

2.1 Принципи і методи вимірювань у будівництві

Вимір фізичних величин - це невід'ємна операція технологічних процесів, контролю і випробувань матеріалів, деталей, конструкцій і приймання готової продукції (будівель і споруд).

Вимір - це процес експериментального знаходження значень фізичної величини за допомогою спеціальних засобів виміру.

Виміряти деяку фізичну величину Q - означає зрівняти її з іншою величиною q , прийнятою за одиницю виміру і виразити першу в долях останньої в математичній формі

$$Q = k \cdot q; \quad (2.1)$$

де k - будь-яке позитивне ціле або дробне число, що показує в скільки разів Q більше або менше q .

В якості істинного значення фізичної величини приймають таке її значення, що ідеальним чином відтворює якісні і кількісні властивості виміряного об'єкту. Поняття «*Істинне значення виміряної величини*» близьке до поняття номінального або проектного значення.

Значення фізичної величини, яке отримане експериментальним шляхом, і настільки наближається до істинного, що може бути використано замість нього, називають *дійсним значенням фізичної величини*.

Значення фізичної величини може бути отримане в результаті прямих (безпосередніх) вимірів (вимір маси на вагах, температури - термометром, довжини - за допомогою лінійних заходів і так далі) або непрямих (опосередкованих), по яких вона знаходиться як функція безпосередньо виміряних величин (щільність по масі і геометричним розмірам, міцність бетону за часом проходження сигналу в неруйнівних методах вимірів, визначення крену споруд за результатами кутових і лінійних вимірів і т.п.).

Виміри розрізняють на необхідні, які дають тільки один результат виміряної величини, і повторні (додаткові), в результаті яких набувають декілька значень виміряної величини. Оцінка точності вимірів може бути зроблена тільки за наявності повторних вимірів. З метою контролю і оцінки точності необхідно робити, принаймні, два виміри однієї і тієї ж фізичної величини.

Для точних вимірів фізичних величин в метрології розроблені способи використання принципів і засобів вимірювальної техніки, застосування яких дозволяє вилучити з результатів вимірів ряд систематичних і випадкових погрешностей і позбавити експериментатора необхідності вводити поправки для їх компенсації, а в деяких випадках взагалі отримувати точні результати.

Принцип виміру - фізичне явище або сукупність фізичних явищ, які покладені в основу виміру певної величини. Наприклад, вимір температури з використанням термоелектричного ефекту, зміни електричного опору тензорезисторного перетворювача або зміни тиску термометричної речовини газового термометра та ін.

Засіб вимірювальної техніки - технічний засіб, який застосовують під час вимірів і який має нормовані метрологічні характеристики.

Метод виміру - сукупність способів використання засобів вимірювальної техніки і принципів вимірів для створення вимірювальної інформації.

Вимірювальна інформація - інформація відносно виміру величин і залежності між ними у вигляді сукупності їх значень.

У метрології в процесі вимірів широко застосовують прямі методи виміри, які забезпечують визначення шуканої величини за експериментальними даними.

У будівництві знаходять застосування наступні методи вимірів:

- метод безпосередньої оцінки, при якому значення величини визначають безпосередньо по відліковому пристрою (тиск - манометром, характеристики електричного струму - амперметром, вольтметром). Це, напевно, найбільш поширений метод вимірів;

- метод порівняння з мірою, при якому виміряну величину порівнюють з величиною, відтвореною мірою (порівняння маси на вагах з гирями, лінійні виміри рулеткою, де довжину отримують як набір лінійних величин);

- метод збігів, при якому різниця між виміряною величиною, і величиною, відтвореною мірою, вимірюють по збігу оцінок шкал; цим методом вимірюють усі лінійні величини вимірювальними приладами з ноніусами (штангенциркулі, мікрометри) і кутовими приладами з верньєрами (теодоліти).

У наш час знаходять широке застосування у будівельній практиці неруйнівні методи контролю і випробувань, засновані на магнітних, електричних, ультразвукових явищах.

Розрізняють також прямі і непрямі методи виміру. При прямих вимірах значення виміряної величини знаходять безпосередньо за достовірними даними. Більшість вимірювальних засобів заснована на прямих вимірах (наприклад, вимір температури термометром). При непрямих вимірах шукане значення величини знаходять обчисленням по відомій залежності між цією величиною і величинами, які піддаються прямим вимірам (наприклад, визначення напруги в конструкціях по вимірах деформацій).

Метод виміру може бути контактним, якщо він здійснюється при безпосередньому контакті зразка з вимірювальним наконечником приладу, і безконтактним, якщо механічний контакт відсутній (оптичні, пневматичні і інші виміри).

2.2 Засоби вимірювальної техніки

До засобів вимірів відносять пристрої з нормованими метрологічними характеристиками, які використовують при вимірах.

Розрізняють наступні групи засобів вимірів :

міра - засіб вимірів, призначений для відтворення фізичної величини заданого розміру (гирі; кінцеві заходи довжини; лінійні заходи, які відтворюють фізичні величини одного розміру - міліметр, сантиметр, метр;

вимірювальні колби; конденсатори постійної місткості; калібри, шаблони; стандартні зразки речовин, твердості, шорсткості та ін.);

вимірювальний прилад - засіб вимірів, який забезпечує доступність вимірювальної інформації для безпосереднього сприйняття;

вимірювальна установка (система) - сукупність способів вимірів, призначених для видачі вимірювальної інформації в зручній для обробки формі (у тому числі - для використання в автоматизованих системах управління);

вимірювальний перетворювач - засіб вимірів, призначений для формування сигналу вимірюваної інформації у формі, зручній для передачі, подальшого перетворення, обробки і збереження, хоча безпосередньо він не сприймається спостерігачем.

Основні метрологічні показники засобів вимірів :

Ділення шкали приладу - проміжок між двома сусідніми відмітками шкали.

Довжина (інтервал) ділення шкали - відстань між осями двох сусідніх відміток шкали.

Ціна ділення шкали - різниця значень величин, які відповідають двом сусіднім відміткам шкали.

Діапазон свідчень (вимірів за шкалою) - інтервал значень шкали, який обмежений її початковим і кінцевим значеннями.

Діапазон вимірів - інтервал значень вимірюваної величини, в межах якої нормовані допустимі погрішності засобу вимірів (наприклад, діапазон роботи на гідравлічному пресі 20.80% діапазону показань шкали його силоизмерителя).

Межа вимірів - найбільше або найменше значення діапазону вимірів.

Вимірювальна сила - сила дії вимірювального наконечника на вимірювану деталь в зоні контакту.

Межа допустимої погрішності засобу виміру - найбільша (без урахування знаку) погрішність засобу вимірів, при якій воно може бути визнане придатним і допущеним до застосування.

Стабільність засобу виміру - властивість, яка відбиває постійність в часі його метрологічних показників.

Погрішність виміру - різниця між результатом виміру і істинним значенням вимірюваної величини.

Точність вимірів - характеристика якості вимірів, яка відбиває близькість до нуля погрішностей їх результатів. При високій точності погрішності усіх видів мінімальні.

Точність засобів вимірів - якість засобів вимірів, яка характеризує близькість до нуля їх погрішностей.

Відтворюваність вимірів - близькість результатів вимірів однієї і тієї ж конкретної величини, які виконані в різних умовах, в різних місцях різними методами і засобами.

Чутливість вимірювального приладу - відношення зміни сигналу на виході вимірювального засобу до зміни вхідної величини. Для шкальних

вимірювальних приладів типу індикаторів годинного типу чутливість чисельно дорівнює передатному числу механізму приладу.

Поправка - величина, яка має бути алгебра додана до свідчення вимірювального приладу або до номінального значення міри, щоб виключити систематичні погрішності і отримати значення вимірюваної величини або значення міри, найбільш близьке їх дійсним значенням.

Залежно від меж допустимих погрішностей засобів вимірів, а також інших їх властивостей, які впливають на точність виміру, багатьом типам вимірювальних засобів надають відповідні класи точності.

Засоби вимірів розділяють на групи за такими ознаками:

- за принципом дії і використанням енергії - механічні, електричні, рідинні, пневматичні, гідравлічні, хімічні, ультразвукові, інфрачервоні, радіоізотопні та ін.;
- формою свідчень - аналогові і цифрові;
- характером відображення - що показують, самописні, реєструючі, інтегруючі;
- призначенням - виробничі (технічні), лабораторні, зразкові, еталонні;
- місцем розташування - щитові, місцеві, дистанційні;
- габаритами - мініатюрні, малогабаритні, нормальні і великогабаритні.

Майже кожен засіб вимірів можна віднести до будь-якої групи. Наприклад, термометр може бути виробничим, самописним, електричним, щитовим, малогабаритним та ін.

Виробничі (робітники) засоби вимірів є найбільш поширеними засобами вимірювальної техніки. Їх використовують для виміру технологічних або теплотехнічних параметрів, і вони мають порівняно просту структуру і конструкцію, високу надійність і необхідну точність, прості в експлуатації і ремонті.

Лабораторні прилади використовують для точніших лабораторних вимірів в наукових дослідженнях і визначенні погрішностей засобів вимірів. Для отримання більшої точності вимірів лабораторні засоби мають вдосконалені схеми. До їх свідчень вводяться поправки, визначені експериментальним або розрахунковим шляхом.

2.3 Погрішності результатів виміру

Умовою будь-якого виміру є існування дійсного значення a вимірюваної величини. У зв'язку з тим, що зовнішні умови можуть змінюватися в процесі випробування, то багаторазові виміри однієї і тієї ж величини не виходять однаковими. Різниця між результатом вимірів x і його істинним значенням a називають абсолютною погрішністю виміру Δ , тобто

$$\Delta = x - a; \quad (2.2)$$

Відносна погрішність вимірів:

$$\frac{\Delta}{x} = \frac{x - a}{x}; \quad (2.3)$$

Абсолютні погрішності вимірів, як правило, складаються з двох компонентів: систематичної та випадкової.

Систематичні погрішності мають певний знак і накопичуються за певним функціональним законом в результаті односторонньо діючих чинників. Вони повинні виключатися з результатів вимірів шляхом введення виправлень або компенсуватися відповідною організацією методики обробки вимірів.

Випадкові погрішності, які виникають в результаті недосконалості техніки і методів вимірів, зміни зовнішніх умов, за рахунок округлення чисел при відліках і тому подібне, неминучі і повністю виключити їх з результатів вимірів неможливо.

Вплив погрішностей на результати випробувань істотним чином залежить від мети випробування. Якщо випробування проводять з метою виявлення характеру деформації і руйнування конструкції, то вплив погрішностей позначатиметься в меншій мірі, ніж при проведенні випробувань з метою отримання чисельних параметрів досліджуваних систем. У останньому випадку потрібна ретельніша підготовка експерименту.

Погрішності випробувань зростають з ускладненням вимірювальної апаратури і методики випробувань. Слід пам'ятати також про самочинну зміну показань приладів, тобто про так званий «дрейф нуля». У прогібомеров це пов'язано з поступовим витягуванням дроту і послабленням кріплення; у наклеєних тензорезисторах - із затвердінням клею.

При обробці матеріалів випробувань будівельних матеріалів і конструкцій використовують статистичні імовірнісні методи, оскільки міцносні та деформативні параметри матеріалів, варіації навантажень, погрішності випробувань носять випадковий, стохастичний характер.

При проведенні вимірів слід дотримуватися наступних правил:

- якщо систематична погрішність є визначальною, тобто її величина істотним чином більше випадкової погрішності властивої цьому методу, то досить виконати виміри лише двічі, оскільки збільшення їх числа не підвищить точності кінцевого результату;

- якщо систематичні погрішності менші за випадкові, то, збільшуючи число вимірів, можна отримати результат, точність якого буде вища, ніж точність одного виміру.

В якості найкращого (надійнішого) значення дійсної фізичної величини приймають середнє арифметичне за результатами вимірів x_i

$$\chi = \sum_1^n x_i / n; \quad (2.4)$$

де n - кількість вимірів однієї і тієї ж величини.

Мірою точності вимірів служить середнє квадратичне відхилення (стандарт)

$$\sigma_x = \sqrt{\sum_1^n \Delta_i^2 / n}; \quad (2.5)$$

де Δ_i - абсолютна погрішність.

Якщо невідоме номінальне або дійсне значення вимірної величини, середнє квадратичне відхилення визначають по формулі:

$$\sigma_x = \sqrt{\sum_1^n \delta_i^2 / (n-1)}; \quad (2.6)$$

де δ_i - різниця між вимірним значенням фізичної величини x_i і середнім арифметичним χ .

$$\delta_i = x_i - \chi \quad (2.7)$$

Завжди має місце рівність $\sum_1^n \delta_i = 0$ яку використовують для контролю обчислень середнього арифметичного.

Мірою розсіяння результатів виміру - являється дисперсія і середнє квадратичне відхилення.

Дисперсія випадкової величини - міра розкиду цієї випадкової величини тобто її відхилення від математичного очікування.

Корінь квадратний з дисперсії σ , називається середньоквадратичним відхиленням, стандартним відхиленням або стандартним розкидом.

У практиці вимірів застосовують різні закони розподілу випадкових погрешностей. Найчастіше - нормальний закон розподілу (Гауса):

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-\chi)^2}{2\sigma^2}} \quad (2.8)$$

При статистичній обробці матеріалів вимірів мають місце рішення таких завдань:

- визначення середнього значення і довірчого інтервалу вимірної характеристики;
- визначення впливу на зміни досліджуваної характеристики змін тих або інших чинників;
- встановлення кореляційної залежності досліджуваних величин від зміни одного або декількох чинників, якщо між ними не можна визначити чіткої функціональної залежності.

Довірчий інтервал досліджуваної величини a при заданій вірогідності визначають:

$$\chi - t_\alpha \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < x < \chi + t_\alpha \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2.9)$$

де $t_\alpha = \frac{\Delta_x \cdot \sqrt{n}}{\sigma}$ - коефіцієнт Стьюдента, який залежить від числа вимірів n і вірогідності P ; σ - стандарт або середньоквадратичне відхилення.

Коефіцієнт Стюдента визначають по спеціальних таблицях залежно від кількості дослідів і вірогідності попадання величини a в заданий інтервал.

При $n > 20$ розподіл Стюдента переходить в нормальний розподіл Гауса.

2.4 Перевірка засобів вимірювальної техніки

Перевірку, ревізію і експертизу засобів вимірів проводять відповідно до постанов Держстандарту України і поширюють на усі засоби вимірювальної техніки, які знаходяться в експлуатації у державі.

Перевірка засобів вимірювальної техніки - це процес порівняння свідчень засобів вимірювальної техніки, що повіряються, зі свідченнями точніших засобів вимірів (зразкових, еталонних) з метою визначення їх класу точності і встановлення придатності до застосування. Залежно від рівня метрологічної служби перевірки можуть бути державними і відомчими, а за призначенням - первинними, періодичними, інспекційними, позачерговими, комплексними, поелементними, вибітковими та ін.

Державна перевірка засобів вимірювальної техніки - це перевірка органами державної метрологічної служби або ж за їх дорученням засобів вимірювальної техніки, що використовують у сферах, що підпадають під державний метрологічний нагляд.

Відомча перевірка засобів вимірювальної техніки - це звіряння відомчими метрологічними службами засобів вимірювальної техніки, яка не підлягає державній перевірці. Наприклад, перевірка технічних засобів виміру на підприємствах області за допомогою зразкових засобів вимірювання, які своєчасно пройшли державну перевірку в обласних або міських територіальних органах і мають свідоцтво про перевірку.

Первинна перевірка засобів вимірювальної техніки - перевірка, яку виконують уперше після виготовлення засобів вимірювальної техніки або після їх ремонту або за умови імпорتنих поставок партій засобів вимірів.

Періодичну перевірку засобів вимірювальної техніки проводять при експлуатації або зберіганні засобів виміру через певний проміжок часу (міжперевірочний інтервал) з метою встановлення їх придатності для експлуатації або ж при ушкодженні клейма, пломби або втраті документації.

Інспекційна перевірка - перевірка засобів вимірювальної техніки органами державного нагляду з метою виявлення метрологічних недоліків в засобах вимірів, які знаходяться в експлуатації, на складах і базах постачання.

Терміни періодичних перевірок встановлюються метрологічними організаціями залежно від типів, умов експлуатації і зберігання на основі систематичного аналізу статистичних даних про їх надійність, інтенсивності роботи, метрологічній стійкості і т. п. Так, для більшості технічних засобів вимірювальної техніки (наприклад, манометрів, вторинних приладів, термометрів, витратомірів і інших приладів) термін перевірки складає один рік.

При появі дефектів в роботі засобів виміру або ж після їх ремонту необхідно проводити позачергову перевірку.

Метрологічна ревізія полягає в перевірці стану засобів вимірювальної техніки, в контролі за виконанням правил їх перевірки і використанням органами державної метрологічної служби.

Метрологічна експертиза документації - це аналіз і оцінка правильності прийнятих в документацію технічних рішень відносно реалізації метрологічних норм і правил.

Методи і засоби перевірки вимірювальної техніки регламентуються нормативно-технічними документами, стандартами або методичними посібниками.