатори. В них про вміст компонента, що визначається, судять зі зміни обсягу газової суміші в результаті виборчого поглинання, каталітичного окислення або спалювання визначається компонента. Оскільки для виборчого видалення компонентів, що визначаються, використовуються хімічні реакції, прилади часто називають об'ємними хімічними газоаналізаторами, які відносяться до приладів періодичної дії. З їх допомогою можна зробити вимірювання концентрації в суміші газів наступних компонентів:

двоокису вуглецю - SO2 сірководень – Н2S

діоксид сірки - SO2 кисень - O2

оксид вуглецю – CO водень – H2 азот – N2.

При визначенні вмісту SO2, СO2 використовується розчин лугу (КОН – гідроксид калію), при цьому протікають реакції:



Похибка аналізованого методу значною мірою визначається похибкою вимірювання зміни обсягу, у зв'язку з чим початковий та залишковий обсяги проби газу повинні мати однакові температуру та тиск. Переважна більшість газоаналізаторів, що базуються на цьому принципі вимірювання, відносяться до лабораторних приладів, у яких відбір проби та інші операції виконуються вручну.

***До переваг об'ємного методу вимірювання концентрації газів відносяться:*** можливість виміру широкого кола компонентів газових сумішей шляхом підбору відповідних поглиначів або хімічних реакцій зв'язування; можливість аналізу багатокомпонентних газових сумішей; простота пристрою.

***Недоліками методу є:***низька точність аналізу (не вище 0,1 – 0,2 % від загального обсягу проби); періодичність дії; необхідність частої заміни реактивів; складність створення цьому принципі автоматичних приладів; громіздкість приладу через велику кількість елементів зі скла.

**Оптичні газоаналізатори**

В оптичних газоаналізаторах концентрація визначається компонента вимірюється по зміні оптичних властивостей газової суміші, до яких відносяться показники заломлення, спектрального поглинання та випромінювання, спектральна щільність і т.д. Найбільш поширеними є чотири групи оптичних газоаналізаторів: 1) інфрачервоного та ультрафіолетового поглинання; 2) спектрофотометричні; 3) фотоколориметричні; 4) люмінесцентні. Оптичні газоаналізатори мають велику роздільну здатність, завдяки чому вони застосовуються для аналізу мікроконцентрацій вибухонебезпечних і токсичних домішок у промислових газах, при контролі повітря в атмосфері та виробничих приміщеннях.

***Газоаналізатори інфрачервоного та ультрафіолетового поглинання.***

Кожен газ характеризується певним спектром поглинання. Спектр поглинання – залежність показника поглинання речовини від довжини хвилі (або частоти, хвильового числа, енергії кванта тощо) випромінювання. Він пов'язаний із енергетичними переходами в речовині. Для різних речовин спектри поглинання є різними. Гази, що містять у своєму складі два і більше різнорідних атомів, такі якмають спектри поглинання в інфрачервоній області. Одноатомні гази характеризуються лінійними спектрами поглинання, що лежать в ультрафіолетовій ділянці.

Для використання цього методу вимірювання необхідно, щоб компонент, що визначається, мав спектр поглинання, який відрізняється від спектрів поглинання інших компонентів аналізованої суміші.

Відповідно до основного закону світлопоглинання (законом Бугера - Ламберта - Бера) між поглинанням випромінювання розчином і концентрацією в ньому поглинаючої речовини є залежність

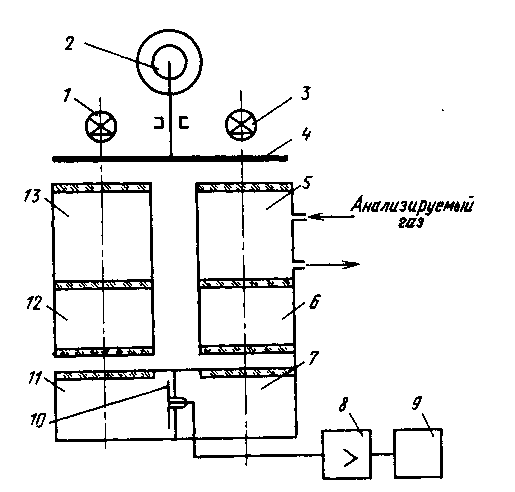
де- енергетична сила світла, що виходить із газу, Вт/ср;- енергетична сила світла інфрачервоного променя, що пропускається через шар газу, Вт/ср;- Коефіцієнт поглинання, характерний для даного газу і є функцією довжини хвилі;- Концентрація речовини, що поглинає світло, моль / л;- основа натурального логарифму;- Товщина поглинаючого шару, див.

Таким чином, при постійних значенняхступінь поглинання (або пропускання) газом інфрачервоної радіації є мірою концентрації.

Вимірювання потоку інфрачервоної радіації ґрунтується на наступному фізичному явищі. Якщо газ, здатний поглинати інфрачервоні промені, укласти в замкнутий об'єм і піддати впливу потоку інфрачервоної радіації, то за певний проміжок часу газ нагріється до певної температури, яка визначається умовами тепловіддачі. Одночасно відбувається відповідне підвищення тиску газу Р1 (рисунок).

При періодичному припиненні дії радіації тиск Р2 буде змінюватися, наприклад, відповідно до графіка на рис. 8.22,6. При перериванні з деякою частотою потоку радіації за допомогою обтюратора (пристрою із заслінкою, що перериває потік світла) газ, що знаходиться в замкнутому об'ємі, буде періодично нагріватися і охолоджуватися, в результаті чого виникнуть коливання температури і тиску газу. Коливання тиску Р3, що виникають, (рис. 8.22, в) можуть бути сприйняті чутливим елементом газоаналізатора.

Необхідна точність виміру ступеня поглинання інфрачервоної радіації досягається застосуванням диференціальної (двоканальної) схеми.

Функціональна схема двоканального оптикоакустичного газоаналізатора з безпосереднім відліком показана на наступному рисунку. Джерелами інфрачервоної радіації є ніхромові випромінювачі 1 та 3.

Потоки інфрачервоної радіації надходять у два оптичні канали. Обидва потоки по черзі перериваються з частотою 5 Гц обтюратором 4, що приводиться в обертання двигуном 2. У правому каналі потік переривчастої радіації проходить через робочу 5 і фільтрову камери 6 і надходить у правий лучеприемник 7 мірної камери.

У лівому каналі потік переривчастої радіації проходить порівняльну 13 і фільтрову камери 12 і надходить в лівий лучеприемник 11 мірної камери.

Через робочу камеру безперервно проходить аналізована газова суміш. Порівняльна камера заповнюється очищеним азотом чи повітрям. Фільтрові камери служать для зменшення впливу на показання газоаналізатора невимірюваних компонентів, присутніх в аналізованої суміші, і заповнюються газовими сумішами, що містять тільки невимірювані компоненти, концентрація якого визначається аналізованої суміші. Це забезпечує вибірковість аналізу, так як в обсязі мірної камери коливання температури та тиску газу виникатимуть тільки за рахунок поглинання інфрачервоної радіації, що відповідає спектру поглинання компонента, що визначається. При надходженні уривчастої радіації в правий і лівий променеприймачі мірної камери в них виникають коливання температури і тиску, які сприймаються конденсаторним мікрофоном 10, що знаходяться в мірній камері.

При рівності потоків радіації, що надходять у лучеприймачі, мембрана конденсаторного мікрофона, що сприймає суму тисків, що виникають у правому та лівому лучеприймачах, перебуватиме в спокої, тому що в цьому випадку коливання тиску в надмембранному обсязі не виникатиме. Якщо потік радіації, що надходить у правий лучеприемник, виявиться меншим (за рахунок поглинання в робочій камері частини радіації, що відповідає спектру поглинання визначається компонента), то надмембранному обсязі мірної камери з'явиться змінна складова тиску газу, значення якої залежатиме від ступеня поглинання радіації в робочій камери. Тому амплітуда коливань мембрани конденсаторного мікрофона залежатиме від концентрації визначеного компонента аналізованої суміші.

Коливання мембрани перетворюються мікрофоном змінну напругу, яке посилюється електронним підсилювачем 8, випрямляється синхронним детектором і подається на показуючий прилад 9. Таким чином, напруга, що вимірюється показуючим приладом, є мірою концентрації визначається компонента аналізованої газової суміші. Шкала показує градуйована у відсотках визначається компонента.

Більш досконалими є компенсаційні схеми, що будуються за принципами електричної, оптичної чи газової компенсації. Оптичні схеми компенсаційних газоаналізаторів, у принципі, не відрізняються від схеми з безпосереднім відліком.

Газоаналітичний перетворювач побудований за диференціальною оптичною схемою з позитивною фільтрацією.

Джерелами інфрачервоного випромінювання є два коаксіальні випромінювачі, в яких розігріваються стабілізованим постійним струмом ніхромні нитки поміщені в трубчасті оболонки з нержавіючої сталі. Робоча температура випромінюючих оболонок становить 600...700 °З.

Випромінені потоки інфрачервоної енергії надходять у два оптичних канали. Обидва потоки послідовно перериваються діафрагмою з частотою 6,25 Гц. Діафрагма обертається синхронним двигуном. У правому каналі потік випромінювання проходить послідовно фільтрову та робочу камеру і надходить у циліндр приймача інфрачервоного випромінювання. У лівому каналі потік випромінювання проходить послідовно через фільтрову та порівняльну камери і надходить у лівий лучеприемний циліндр приймача інфрачервоного випромінювання.

Через робочу камеру проходить вимірюваний газ, а порівняльна камера заповнена непоглинаючим інфрачервону енергію газом (азотом).

Приймач інфрачервоного випромінювання заповнений сумішшю вимірюваного газу з аргоном, що забезпечує вибірковість аналізу.

Коливання температури та тиску, що виникають у газі, що заповнює приймач інфрачервоного випромінювання, при опроміненні його уривчастими потоками випромінювання сприймаються конденсаторним мікрофоном. При цьому коливання тиску в правому лучеприемном циліндрі зсунуті за часом щодо коливань в лівому лучеприемном циліндрі на половину періоду частоти обертання діафрагми.

Якщо потоки інфрачервоного випромінювання, що надходять у променеприймальні циліндри, рівні, тобто в аналізованому газі не міститься вимірюваного компонента, то мембрана конденсаторного мікрофона, що сприймає суму тисків, що виникають правом і лівому циліндрах, буде перебувати в спокої.

Якщо потік випромінювання, що приходить у правий випромінювач випромінювання, виявиться меншим (за рахунок поглинання частини енергії випромінювання у вимірювальній камері, що відповідає спектру поглинання вимірюваного компонента), то в мембранному об'ємі приймача інфрачервоного випромінювання з'явиться змінна складова тиску газу, значення якої буде залежати від ступеня випромінювання у робочій камері.

Амплітуда коливань мембрани конденсаторного мікрофона, що виникають, буде залежати від концентрації вимірюваного компонента в аналізованому газі.

Коливання мембрани перетворюються конденсаторним мікрофоном в змінну напругу, яка надходить на вхід підсилювача, що володіє високим вхідним опором, і далі блок обробки сигналу, потім на пристрій реєстрації (самописець).

Для зменшення впливу на показання перетворювача газоаналізатора заважають компонентів аналізованого газу, спектри поглинання яких частково збігаються зі спектром поглинання вимірюваного газу, фільтрові камери заповнюються сумішшю газів, що заважають.

До складу газоаналізатора входять:

- Пробовідбірний пристрій;

– блок аналізатора;

- Блок обробки інформації;

- блок керування.

Проба газу для аналізу відбирається в газоході за допомогою пробовідбірника, в якому проводиться груба очищення від пилу, і подається до приладу з мінімальним запізненням по лініях, що обігріваються для запобігання конденсації вологи та спотворення проби. Видалення з проби парів води з охолодженням до 2 °С і фільтрація з тонким очищенням від пилу здійснюються у двох послідовно включених блоках пробопідготовки, між якими поміщений мембранний спонукач витрати. У другому блоці є байпасна лінія з витратоміром.

Блок управління, що входить до складу газоаналізатора, при роботі в автоматичному режимі періодично (1 раз на добу) видає сигнали на проведення калібрування нуля шкали (за допомогою комутатора підключається балон з перевірочною, еталонною газовою сумішшю).

**Магнітні газоаналізатори**

У магнітних газоаналізаторах, що належать до аналізаторів бінарних сумішей, концентрація визначається компонента вимірюється зміни магнітних властивостей газової суміші. Гази з їхньої магнітної сприйнятливості діляться на парамагнітні, що втягуються в магнітне поле, і діамагнітні, що виштовхуються з нього. Найбільшу магнітну сприйнятливість має кисень, що відноситься до парамагнітних газів.

Таким чином, магнітні властивості газової суміші визначаються концентрацією кисню, оскількиі, що є продуктами високотемпературних окисних реакцій, зустрічаються рідко й у малих концентраціях.

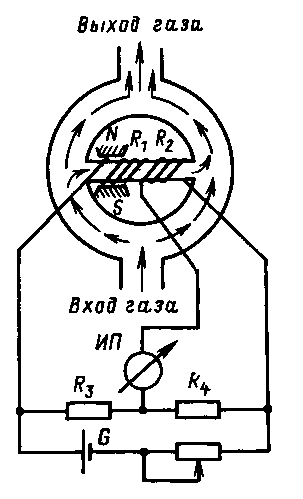




Магнітна сприйнятливість кисню залежить від тиску і знижується зі зростанням температури пропорційно. Магнітна сприйнятливість суміші газу визначається як сума творів магнітної сприйнятливості окремих компонентів на їхню відносну об'ємну концентрацію:

Дуже важко безпосередньо виміряти магнітну сприйнятливість газової суміші через її малого абсолютного значення, тому виміри виробляються непрямими методами, що ґрунтуються на різних фізичних явищах. У побудові промислових автоматичних аналізаторів переважно використовується термомагнітний метод вимірювання магнітної сприйнятливості.

Якщо нагріте тіло внести в неоднорідне магнітне поле, навколо нього виникає потік парамагнітного газу. На цьому принципі ґрунтується дія термомагнітних газоаналізаторів.

Принцип дії термомагнітних газоаналізаторів ґрунтується на явищі виникнення потоку парамагнітного газу, що оточує нагріте тіло, внесене у неоднорідне магнітне поле.

На рис наведено важливу електричну схему приймача термомагнітного газоаналізатора на кисень. Датчик газоаналізатора виконаний у вигляді кільцевої камери з поперечною перемичкою зі скляної трубки. На поперечній трубці розташовані нагрівальні обмотки (спіралі) R1 та R2 з тонкого платинового дроту. Обидві ці обмотки включені до схеми моста постійного струму і нагріваються від джерела G до температури 200 -250 °С. Одна із обмоток розташована між полюсами постійного магніту.

За відсутності кисню в аналізованій газовій суміші тиск на обох кінцях вимірювальної трубки однаковий і потоку газу через неї немає. Температура, отже, і опір секцій спіралі однакові. На виході бруківки напруга відсутня.

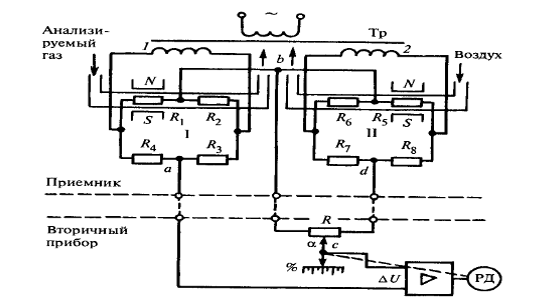
З появою аналізованої суміші кисню суміш стає парамагнитной і під впливом магнітного поля втягується в поперечну трубку. У трубці порція газу нагрівається, частково втрачає свої парамагнітні властивості і виштовхується з магнітного поля холоднішим парамагнітним газом. Внаслідок цього в трубці виникає безперервний потік газу, спрямований у бік падіння напруженості магнітного поля. Швидкість потоку залежить від відсоткового вмісту кисню у суміші. Цей потік називається термомагнітної конвекції і викликає зміну температури секцій спіралі, що призводить до розбалансу мостової схеми. Розбаланс, що вимірюється приладом ІП, є мірою концентрації кисню в аналізованій суміші

Вихідний сигнал вимірювальної схеми з кільцевою камерою залежить від нахилу трубки, температури аналізованого газу та атмосферного тиску. У приладах із кільцевою камерою зазвичай стабілізуються:

температура аналізованого газу та внутрішнього об'єму корпусу датчика з точністю до ±0,5 °С;

напруга струму живлення вимірювального моста;

витрати аналізованого газу через датчик. Для зменшення впливу зміни атмосферного тиску на показання приладу деяких модифікаціях приладів кут нахилу вимірювальної трубки датчика вибирається з таким розрахунком, щоб потік термомагнітної конвекції компенсувався потоком теплової конвекції при концентраціях кисню, відповідних середині або 2/3 шкали.

У газоаналізаторах МН використовується двомостова вимірювальна схема. У первинному перетворювачі (приймачі) розміщені два мости, що живляться від вторинних обмоток 1, 2 силового трансформатора Тр. Міст 1 є робочим, його резистори R1 R2 є платиновими чутливими елементами із зовнішнім теплообміном, омиваються аналізованим газом. Резистор R1 знаходиться в неоднорідному магнітному полі, R2 між полюсами хибного магніту (мідного блоку). Резистори R3, R4 є постійними та виконані з манганінового дроту.

За наявності кисню у суміші газів міст I працює у нерівноважному режимі та напруга у вимірювальній діагоналі Uab залежить від концентрації кисню. Для перевірки початкової точки шкали вторинного приладу приймач забезпечує металевий шунт. При його опусканні знімається магнітне поле, резистори R1 і R2 потрапляють в однакові умови і міст I має бути врівноваженим. У схему моста включений не показаний на схемі змінний резистор початкового балансування, аналогічний резистору R0.

Міст ІІ є мостом порівняння. Його плечі R5 і R6, виконані з платинового дроту, омиваються повітрям, причому R6, як і R2, знаходиться між полюсами помилкового магніту. Резистори R7 і R8 виконані подібно до R3 і R4 з манганинового дроту. Оскільки концентрація кисню повітря є стабільною, міст II розвиває постійний сигнал небалансу Ubd. Коливання Ubd обумовлені лише відхиленнями напруги живлення, температури та тиску навколишнього середовища.

Для вимірювання сигала робочого моста використовується компенсаційний метод, причому сигналом компенсації служить частка напруги небалансу моста порівняння Ubd, що знімається з реохорду, Ubc = α\*Ubd, де α змінюється від 0 до 1. У газоаналізаторах з двомістовою вимірювальною схемою середовища на показання приладу менше, ніж у приладах з одномостовою вимірювальною схемою. Це пояснюється одночасним впливом перерахованих факторів на сигнали робочого та порівняльного мостів.

Кисневиміри типу МН мають при нульовій нижній межі вимірювання верхні від 1 до 100%, при цьому межа наведеної похибки залежить від діапазону вимірювання і знаходиться в межах від ±2 до ±10% нормуючого значення. Остання цифра відповідає мінімальному діапазону вимірювання. Кисневиміри МН можуть мати безнульову шкалу з межами виміру 50...100% 02, 80..Л00% 02 Час встановлення вихідного сигналу знаходиться в межах 0,5... 1,5 хв.

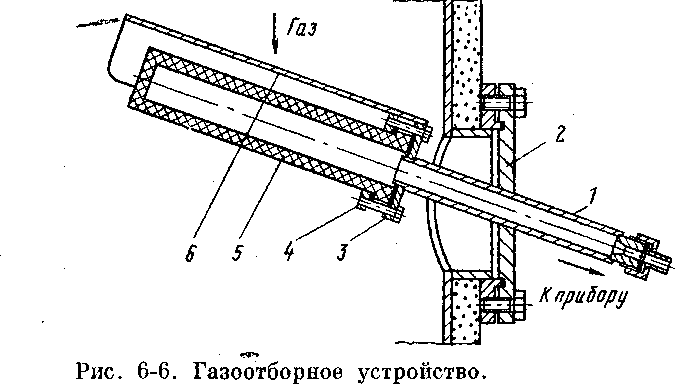
Кисневиміри типу МН-5106 мають межі виміру 0 – 10 %при граничній похибці виміру 0,25 %. Кисневиміри МН можуть мати безнульову шкалу з межами виміру 50 – 100 %, 80 - 100%. Час встановлення вихідного сигналу в межах 0,5 – 1,5 хв.

Завдяки різкій відмінності магнітної сприйнятливості кисню від сприйнятливості інших газів не потрібно попереднього видалення невизначених компонентів. Тим не менш, з метою захисту чутливих елементів установка газоаналізатора повинна включати фільтр для очищення проби від сірчистого газу, якщо останній міститься в ній.

Установка термомагнітних газоаналізаторів

При встановленні газоаналізатора велике значення має правильний вибір місця для відбору проби димових газів, яка має найповніше характеризувати середній їх склад.

Відбір проби проводиться газовідбірним пристроєм (малюнок), що складається із сталевої газовідбірної трубки 1 діаметром 15-20 мм, привареної під кутом 20-25 ° (для стоку конденсату) до фланця 2, щільно приєднаного з прокладкою до патрубка газохода. На верхньому кінці трубки за допомогою фланців 3 і 4 закріплений пористий керамічний фільтр 5, з сталевим захисним - козирком 6. Протилежний кінець трубки приєднується накидною гайкою до лінії, що підводить газ до газоаналізатора.

Керамічний фільтр у вигляді склянки служить для первинного очищення відбирається для аналізу газу від механічних домішок (золи і сажі), вміст яких може досягати 20 г/м3. Від швидкого забруднення фільтр захищає захисний козирок, встановлений назустріч потоку газу.

Кінець газовідбірної трубки з керамічним фільтром розташовують по можливості всередині потоку в місцях, де немає завихрень і застійних зон. Неприпустимо поміщати трубку поблизу місць можливого підсмоктування повітря (люків, заслінок, нещільностей обмуровки).

Газовідбірна трубка встановлюється далеко від місцевих обурень потоку, що викликаються різними опорами (поворотом газоходу, заслінкою, шибером тощо). Найбільш сприятливою є її установка на прямих вертикальних ділянках газоходу з низхідним потоком, а також у вузьких місцях тракту, де краще перемішування газу. При встановленні газовідбірної трубки на горизонтальних ділянках кінець її розташовують ближче до верхньої частини газоходу, де швидкість руху нагрітого газу вища.

Температура газу в місці відбору проби має бути в межах 200-600°С. При температурі нижче 200°С можливе забруднення поверхні керамічного фільтра незгорілими продуктами (смолами), що конденсуються на ній. При температурі вище 600°С з'являється небезпека руйнування газовідбірної трубки та відновлення С02 СО і 02.

Сполучна газопідвідна трубка виконується з молібденової сталі і прокладається з ухилом 0,1 - 0,2 у бік зливної судини, розташованої в нижній точці установки.

Для зменшення запізнювання показань первинний перетворювач газоаналізатора слід встановлювати якомога ближче до місця відбору проби, а внутрішній діаметр газопідвідної трубки повинен бути не більше 8 мм.

Температура газу при надходженні приладу не повинна перевищувати 35°С.

**Теплові газоаналізатори**

У теплових газоаналізаторах вимірювання концентрації визначається компонента проводиться шляхом вимірювання теплових властивостей газової суміші, що залежать від концентрації компонента, що визначається. Найбільш поширеними приладами цього типу є газоаналізатори, засновані на вимірі теплопровідності суміші (термокондуктометричні) і теплоти, що виділяється при реакції каталітичного окиснення компонента, що визначається (термохімічні). Представники цих груп приладів, як правило, є автоматичними пристроями, що працюють у складі інформаційно-вимірювальних та керуючих систем. Теплові газоаналізатори призначені для безперервного аналізу складу бінарних сумішей.

**Термокондуктометричні газоаналізатори.**

Термокондуктометричний метод аналізу газів заснований на використанні залежності теплопровідності аналізованої газової суміші від вмісту в ній аналізованого компонента, теплопровідність якого повинна значно перевищувати теплопровідність будь-якого іншого компонента суміші:



детеплопровідність суміші;- Концентрація визначається компонента;

* - Теплопровідність суміші невимірюваних компонентів;- Теплопровідність обумовленого компонента.

Теплопровідність газу практично залежить від його тиску, але залежить від температури. Ця залежність характеризується рівнянням



де- температура газу, К;- теплопровідність газу при- температурний коефіцієнт теплопровідності.

У таблиці наведено теплопровідність різних газів при температурах 100 і 500 С, віднесених до теплопровідності повітря. Аналіз даних показує, що при температурі 100 °С теплопровідності таких газів як Н2, СО2, SO2, CH4, Ar, He відрізняються від теплопровідності повітря. Зі зростанням температури теплопровідність СО2 зростає до 1, а СН4 – до 2,13.

Як чутливий елемент у термокондуктометричних газоаналізаторах використовується платинова дріт, що поміщається в досліджувану газову суміш і нагрівається електричним струмом. Зміна концентрації вимірюваного компонента суміші змінює теплопровідність суміші, що призводить до зміни тепловіддачі від дроту і, отже, зміни її температури і опору. Таким чином, по опору платинового дроту можна будувати висновки про концентрації водню в аналізованої газової суміші.

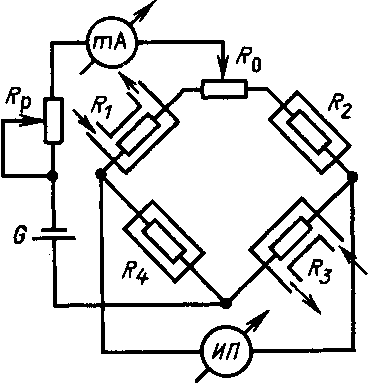
У системі СІ за одиницю вимірювання теплопровідності приймається ват на метр-кельвін або ват на метр-градус Цельсія, причому

Температурним коефіцієнтом теплопровідності речовини називається величина, що показує, скільки теплоти передається за одиницю часу через одиничну площу куба речовини товщиною в одиницю довжини при різниці температур поверхонь стінок 1°.

Для багатокомпонентних газових сумішей залежність сумарної теплопровідності від концентрації компонентів визначається неоднозначно, тому використовувати метод вимірювання теплопровідності для аналізу трьох-і багатокомпонентних газових сумішей можна лише за умови сталості співвідношення концентрацій компонентів суміші.

У термокондуктометричних приладах застосовується спосіб відносного вимірювання шляхом порівнювання теплопровідності аналізованої газової суміші з еталонною теплопровідністю суміші постійного складу.

Для вимірювання відносної теплопровідності застосовується бруківка, яку ми зараз зобразимо. Плечами мосту є дротяні резистори, виконані з провідника з великим температурним коефіцієнтом опору. Резистори нагріваються струмом від джерела напруги G, що живить бруківку. Струм живильної діагоналі моста встановлюють по міліамперметру за допомогою регульованого резистора Rp.



Принципова електрична схема вимірювального моста постійного струму термокондуктометричного газоаналізатора

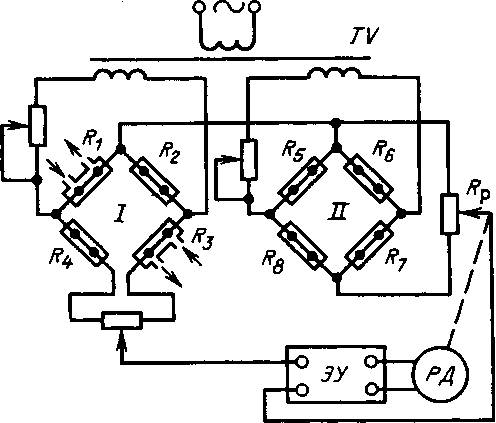
Резисториіпоміщені в спеціальні вимірювальні камери, через які пропускають аналізовану суміш; два інших резисторизнаходяться в камерах, заповнених порівняльним газом, як який використовується повітря. Резисторомсхему балансують таким чином, що при концентрації аналізованого компонента аналізованої суміші, що відповідає початку шкали приладу, у вимірювальній діагоналі напруга відсутня.

При зміні концентрації визначається компонента в аналізованій суміші змінюється її теплопровідність, внаслідок чого змінюється тепловіддача, а отже, і температура резисторіві

Зміна температури веде до зміни опорів. Оскільки резисториівключені в протилежні діагоналі моста, зміна їх опорів порушує баланс моста. Розбаланс моста вимірюється вторинним приладом ІП, шкала якого градуйована безпосередньо у відсотках аналізованого компонента.

Показання приладу, заснованого на схемі неврівноваженого моста, залежать від температури навколишнього середовища та від зміни напруги живлення, стабільності подачі газу. Для усунення впливу коливань температури навколишнього середовища блок датчика термостат. Струм живлення необхідно періодично контролювати і при відхиленні від встановленого значення – регулювати. Постійну витрату газу можна забезпечити ротаметром.

Більш сучасні газоаналізатори використовують двомостову схему:



Компенсаційна вимірювальна схема змінного струму

Схема складається із двох мостів: вимірювальногота порівняльногоМости живляться від різних обмоток одного трансформатора ТУ. Чутливі елементи робочого мостуізнаходяться у відкритих скляних ампулах і омиваються аналізованою газовою сумішшю. Елементи плеча,робочого мосту та,порівняльного мосту знаходяться у запаяних скляних ампулах, заповнених газовою сумішшю з вмістом аналізованого компонента, що відповідає початку шкали приладу. Елементиіпорівняльного моста запаяні в ампулах, заповнених газовою сумішшю із вмістом аналізованого компонента, що відповідає кінцю шкали. Напруга, що знімається з вимірювальної діагоналі робочого моста, залежить від вмісту компонента, що визначається, в аналізованої суміші. Напруга в діагоналі порівняльного мосту постійно визначається діапазоном вимірювання концентрації компонента.

У положенні рівноваги, коли напруга, що знімається від регульованого резистораі напруги, що виникає в діагоналі моста, напруга на вході підсилювача дорівнює нулю. При порушенні рівноваги схеми через зміну напруги у вимірювальній діагоналі робочого моста при зміні концентрації визначається компонента аналізованої суміші на вході підсилювачавторинного приладу утворюється напруга. Ця напруга подається після посилення на реверсивний двигун РД, який переміщує рухомий контакт регульованого резистора у напрямку відновлення рівновагисхеми. Пов'язана з рухомим контактом регульованого резистора стрілка вторинного приладу встановлюється в момент рівноваги на розподілі шкали, що відповідає змісту аналізованого компонента. Так як напруги робочого та порівняльного мостів змінюються однаково при змінах напруги живлення мосту та температури навколишнього середовища, то показання газоаналізатора не залежать від зазначених факторів.

***Термохімічні газоаналізатори***

У термохімічних газоаналізаторах концентрація визначається компонента вимірюється за кількістю теплоти, що виділилася при реакції каталітичного окиснення. До визначених за цим методом газів входять.

Термохімічні газоаналізатори поділяються на дві групи. У першій групі, що має нижчу чутливість, реакція окиснення відбувається на поверхні нагрітої нитки платинової, що грає роль каталізатора. Температура платинової нитки, а отже, і її опір змінюються зі зміною кількості теплоти, що виділилася при окисленні компонента, що визначається.

Газоаналізатори першої групи в основному використовуються як індикатори і сигналізатори вибухонебезпечних концентрацій газів і виконуються в переносному варіанті, до них відносяться сигналізатори СГГ, що вимірюють концентраціюв повітрі.

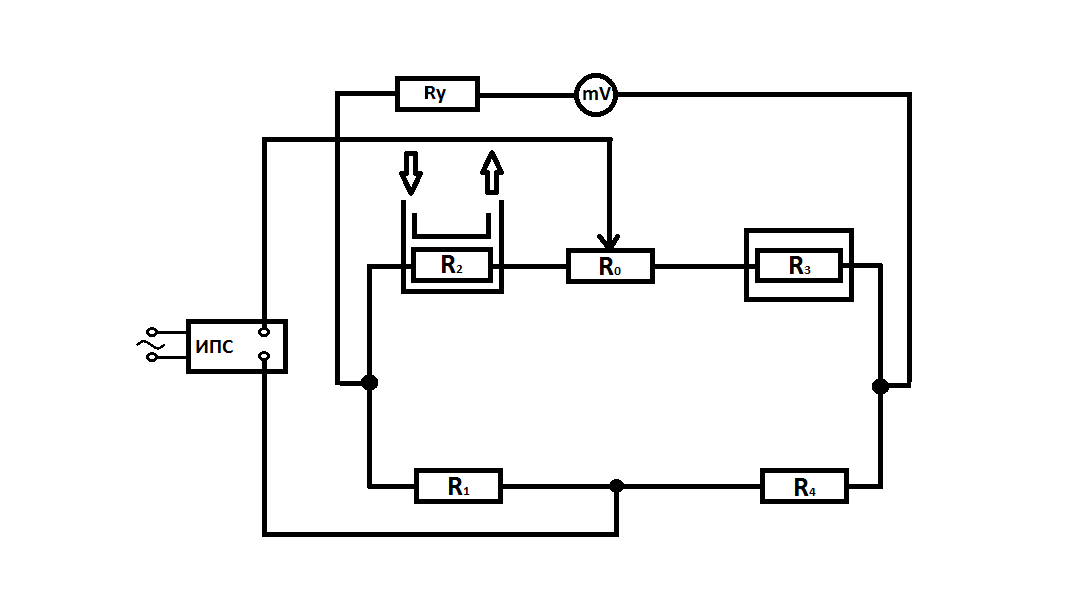
У термохімічних газоаналізаторах другої групи реакція окислення визначуваного компонента протікає на поверхні гранульованого каталізатора, як часто використовується гопкаліт (60 % двоокису марганцю і 40 % окису міді). Наявність розвиненої поверхні каталізатора забезпечує можливість вимірювання концентрацій визначається компонента, що становлять частки відсотка. Кількість теплоти, що виділилася при спалюванні, вимірюється платиновим термометром опору або батареєю термопар.

Газоаналізатори другого типу є інерційнішими, час встановлення їх показань досягає 5 хв, гранична похибка становить 5 – 7 %.

Мостова вимірювальна схема термохімічного газоаналізатора показана на рис.

Плечі неврівноваженого мосту приймального перетворювача R2 і R3, що є відповідно робочим та порівняльним чутливими елементами, виготовлені з тонкого платинового дроту.

Робочий чутливий елемент R2 на поверхні якого відбувається каталітичне горіння компонента, що визначається, поміщений в камеру. Через цю камеру безперервно протікає аналізований газ. Порівняльний чутливий елемент аналогічний пристрою робочому, поміщений в герметично закриту камеру, заповнену повітрям. Плечі мосту R1 та R4 виконані з манганинового дроту.



Робочий і порівняльний чутливі елементи нагріваються до певної температури (не менше 200 400 ºС залежно від каталізатора та компонента, що визначається) постійним струмом.

Невеликі коливання напруги живлення та температури повітря, що оточує приймальний перетворювач, практично не викликають зміни показань газоаналізатора.

У робочій камері горіння в присутності каталізатора відбувається за рахунок вільного кисню в газі, що аналізується, або за рахунок додатково надходить через спеціальне сопло камери повітря в кількості близько 30% загального обсягу аналізованого газу. Завдяки виділенню тепла при згорянні визначається компонента зростає температура чутливого елемента R 2, отже, і його опір, внаслідок чого рівновага мосту порушується. Різниця потенціалів, що виникла при цьому на вершинах моста, буде пропорційна кількості тепла, що виділилося, а отже, і змісту визначається компонента в аналізованому газі. Це дає можливість градуювати шкалу мілівольтметра безпосередньо у відсотках за обсягом СО, СО + Н2 | або СН4.

Для корекції нуля газоаналізатора служить резистор R0, що регулюється. У момент перевірки нуля чутливі елементи R2 та R3 омиваються повітрям.

Хроматографічний метод аналізу складу газів.

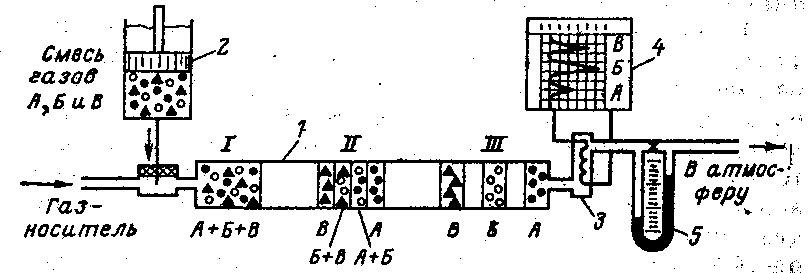
Хроматографічні газоаналізатори призначені для аналізу багатокомпонентних газових сумішей. В останні роки ці прилади стали застосовуватися для аналізу складу рідин та твердих тіл. Хроматографи є приладами періодичної дії, складнішими за пристроєм, ніж інші газоаналізатори. В даний час за можливостями поділу та аналізу багатокомпонентних сумішей хроматографія не має конкуруючих методів. Хроматографію можна використовувати для аналізу низькокиплячих газів, сумішей летких та термічно стійких твердих та рідких речовин, температура кипіння яких досягає 500 °С та вище. До переваг цього методу відноситься також висока чутливість (що досягає при використанні іонізаційних детекторів 10-8 – 10-9 мг/мл) у поєднанні з малим обсягом відбирається проби,

Хроматографічне поділ суміші на окремі компоненти, відкрите в 1903 М.С. Кольором здійснюється за рахунок різної швидкості руху газів вздовж шару адсорбенту, обумовленої характером зовнішніх і внутрішніх міжмолекулярних взаємодій.

X р о м а т о г р а ф і чеські газоаналізатори служать для визначення вмісту в димових газах як горючих компонентівщо характеризують хімічну неповне згоряння палива, а також негорючих компонентівДія цих приладів заснована на адсорбційному способі поділу проби газової суміші при пропусканні її спільно з потоком допоміжного газу (газу-носія) через шар пористої речовини (адсорбенту) і подальшому почерговому вимірі вмісту кожного компонента, що виділився електричним методом.

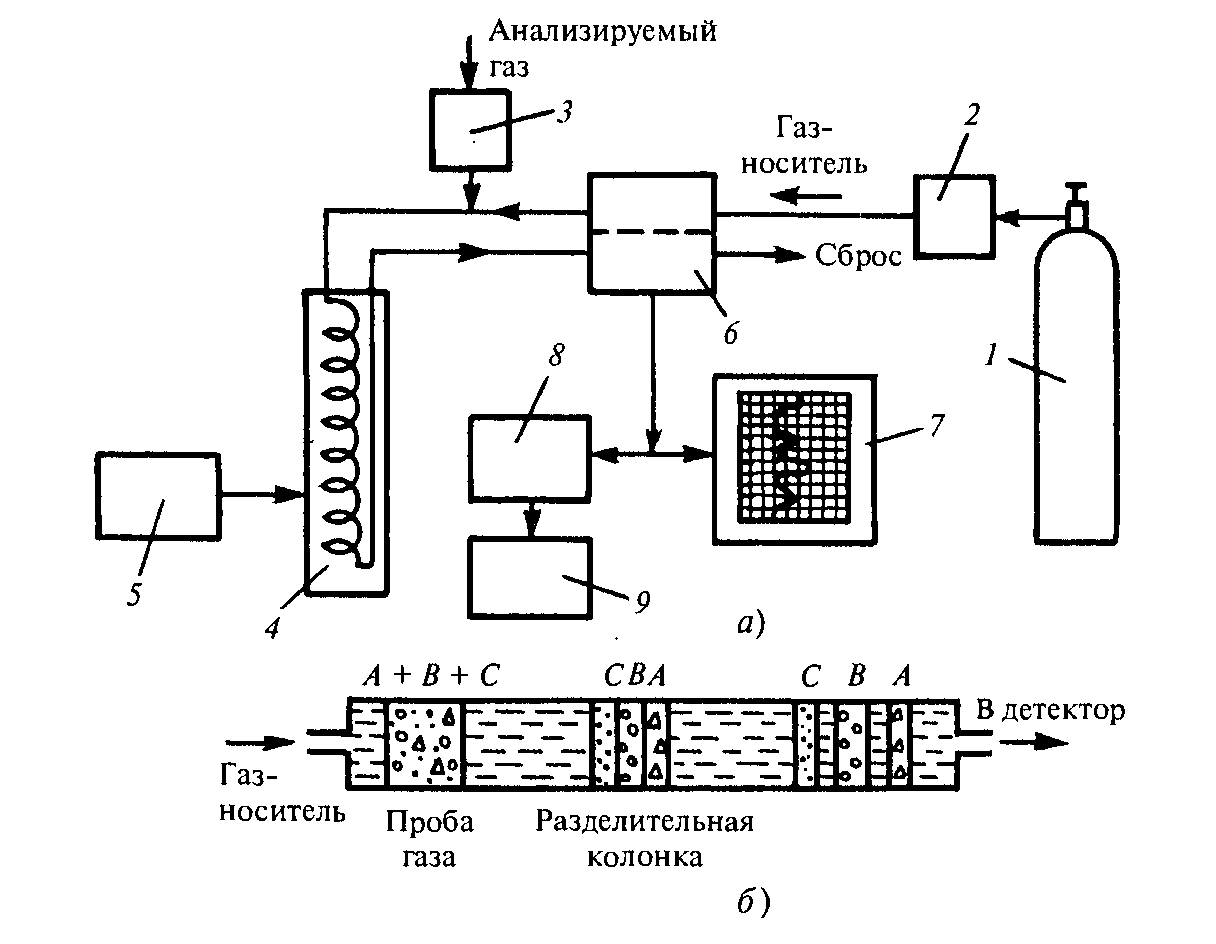
***Адсорбцією називається процес згущення та ущільнення газу або пари на поверхні твердого або рідкого тіла (адсорбенту).***

Зобразимо важливу схему хроматографічного газоаналізатора.



У розділову колонку 1, заповнену пористим твердим адсорбентом з великою активною поверхнею, безперервно надходить газ-носій. Перед колонкою в його потік дозатором 2 періодично вводиться проба досліджуваної газової суміші, що містить наприклад компоненти А, Б і В, що володіють різними адсорбційними властивостями. При взаємодії цих газів з адсорбентом відбувається виділення їх в окремі зони бінарних сумішей з газом-носієм, що рухаються з різними швидкостями. (стан II), який завершується в кінці колонки остаточним поділом зон, роз'єднаних чистим газом-носієм (стан III).

Вздовж шару сорбенту з більшою швидкістю рухаються найменш сорбовані гази. Першим залишає розділову колонку газ А, що володіє найменшою адсорбційною здатністю, у зв'язку з чим він раніше відокремлюється від поверхні адсорбенту, а останнім газ, найбільш добре адсорбується.



1 – балон

2 – регулятор витрати

3 – дозатор

4 – розділова колонка

5 – терморегулятор

6 – детектор

7 – реєструючий прилад

8, 9 – мікропроцесорний та цифродрукарський пристрій

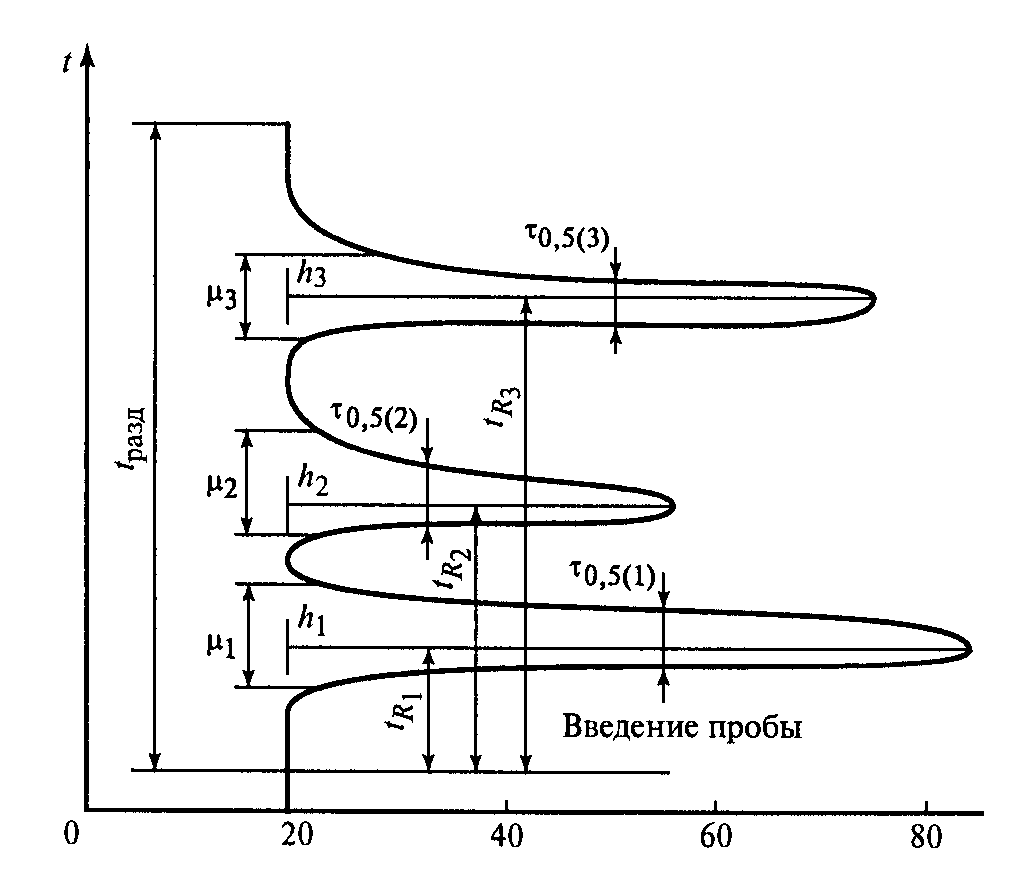
Принципова схема:з балона 1 газ-носій надходить у хроматограф. Для підтримки в процесі роботи постійної швидкості газу-носія використовується регулятор 2 містить редуктор, манометр і вимірювач витрати газу.

У газ-носій дозатором 3 періодично вводиться проба аналізованого газу. У розділовій колонці 4, заповненої твердим або рідким сорбентом, аналізована суміш поділяється на компоненти, після чого кожен компонент з газом-носієм утворює бінарну суміш, аналіз якої може бути проведений різними методами, що реалізуються в детекторі 6.

Для поліпшення поділу компонентів темп режим колонки може змінюватися за допомогою терморегулятора 5с програмним управлінням.

Вихідний сигнал детектора 6 подається на реєструючий прилад 7 мікропроцесорний пристрій 8 і цифродрук. Пристрій 9.

На діаграмі 7 вихід кожного компонента супроводжується піком, площа якого залежить від концентрації цього газу –*хроматограми.*



На результат вимірювання хроматографом впливають велика кількість взаємозалежних параметрів:

1) довжина, матеріал, форма стовпчика. природа сорбенту, його пористість, температурний режим колонки;

2) пов'язаних з газом-носієм: природа та наявність домішок, швидкість та тиск;

3) стабільність уведення проби;

4) чутливість, інерційність, стабільність детектора;

5) обумовлених способом реєстрації вихідного сигналу детектора та методу обробки хроматограми.

Дозатор. Дозування проби газу в розділову колонку необхідно здійснювати з високою точністю і відтворюваністю. Досвідченим шляхом для кожної колонки встановлюють значення макс об'єму проби, при якому досягається необхідний ефект поділу компонентів. 05-20 см3. Автоматично діє дозатори з зворотно-поступальним рухом штока.

Розділова колонка:

Трубки з двн = 3-8 мм із хімічно стійких матеріалів, боросилікатне скло, нерж. сталь, мідь, фторопластів. За формою Уі В-подібні, спіральні та у вигляді незамкнутого кільця. Довжина від 0,5 – кілька метрів. Змінюючи довжину колонки змінюють її розділить здатність.



Дуже відповідальною частиною хроматографічного газоаналізатора є його детектор, від якості роботи якого значною мірою залежать результати вимірів.

Застосовуються два види газової хроматографії - газоадсорбційна та газорідинна. У першому випадку поділ газової суміші ґрунтується на відмінності адсорбційних властивостей її компонентів і виробляється, як говорилося раніше у колонці, заповненій твердим пористим адсорбентом. У другому випадку процес поділу суміші пов'язаний з розподілом її компонентів по зонах завдяки різній розчинності окремих газів у рідині (розчиннику), рівномірно нанесеної на тверде інертне тіло, що заповнює колонку. Газорідинна хроматографія дозволяє легко розділяти висококиплячі речовини, до яких належать вуглеводні: етилен (С2Н4), етан (С2Н6) та ін, а також може застосовуватися для аналізу суміші рідких речовин.

У теплоенергетиці для аналізу димових газів використовуються хроматографічні газоаналізатори, що ґрунтуються на газоадсорбційному методі вимірювань. Як газоносій при визначенні горючих компонентів служить повітря, а негорючих — інертні гази (аргон, азот та ін.). Серед адсорбентів для заповнення розділових колонок зазвичай застосовуються дрібне активоване деревне вугілля з розмірами частинок 0,2-0,5 мм, зернистий силікагель і молекулярні (кристалічні) сита. Перші два адсорбенти використовуються для поділу газових сумішей, що складаються з Н2, СО, СН4 та С02, а останній – для повного поділу О2 та N2.

\* Активоване вугілля отримують шляхом видалення з вугілля-сирцю смолистих речовин та часткового прожарювання його при високій температурі під впливом окисних речовин (Н20: і СО2).

**Електричні газоаналізатори**

В електричних газоаналізаторах концентрація того чи іншого компонента визначається за зміною електричних властивостей газової суміші або рідини, з якою прореагував компонент, що визначається. Для аналізу газів найчастіше використовуються електрохімічні, амперометричні (вольтамперметричні), кулонометричні.

**Електрохімічні**

– газоаналізатори, що мають простий пристрій, не вимагають відбору проби димових газів та її попередньої підготовки (очищення та охолодження), оскільки їх чутливий елемент встановлюється безпосередньо у газоході котлоагрегату. Відсутність пристроїв для транспортування та підготовки проби газу значно знижує інерційність приладу та виключає можливі спотворення результатів вимірювань за повітряної нещільності системи.

Принцип дії електрохімічного газоаналізатора заснований на використанні властивостей високотемпературного гальванічного осередку, що володіє кисненої провідністю і є чутливим елементом приладу. Осередок складається з твердого електроліту, в якості якого застосовується двоокис цирконію (ZrО2), стабілізована домішкою окису ітрію (Y2О3), та двох закріплених на електроліті з протилежних сторін платинових (Pt) електродів. Один електрод (негативний) омивається атмосферним повітрям (В), що виконує роль порівняльного газу, що має практично постійний і відомий парціальний тиск рк′ О2, що міститься в ньому, а другий електрод (позитивний) - потоком димових газів (Г) з парціальним тиском рк″ що знаходиться у них О2.

Скорочено структура гальванічного осередку газоаналізатора при рк '> рк' може бути представлена ​​у вигляді

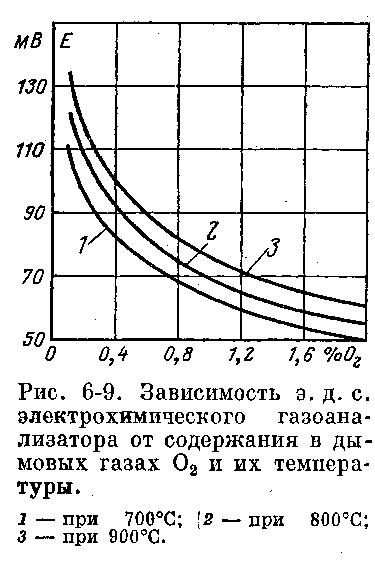


Будучи поміщена в газохід, гальванічний осередок розвиває е. д. с., що залежить від температури газів і парціального тиску кисню, що міститься в них.

Киснева провідність осередку практично зберігається в діапазоні температур 700-1200 ° С і парціальному тиску О2 в межах 0,1-0,1 \* 10-22 МПа.

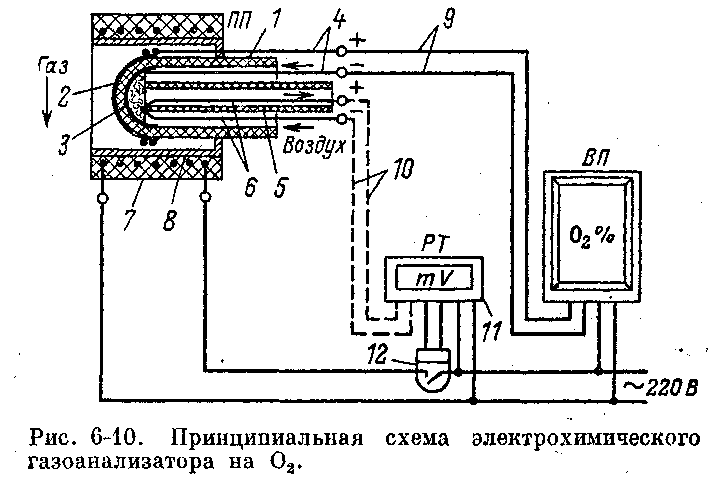
Розвивається гальванічним осередком з твердим електролітом е. д. с. Е визначається в діапазоні вказаних температур за рівнянням Нернста

Для випадку, коли порівняльним газом є атмосферне повітря, це рівняння набуває вигляду:

Так як парціальний тиск О2 в димових газах пропорційно об'ємного вмісту цього газу, то з рівняння (6-5) слід, що для визначення вмісту О2 газової суміші необхідно виміряти е. д. с. гальванічного осередку та її температуру. Побудований за цим рівнянням графік представлений на рис. 6-9, виражає залежність комірки е., що розвивається. д. с. Е від температури та об'ємного вмісту О2 у відсотках у димових газах.

Для гальванічного осередку газоаналізатора рекомендується постійна температура 800°С, підтримка якої здійснюється спеціальним електронагрівачем з терморегулятором.

Прилад містить первинний перетворювач ПП, вторинний прилад ВП та регулятор температури РТ. Чутливий елемент перетворювача (гальванічна осередок) складається з твердого електроліту 1, виконаного у вигляді пробірки з двоокису цирконію і окису натрію, і платинових електродів 2 і 5, нанесених на зовнішню та внутрішню поверхні електроліту.



Висновками електродів служать платинові дроти 4, причому для контакту із зовнішнім електродом дріт охоплює його декількома витками, а з внутрішнім - притискається до нього у вигляді пучка керамічною трубкою 5. Зовнішній електрод осередку омивається димовими газами, а внутрішній - атмосферним повітрям ( для контролю за температурою осередку всередину поміщений термоелектричний термометр 6 типу ТХА. Осередок обігрівається електронагрівачем 7, що підтримує постійну температуру 800°С. Патрубок 8 перетворювача приєднується до шунтової труби котлоагрегату.

Виробляється перетворювачем е. д. с. вимірюється вторинним приладом ВП зі шкалою, градуйованою у відсотках вмісту О2 у димових газах. Як вторинний прилад газоаналізатора застосовується автоматичний показує і самописний потенціометр типу КСП, підключений сполучною лінією 9 до затискачів перетворювача.

Регулювання температури чутливого елемента перетворювача проводиться за допомогою термоелектричного термометра 6, пов'язаного подовжують дроти 10 з двопозиційним автоматичним регулятором температури РТ. Останній складається з регулюючого приладу 11 і проміжного електромагнітного реле 12, керуючих роботою електронагрівача 7. Регулюючим приладом служить магнітоелектричний мілівольтметр типу МР-64-02, що показує і регулює, або автоматичний потенціометр з регулюючим пристроєм.