

1. МЕТРОЛОГІЯ

1.1 Метрологія як наука про виміри

Фахівцям, що працюють в області будівництва постійно доводиться займатися тими або іншими вимірами, особливо, за контролем якості продукції, проведенням обстежень будівель і споруд, визначенням показників міцності будівельних конструкцій та ін.

Виміри - це процес знаходження значень будь-яких фізичних величин за допомогою технічних засобів і їх порівняння з еталонами і мірами.

Міра - цей засіб вимірів, призначений для відтворення фізичної величини заданого розміру. Теорією і практикою вимірів займається метрологія.

Принцип виміру - фізичне явище або сукупність фізичних явищ, які покладені в основу виміру певної величини.

Здавна людям досить часто доводилося мати справу з різними вимірами: при будівництві споруд, визначенні напрямку руху морем з використанням астрономії, в торгівлі, при визначенні пропорцій людського тіла. За старих часів частини людського тіла використовувалися як міра довжини: ширина великого пальця - дюйм, ширина долоні - пальма, довжина стопи - фут, відстань від ліктя до кінця середнього пальця - лікоть та ін.

У Англії ще в XVII ст. була прийнята одиниця міри довжини - фут (нога, стопа), що дорівнювала 30,5 см. Уболівальники футболу знають, що розміри футбольних воріт складають 7,22 x 2,44 м або ж 24 x 8 футів, оскільки Англія є батьківщиною футболу.

Різні народи нашої планети перебували на неоднакових стадіях розвитку і міри були різноманітні. Досить згадати, що в XVIII ст. в Європі було понад 100 різних футів, понад 120 фунтів, 46 миль і інших одиниць виміру.

У Київській Русі найбільш поширеними мірами довжини були - верста, сажень, лікоть, аршин, ступня, долоня, вершок, палець; мірами ваги - пуд, гривна, гривня, золотник, брунька, пиріг та ін.

Одиницями виміру часу на Русі були: рік, місяць, тиждень, доба, година. Причому відлік нового року розпочинався і з березня, і з вересня. Указом Петра I введений початок нового року - з першого січня.

Удосконаленням мір і упорядкуванням їх точності в Російській імперії систематично почали займатися тільки з XVIII століття. Указом від 1735 року «Про систему російських мір і ваг» була закладена основа російської системи вимірів, а в Санкт-Петербурзькій фортеці в одному з особливих приміщень зберігалися нові збори зразкових мір

довжини, місткості рідких і твердих тіл та одиниць ваги. По цих зразках були виготовлені і розіслані в губернії Росії вивірені копії аршина, відра, четверні, фунта.

Вагомий внесок в розвиток метрології своїми роботами здійснили такі учені, як Г. І. Вільд, Б. С.Якобі, В. С. Глухов, Д. І. Менделєєв, Н. Г. Єгоров, Л. В. Залуцький, В. В. Бійців та ін.

1.2 Метрична система мір

Зміцнення культурних і економічних зв'язків вимагало подальшого упорядкування системи мір з розробкою єдиної прийнятної для держав одноманітної міжнародної системи мір і ваг.

У кінці XVIII ст. у Франції Національні збори прийняли декрет відносно реформи системи мір і доручили Паризькій академії наук провести підготовчу роботу. Комісія під керівництвом Лагранжа запропонувала десяткову систему з кратними і дільовими частинами, а комісія під керівництвом Лапласа запропонувала одиницю довжини $1/40000000$ частина довжини паризького меридіана. Цю одиницю назвали метр. За одиницю маси була запропонована маса 1 кубічного дециметра чистої води при температурі 4°C , яку назвали кілограмом. Таким чином, перша метрична система мір, в якій одиниці довжини, площі, об'єму і маси були чітко пов'язані між собою, була законодавчо прийнята 7 квітня 1795 року Національними зборами Франції. 22 червня 1799 року роботи над метричною системою були завершені, виготовлені з платини прототипи одиниці довжини у вигляді лінійки довжиною 1 метр, товщиною 4 мм і шириною 25 мм, а також одиниці маси - 1 кілограм у вигляді платинового циліндра висотою і діаметром 39 мм. Платинові прототипи метра і кілограма з часом передали на зберігання Національному Архіву Франції.

20 травня 1875 року 17 держав-учасників підписали міжнародну Метричну конвенцію, яка мала вирішальне значення для міжнародної уніфікації одиниць виміру в міжнародному масштабі. Метрична конвенція - це перше свідчення міжнародної наукової співпраці учених Європи, Азії і Америки. У 1889 році російська делегація отримала на Першій генеральній конференції із заходів і ваг по дві копії нових прототипів метра № 11 і № 28 і кілограма № 12 і № 26, виготовлених з платино-ірідієвого сплаву.

Для збереження одноманітності, точності і взаємної відповідності заходів і ваг на базі російського Депо зразкових мір і ваг в 1893 році була створена Головна палата мір і ваг.

Головна палата мір і ваг, установа в 1893 в Санкт-Петербурзі з ініціативи Д. І. Менделєєва, вченого-хранителя Депо зразкових мір і ваг, яке і було перетворено в Головну палату.

Головна палата мір і ваг була центральною установою Міністерства фінансів, який завідував повірочною частиною в Російській імперії і підлеглим відділу торгівлі.

За Положенням про міри та ваги 1899 завданням Палати було "збереження одноманітності, вірності і взаємної відповідності мір і ваг"; за законом 1901 нанеї було покладено завідування місцевими повірочними наметами, тимчасовими їх відділеннями, розподіл за тим і іншим перебували при Палаті повірників, відрядження їх та інші, а також вирішення різних питань по метрології та ведення звітності по надходженню до скарбниці плати за таврування мір і ваг. У самій Палаті пристрій повірочної справи було доведено до можливого науково-технічної досконалості.

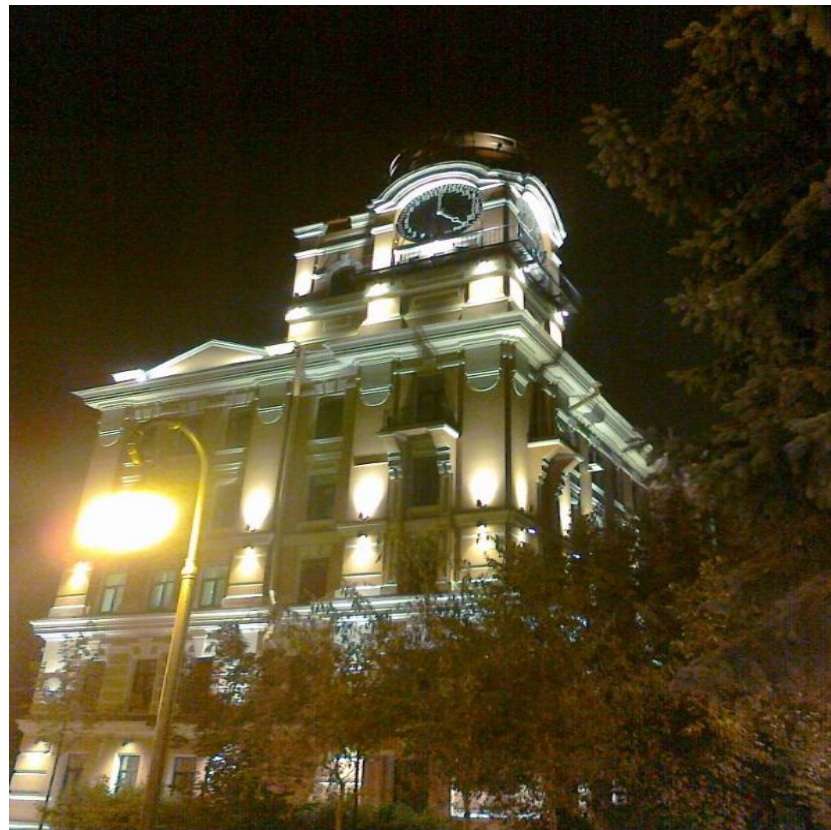


Рис. 1.1 - Метрологічний музей. Музей-квартира Д. І. Менделєєва.

На адміністративному корпусі інституту встановлено електронне табло, що показує точний час, температуру і тиск повітря.



Рис. 1.2 - Палата мір і ваг - НДІ метрології ім. Д. І. Менделєєва.



Рис. 1.3 - Палата мір і ваг - еталонне сховище еталонів. Еталон мільйона доларів - зберігається в палаті мір і ваг в Парижі

Палата мір і ваг - еталонне сховище еталонів, зразковий склад зразків, канонічне зібрання канонів. Знаходиться в Парижі. Перебуває в двох іпостасях - реальній і віртуальній.

Подальша історія розвитку метрології в колишньому СРСР розпочинається з Декрету Раднаркому від 14 вересня 1918 р. про введення метричної системи мір і ваг. Він сприяв подальшому розвитку науково-дослідних робіт відносно забезпечення єдності вимірів і розвитку приладобудування.

Метрологія має найважливіше значення для науково-технічного прогресу, оскільки без вимірів, без постійного підвищення їх точності неможливий розвиток жодної з галузей науки і техніки. Завдяки точним вимірам стали можливими численні фундаментальні відкриття. Наприклад, виміри щільності води з підвищеною точністю зумовило відкриття в 1932р. важкого ізотопу водню - дейтерію, мізерний вміст якого в звичайній воді здатний збільшувати її щільність.

Розвиток науки і промисловості стимулював розвиток вимірювальної техніки, а удосконалення вимірювальної техніки, у свою чергу, активно впливало на розвиток багатьох галузей науки і техніки. Жодне наукове дослідження або процес виробництва не може обійтися без вимірів, без вимірювальної інформації. Ні у кого немає сумніву відносно того, що без розвитку методів і засобів виміру прогрес в науці і техніці неможливий. Для забезпечення науково-технічного прогресу метрологія повинна випереджати у своєму розвитку інші галузі науки, оскільки для кожної з них точні виміри і достовірна інформація є основоположними.

1.3 Метрологія: основні поняття і визначення

Галузь науки; яка вивчає виміри, називають метрологією. Слово «метрологія» утворене з двох грецьких слів: (від греч. «метрон» - міра, «логос» - вчення) - наука про виміри фізичних величин, методи і засоби забезпечення їх єдності і способи досягнення необхідної точності. Дослівний переклад - наука про міри.

Єдність вимірів - стан вимірів, коли результати виражені в прийнятих одиницях, а погрішності вимірів прийняті із заданою вірогідністю. Єдність вимірів потрібна для порівняння результатів вимірів, які проведені в різних місцях, в різний час, з використанням методів, що відрізняються, і засобів виміру. Результати при цьому мають бути однаковими, незалежно від використання методів і засобів виміру. Так, маса в 1 кг або інша одиниця фізичної величини має бути адекватною в різних місцях, при вимірі різними засобами, методами і експериментаторами.

Предметом метрології є отримання кількісної інформації про властивості об'єктів із заданою точністю та достовірністю.

Точність вимірів означає максимальну наближеність їх результатів до істинного значення вимірюваної величини.

Основні завдання метрології :

- встановлення одиниць фізичних величин і їх еталонів,
- створення методів і засобів вимірів,
- забезпечення єдності вимірів,
- розробка методів оцінки погрішностей вимірів.

Правильність виміру - характеристика якості виміру, який відображає близькість до нуля систематичної погрішності виміру.

Об'єкт виміру - матеріальний об'єкт, одне або декілька властивостей якого підлягають виміру. Об'єктами виміру можуть бути фізичні величини або ж параметри технологічних процесів, апаратів; наприклад: температура, тиск, рівень, витрата, щільність, концентрація, якість продукції і т.п.

Вимірювані величини - фізичні величини або параметри, які відображають властивості об'єкту як в кількісному, так і якісному співвідношеннях. Термін «параметр» походить від грецького слова, яке в перекладі означає «вимірюю, співвідношу» і як фізична величина відображає властивості об'єкту. Параметри можуть бути як поодинокими, так і комплексними показниками властивостей об'єкту.

Засіб вимірювальної техніки - технічний засіб, який застосовують під час виміру, і має нормовані метрологічні характеристики. Враховуючи те, що в житті доводиться вимірювати надзвичайно велику кількість фізичних величин і користуватися при цьому різними приладами, вони повинні відповідати своєму класу точності, мати нормовані метрологічні характеристики, своєчасно пройти перевірки і бути одноманітними.

Одноманітність засобів вимірювальної техніки - такий стан засобів, при якому вони проградуєвані в узаконених одиницях і їх метрологічні характеристики відповідають нормам.

Таким чином, одним з головних завдань метрології є забезпечення єдності і необхідної точності вимірів на підприємствах, в галузях і державі. У більшості держав світу заходу по забезпеченню єдності і необхідної точності вимірів встановлюються (закріплюються) законодавчо: шляхом прийняття одиниць вимірів, регулярних перевірок технічних, зразкових і еталонних засобів, випробування нових засобів виміру, підготовки кадрів.

1.4 Державні метрологічні організації

Вищестоящим органом з питань стандартизації, метрології і якості продукції в нашій країні являється Державний комітет України з питань стандартизації, метрології і сертифікації (Держстандарт України).

Структура Держстандарту України налічує 35 центрів стандартизації, метрології і сертифікації, у тому числі - 26 обласних. Крім того, до складу Держстандарту України входять науково-дослідні інститути (наприклад, Харківське науково-виробниче об'єднання «Метрологія»).

Держстандарт України здійснює державне управління забезпеченням єдності вимірів в Україні і організовує проведення фундаментальних досліджень в області метрології, створення і функціонування еталонної бази України, проведення перевірок засобів вимірювальної техніки і тому подібне. Рішення Держстандарту України з питань метрології є обов'язковими для виконання центральними і місцевими органами виконавчої влади, органами місцевого

самоврядування, підприємствами, організаціями, громадянами - суб'єктами підприємницької діяльності і іноземними виробниками.

Державна метрологічна служба, очолювана Держстандартом України, також включає державні контрольні лабораторії, відомчі і заводські відділи, лабораторії.

На початку XXI століття Україна реалізує свій державний суверенітет з метою визначення свого місця серед міжнародного співтовариства і забезпечення світу, стабільності, добробут українському народу, а також заради активної участі у світовій торгівлі і науковій співпраці.

Україні є що запропонувати своїм партнерам - від космічних технологій, продукції суднобудування до ліків, продуктів харчування і будівельних матеріалів. Якість вітчизняної продукції базується більш ніж на 200-річному досвіді, вона закріплена відповідними стандартами і сертифікатами.

Україна вступила у Світову організацію торгівлі (МАРНОТРАТНИК), що потребує подальшого розвитку і удосконалення національної системи стандартизації, метрології і сертифікації у напрямі зближення з міжнародними і європейськими стандартами, угодами і підходами. Цьому сприятиме участь України в Міжнародній організації з питань стандартизації (ISO) і інших міжнародних організаціях, де її представляє Держстандарт.

Законодавчою основою національної метрологічної системи є Закон України «Про метрологію і метрологічну діяльність» від 11 лютого 1998 року № 113/ 98-ВР, який визначає правові основи забезпечення єдності вимірів в нашій державі, регулює громадські стосунки у сфері метрологічної діяльності і спрямований на захист громадян і національної економіки від наслідків недостовірних результатів виміру.

У державне метрологічне забезпечення входять:

- система державних еталонів одиниць фізичних величин, яка забезпечує відтворення цих одиниць з найвищою точністю;
- система передачі розмірів одиниць фізичних величин від еталонів усім засобам вимірів;
- система розробки, постановки у виробництво і випуск в побут робочих засобів вимірів, які забезпечують визначення з необхідною точністю характеристик продукції (у промисловості, наукових дослідженнях);
- система стандартних довідкових даних про фізичні константи і властивості речовин і матеріалів, які забезпечують достовірними даними науку і виробництво;
- державні випробування або метрологічна атестація засобів вимірів, призначених для серійного або масового виробництва і ввезення їх через кордон партіями, які забезпечують подібність засобів вимірів при їх розробці і випуску в побут;

- обов'язкова державна і відомча перевірка засобів вимірів, яка забезпечує працездатність засобів вимірів при їх виготовленні, експлуатації і ремонті;
- стандартні зразки складу і властивостей речовин і матеріалів, що забезпечують відтворення одиниць величин, які характеризують склад і властивості речовин і матеріалів.

1.5 Фізичні величини і їх одиниці

Поняття фізичної величини - це узагальнене поняття у фізиці і метрології. Під фізичною величиною слід розуміти властивість, загальну в якісному відношенні для багатьох матеріальних об'єктів і індивідуальне в кількісному відношенні для кожного з них. Так, усі об'єкти мають масу і температуру, проте, для кожного окремого об'єкту як маса, так і температура різні і конкретні при певних обставинах.

Для встановлення різниці за кількісним вмістом властивостей в кожному об'єкті вводять поняття «Розмір фізичної величини».

Між розмірами кожної фізичної величини існують співвідношення, які має одну і ту ж логічну структуру, що і між числовими формами (цілими, раціональними або дійсними числами, векторами). Тому безліч числових форм з певними співвідношеннями між ними може служити моделлю фізичної величини, тобто безліч її розмірів і співвідношення між ними.

Поняття про систему одиниць фізичних величин ввів німецький астроном і математик К. Гаусс. Було встановлено, що для певної області вимірів (техніка, механіка, акустика, електротехніка, теплотехніки, светотехніка і так далі) можна вибрати декілька величин, а необхідні інші величини утворити від основних за певним правилом. Ці одиниці називають похідними. Сукупність основних і похідних одиниць, які відносяться до деякої системи величин (області вимірів), називається системою одиниць фізичних величин. Зусиллями вчених різних країн була розроблена форма метричної системи заходів - Міжнародна система одиниць СІ (SI - початкові букви французької назви Systeme International).

У 1997 році Держстандарт України прийняв постанову відносно введення в державі Міжнародної системи одиниць - ДСТУ 3651.097 «Метрологія. Одиниці фізичних величин. Основні одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць. Основні назви, положення і позначення».

Визначення основних одиниць відповідно до рішення Генеральної конференції із мір і ваг:

метр - довжина шляху, який проходить світло у вакуумі за $1/29979215$ частину секунди;

кілограм - одиниця маси, яка дорівнює масі Міжнародного прототипу кілограма (рис. 1.4);



Рис. 1.4 - Міжнародний прототип кілограма - виготовлен з платини, прототип одиниці довжини у вигляді лінійки.

секунда - 9 192 631 770 періодів випромінювання переходу між двома надтонкими рівнями основного стану атома цезія- 133 за відсутності обурення зовнішніми полями (рис.1.5);

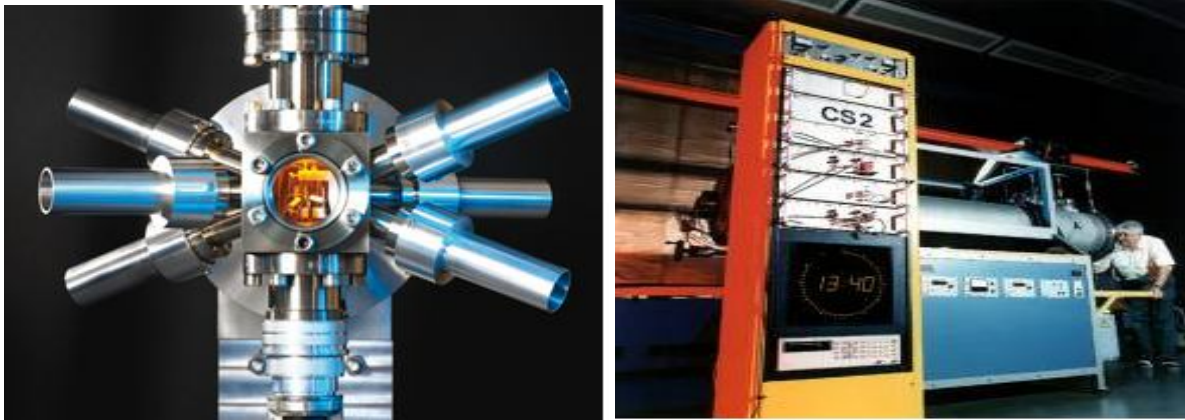


Рис. 1.5 - Еталон одиниці часу - секунда

ампер - сила постійного струму, який, проходячи по двох прямолінійних паралельних провідниках нескінченної довжини і нескінченно малого круглого перерізу, розміщених на відстані метра один від одного у вакуумі, утворив би між провідниками силу в $2 \cdot 10^{-7}$ Н на кожен метр довжини;

Державний первинний еталон ампера — це комплекс вимірювальних засобів у складі струмових ваг електродинамічної системи, ваг з дистанційним управлінням та апаратури для передачі розміру одиниці. Похибка відтворення розміру одиниці сили струму державним первинним еталоном ампера не перевищує $1 \cdot 10^{-3}$ %.



Рис. 1.6 - Еталон одиниці сили електричного струму — ампер

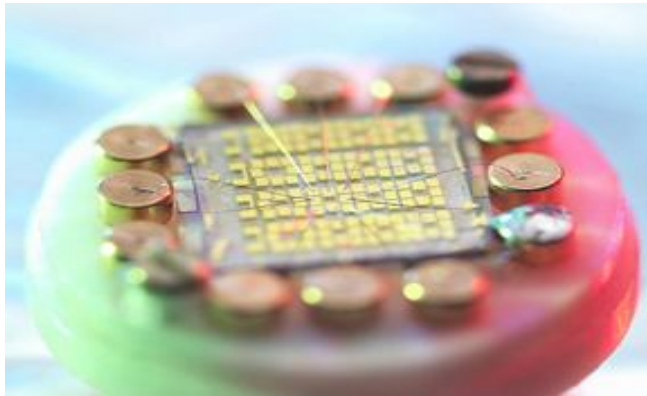


Рис. 1.7 - Новий «графеновий еталон» зовсім не схожий на брусок металу під скляним ковпаком

кельвин - одиниця термодинамічної температури - $1/273,16$ частин термодинамічної температури потрійної точки води;



Рис. 1.8 - Еталон одиниці термодинамічної температури — кельвин

кандела - сила світла, яка випромінюється з площі в $1/600000$ м² перерізу повного випромінювача в перпендикулярному до цього перерізу напрямі при температурі затвердіння платини і тиску 101325 Па;

міль - кількість речовини, яка вміщує стільки ж молекул (атомів, частинок), скільки вміщується атомів в нукліді углерода-12 масою в 0,012 кг.

Окрім основних одиниць СІ існує велика група **похідних одиниць**, які визначають за законами взаємозв'язків між фізичними величинами або ж на основі визначення фізичних величин. Відповідні похідні одиниці СІ виводять з рівнянь зв'язку між величинами. Залежно від наукового напрямку утворені похідні одиниці для простору, часу, механічних, теплових, електричних, магнітних, акустичних, світлових величин і величин іонізуючого випромінювання.

Нарівні з основними і похідними одиницями Міжнародної системи СІ є ще позасистемні одиниці. Їх широко застосовують в повсякденному житті. Є також позасистемні одиниці тимчасового використання (морська миля, яка дорівнює, - 1852 м, гектар - 10000 м², ар - 100 м², бар - 105 Па та ін.), а також відносні і логарифмічні величини.

Найбільш прогресивним способом утворення кратних і часткових одиниць є прийнята в метричній системі мір десяткова кратність між великими і малими одиницями. Десяткові кратні і часткові одиниці від одиниць СІ утворюються шляхом використання множителів і приставок від 10¹⁸ до 10⁻²⁴ (табл. 1.1).

Когерентні похідні одиниці Міжнародної системи одиниць, як правило, утворюють за допомогою простих рівнянь зв'язку між величинами (визначальних рівнянь), в яких числові коефіцієнти дорівнюють 1. Для утворення похідних одиниць позначення величин в рівняннях зв'язку замінюють позначеннями одиниць СІ.

Якщо рівняння зв'язку містить числовий коефіцієнт, відмінний від 1, то для утворення когерентної похідної одиниці СІ в праву частину підставляють позначення величин зі значеннями в одиницях СІ, що дають після множення на коефіцієнт загальне числове значення, рівне 1.

Таблиця 1.1 - Множники і приставки, використовувані для утворення найменувань і позначень десяткових кратних і дольних одиниць СІ

Десятич-ний множи-тель	Пристав-ка	Позначення приставки		Десятич-ний множи-тель	Пристав-ка	Позначення приставки	
		межд.	укр.			межд.	укр.
10 ²⁴	йотта	Y	I	10 ⁻¹	деці	d	д

10^{21}	зетта	Z	З	10^{-2}	санті	с	с
10^{18}	екса	E	Е	10^{-3}	міллі	m	м
10^{15}	пета	P	П	10^{-6}	мікро	μ	мк
10^{12}	тера	T	Т	10^{-9}	нано	n	н
10^9	гіга	G	Г	10^{-12}	піко	p	п
10^6	мега	M	М	10^{-15}	фемто	f	ф
10^3	кіло	k	к	10^{-18}	атто	a	а
10^2	гекто	h	г	10^{-21}	зепто	z	з
10^1	дека	da	да	10^{-24}	йокто	y	і

1.6 Еталони і передача розмірів одиниць робочим засобам вимірів

Єдність вимірів досягає шляхом точного відтворення і збереження встановлених одиниць фізичних величин і передачі їх розмірів робочим засобам вимірів. Відтворення, зберігання і передачу розмірів одиниць здійснюють за допомогою еталонів і зразкових засобів вимірів.

Еталон - це спосіб вимірів (чи комплекс способів вимірів), який забезпечує відтворення і зберігання одиниці з метою передачі її розміру нижчестоячим за перевіркою схемою засобам вимірів, виконаний за особливими правилами і затверджений в установленому порядку.

Еталони в порядку підлеглості підрозділяють: на первинні (початкові) і вторинні (підлеглі). Первинні еталони відтворюють одиниці і передають їх розміри з найвищою точністю, досягнутою в цій області вимірів.

Первинні еталони є початковими для країни, їх затверджують як державні еталони. До вторинних еталонів відносять еталони-копії, еталони порівняння і робочі еталони. Еталони-копії призначені для передачі розмірів одиниць робочим еталонам. Еталони порівняння призначені для взаємного порівняння еталонів. Робочі еталони призначені для перевірки зразкових і найбільш точних робочих засобів вимірів.

Державні еталони створюють, стверджують і зберігають організації Держстандарту України. Вторинні еталони створюють, зберігають і застосовують міністерства і відомства. Упродовж терміну служби еталонів вони піддаються систематичним дослідженням з метою забезпечення незмінності розмірів відтворених ними одиниць і підвищення точності.

Кожен еталон - це складна установка, яка включає комплекс засобів вимірів, устаткування, допоміжних пристроїв. Наприклад, одиниця довжини - метр - відтворюється за допомогою інтерференційної установки, яка містить: лампу з криптоном- 86, інтерфотометр з фотоелектричним мікроскопом, рефрактометр для визначення свідчень заломлення повітря, термометричну апаратуру для точних вимірів температури міри і повітря. Процес відтворення метра і його підрозділів полягає в порівнянні довжини штрихових або кінцевих еталонів з первинною еталонною довжиною хвилі відбитої лінії випромінювання криптона- 86 на інтерференційному компараторі.

Еталон метра в Україні зберігається у Харківському науково-виробничому об'єднанні "Метрологія".

Одиницю маси - кілограм відтворюють за допомогою платиново-іридієвого прототипу № 12.

При виготовленні платино-іридієвих еталонів кілограма за міжнародний прототип було прийнято той, маса якого менше за все відрізнялася від маси "кілограма Архіву". Міжнародний прототип кілограма — це гиря у вигляді прямого циліндра із заокругленими ребрами діаметром і висотою 39 мм.

Оскільки прийнятий умовний прототип одиниці маси — літр — також не був абсолютно тотожним кубічному дециметру ($1 \text{ л} = 1,000028 \text{ дм}^3$) і невідповідність між ними становила різницю між масою міжнародного прототипу кілограма і масою кубічного дециметра води, то у 1964 році XII Генеральна конференція з мір та ваги ухвалила рішення про прирівняння об'єму 1 літра до 1 дм³.

Одиницю часу - секунду відтворюють за допомогою еталону, основою якого є генератори на атомарному водні та кварцевий годинник.

Заходи або вимірювальні прилади, призначені для перевірки по них інших засобів вимірів, називають зразковими засобами вимірів. Зразкові засоби зберігають і застосовують органи метрологічної служби. Зразкові засоби виміру проходять метрологічну атестацію, на них видають спеціальні посвідчення з вказівкою параметрів і розряду за державною перевіркою схемою.

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

погрішностей 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 недосконалої 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 вимірюваної 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 Стюдента, який залежить від числа вимірів n і вірогідність 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, вибілковими 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 імпорту постачань 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 використання 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.

3.1 Організація контролю якості та приймання у будівництві

Якість будівельно-монтажних робіт при їх прийманні від виконавців оцінює технагляд або майстер з урахуванням результатів контролю якості, що здійснюють представники технагляду замовника, авторського нагляду проектних організацій, лабораторіями, а також органами державного контролю і нагляду. Якість усіх схованих робіт, оцінюють при їх прийомі представники технагляду замовника за участю представника підрядника. Якість робіт по зведенню відповідальних конструкцій оцінюється за участю працівників, що проводять авторський нагляд від проектної організації. Результати оцінки якості заносять в загальні журнали робіт і акти проміжного прийому відповідальних конструкцій, акти огляду прихованих робіт, протоколи робітників і державної приймальної комісії. Якщо відхилення від проекту і нормативних документів не погоджені з проектними організаціями і замовником, виконані роботи підлягають повторному прийому тільки після відповідної переробки. Оцінку якості робіт закінченого об'єкту виконують при здачі його в експлуатацію на основі оцінок якості окремих видів робіт. Приймання закінченого об'єкту будівництва зазвичай здійснює державна комісія і затверджує своїм рішенням орган місцевого самоврядування.

При капітальному ремонті або реконструкції існуючих об'єктів виконують комплексне обстеження конструкцій і об'єкту в цілому.

Обстеження складається з наступних операцій:

- ознайомлення з документацією (вивчення робочих креслень, матеріалів інженерно-геологічних досліджень, будівельно-монтажної документації, акту передачі в експлуатацію, паспорта споруди, журналу експлуатації, документів по ремонту, підсиленню та зміні технологічного режиму);

- обстеження об'єкту в натурі. Встановлюють відповідність проекту і споруди в натурі з фіксацією усіх розбіжностей і встановленням їх причин. Проводять детальний огляд елементів споруди, починаючи з найбільш відповідальних: опорні частини, стики, стан зв'язків, настилів; встановлюють наявність послаблень в елементах конструкцій, корозії, гниття і інших ушкоджень, наявність осідання, деформацій і взаємних зрушень елементів. За результатами обстеження виставляють попередню оцінку стану споруди;

- виконання обмірів, коли перевіряють основні розміри конструкцій і перерізів елементів.

Перевіряють також вертикальність колон, горизонтальність перекриттів;

- оцінюють характер та ступінь ушкодження конструкцій;

- перевіряють якості матеріалів конструкцій і стан стиків та з'єднань;

- перераховують конструкції з урахуванням цих обстежень.

Особливості обстеження окремих видів конструкцій

При огляді металевих конструкцій в першу чергу визначають стан зв'язків, стислих елементів грат ферм, наявність та ступінь корозії металу, стан зварних швів (особливо в місцях недоступних для нанесення захисних покриттів);

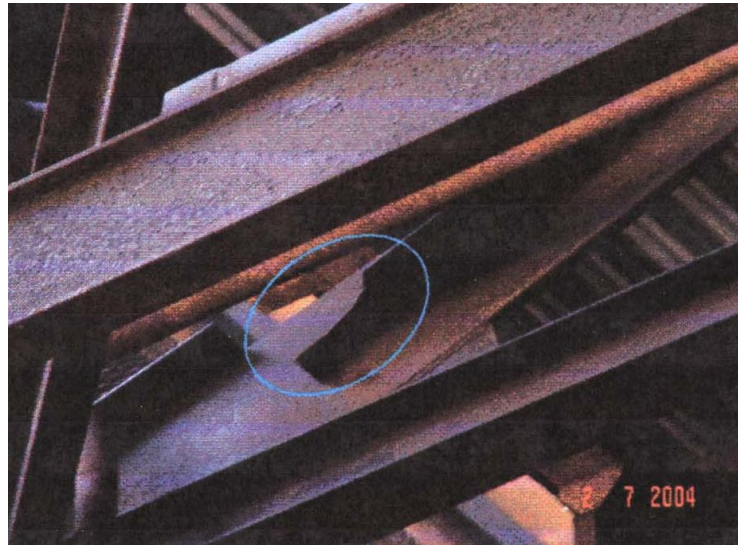


Рис. 3.1 - Корозія металу кроквяної ферми



Рис. 3.2 - Виріз куточка в розкосі ферми

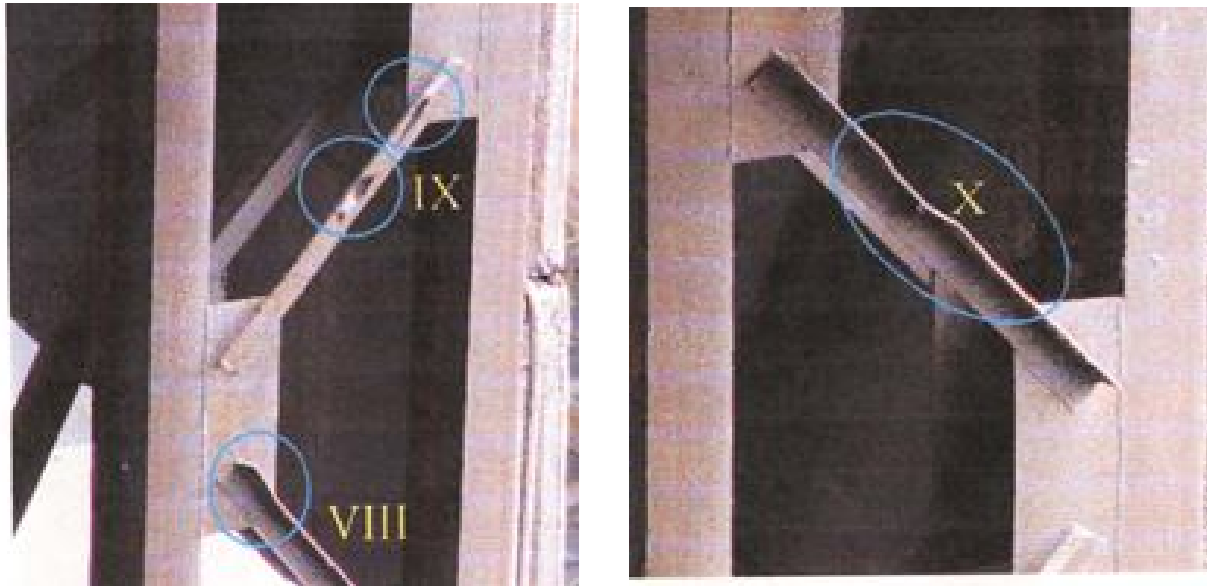


Рис. 3.3 - Дефекти елементів грат колони

дерев'яних конструкцій - якість деревини (особливо в розтягнутих елементах), наявність гниття, стан опорних вузлів балок і ферм, стиків розтягнутих елементів; залізобетонних конструкцій - наявність нормальних і похилих тріщин в розтягнутій зоні, відшаровування і вифарбовування бетону стислої зони, наявність тріщин в захисному шарі бетону, що свідчать про корозію арматури;



Рис. 3.4 - Дефекти дерев'яних конструкцій

кам'яних конструкцій - наявність вертикальних тріщин в найбільш навантажених простінках, стан ділянок кладки, що примикають до покрівлі, вивітрювання кладки, розчину або окремої цегли.

Результати огляду оформляють актом, в який вносять усі загальні дані відносно споруди, авторів і час розробки проекту, час зведення споруди, термін експлуатації і усі зміни, які могли привести до порушення конструкцій;

- вказують усі помічені дефекти конструкцій і їх причини;
- приводять результати випробувань матеріалів конструкцій.

У кінці акту приводять висновки і рекомендації відносно стану і методів посилення конструкцій, а також обумовлюють умови подальшої експлуатації споруди. Акт підписують усі особи, які проводили огляд.

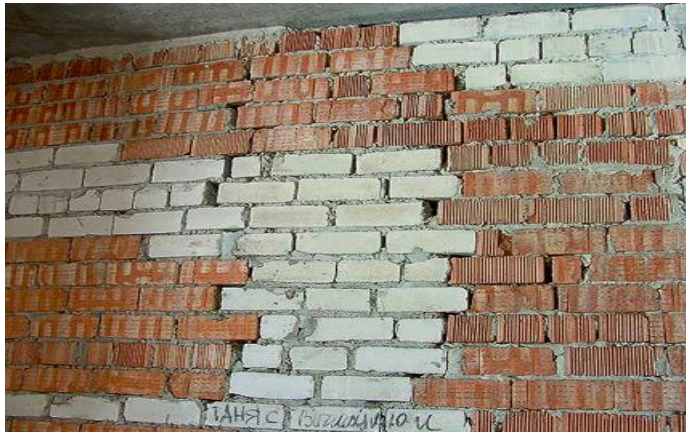


Рис. 3.5 - Дефекти кам'яних конструкцій

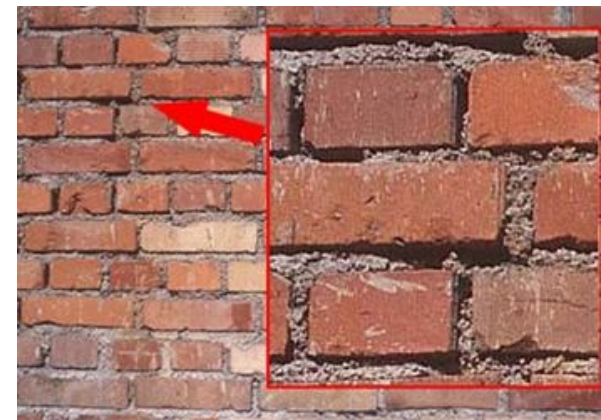


Рис. 3.6 - Дефекти ділянок кладки

3.2 Перевірка якості і стану матеріалів і з'єднань

Перевірці підлягають найголовніші параметри, які характеризують вид матеріалу і з'єднань, умови їх роботи. При цьому операції, що виконують розділяють на такі групи:

- визначення фізико-механічних характеристик: міцності, деформативності, однорідності, щільності, вологості;
- виконання дефектоскопії матеріалів і з'єднань, тобто виявлення порушень суцільності, сторонніх включень, ураження корозією, гнилизною;
- визначення розмірів елементів конструкцій, у тому числі тих, доступ до яких можливий з однієї сторони;
- перевірка хімічного складу і структури застосованих матеріалів.

В результаті виконаних випробувань встановлюють «марку» матеріалу.

Методи, які застосовують для визначення фізико-механічних характеристик матеріалів, ділять на групи:

- руйнівні методи, пов'язані з відбором зразків, при яких відбувається локальне порушення суцільності матеріалу досліджуваної конструкції;
- неруйнівні методи, коли виміри виконують безпосередньо на об'єкті без ушкодження його елементів;
- проміжна група, коли відбір зразків не потрібен, але до деякої міри ослабляється або порушується поверхня матеріалу.

Відбір зразків для руйнівних (лабораторних) методів визначення якості матеріалів.

Відбір зразків пов'язаний з послабленнями досліджуваних елементів конструкцій. Тому кількість зразків має бути мінімальною.

Відбір зразків в металевих конструкціях

Заготівлі для зразків вирізують дисковою фрезою. Розміри заготівель мають бути на 10 мм великими кожної сторони зразка для випробувань.

Розміри зразків відповідно до держстандартів приймають мінімальними. Місця узяття зразків на конструкції мають бути відновлені за допомогою зварювання і підсилення накладками. Зразки металу піддаються випробуванню розривними гідравлічними машинами за стандартом ГОСТ 1497.

Відбір зразків у бетонних конструкціях

У зв'язку з неоднорідною структурою бетону держстандарти дозволяють застосовувати для випробувань зразки наступних мінімальних розмірів: кубики з розміром ребра 70,7 мм; балочки для випробувань на вигин розміром 100x100x400 мм. Найкращі умови для зразків будуть при їх вирізці алмазними коронками або алмазними кругами. Порожнечі, які утворилися після виїмки зразків, мають бути заповнені бетоном на безусадочному цементі.

Зразки бетону піддаються випробуванням за стандартною методикою (ГОСТ 10180) на пресах з використанням масштабних коефіцієнтів.



Рис. 3.7 - Відбір зразків у металевих конструкціях



Рис. 3.8 - Зразки металу піддаються випробуванню розривними гідравлічними машинами

Рис. 3.9 - Зразки, вибурені з існуючих конструкцій системами алмазного буріння



Рис. 3.10 - Зразки для випробувань бетонних конструкцій

Контроль якості конструкцій і з'єднань проникаючими рідинами і газами

Контроль герметичності з'єднань:

1. Випробування водою. Резервуари, газгольдери, які перевіряють, заповнюють водою до відмітки дещо вище, ніж при експлуатації. Гідростатичним тиском води перевіряють як щільність, так і міцність з'єднань та усієї споруди в цілому, тобто з перевіркою з'єднань поєднують статичні випробування досліджуваної місткості (рис. 3.11).



Рис. 3.11 - Випробування водою газгольдерів

2. Застосування гасу. При дослідженні поверхню зварного шва з одного боку густо змочують гасом, а з іншої - шов заздалегідь підбілюють водним розчином крейди. Завдяки своїй малій в'язкості та незначному поверхневому натягненню газ легко проникає через найменші пори і тріщини шва, і на світлому фоні, що підсохнув, чітко проявляються іржаві плями або смуги гасу, який просочився через призначений для перевірки шов.

3. Застосування стислого повітря. Зварні шви, які перевіряють, змочують мильним розчином, а з іншого боку шов обдувають стислим повітрям (близько 4 атм.). У місцях нещільності утворюються мильні бульбашки.

4. Застосування вакууму. Цей метод використовують при доступі з одного боку. До зварного шва приставляють металеву касету у вигляді плоскої коробки без дна з м'якими гумовими прокладеннями і прозорим верхи. Вакуум-насосом в касеті створюють розрідження. Досліджувану ділянку шва, заздалегідь змочують мильним розчином. У місцях порушень щільності шва проникає повітря та створює в мильній пені чітко видимі пухирі (рис. 3.12).

Виявлення тріщин, які виходять на поверхню:

1. Застосування гасу.

Контрольовану поверхню металу змочують гасом. Через 20-30 хвилин цю поверхню досуха витирають і покривають шаром рідкої крейдяної обмазки. Після її висихання, розташування поверхневих тріщин проявляється в темних смугах, які виступають на білому фоні.

2. Люмінесцентний метод.

Цей метод може успішно застосовуватися як в метало- так і в залізобетонних конструкціях (рис. 3.13). Для виявлення поверхневих тріщин використовують рідини або порошкові суспензії, що люмінісцирують під дією ультрафіолетових променів. Розкриття тріщин, що визначають цим методом, може бути близько 1 мікрона. Ще менші тріщини (до напівмікрона) можуть бути виявлені за допомогою магнітних порошоків, що люмінісцирують.



Рис. 3.12 - Застосування вакууму при контролі герметичності з'єднань

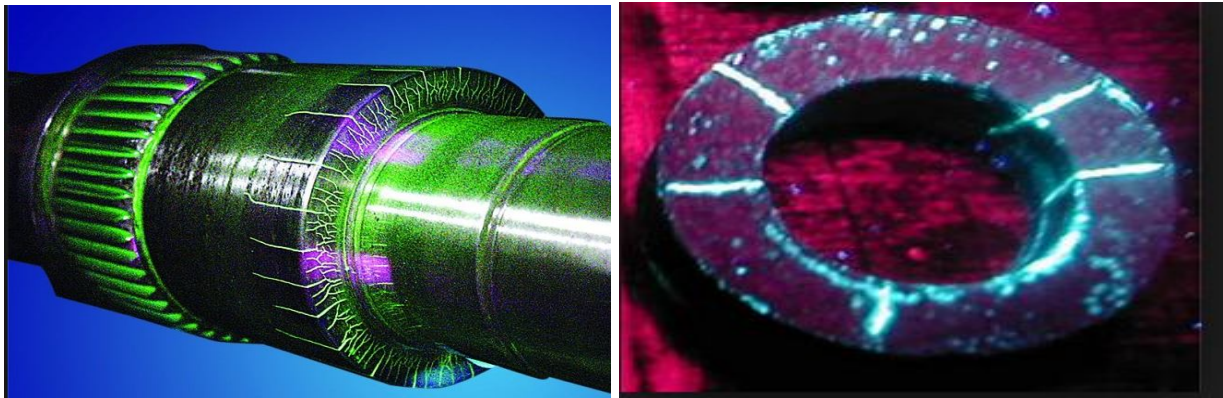


Рис. 3.13 - Виявлення тріщин люмінісцентним методом

3.3 Оцінка міцності матеріалу за механічними характеристиками його поверхневого шару

Оцінка міцності металу

Найбільше поширення у будівельній практиці отримав прилад Польді, схема якого приведена на рис. 3.14.

Прилад кулькою 2 щільно притискається до поверхні досліджуваного матеріалу 1. По стержню 4 завдають удару молотком. На поверхні металу і еталонного бруска з'являється відбиток кульки, відповідно діаметрами d і d_{em} . Якщо D - діаметр кульки і заздалегідь відома твердість по Бринеллю HB_{em} еталонного бруска 3, то твердість по Бринеллю металу, що досліджують HB визначають з наступного вираження:

$$HB = HB_{em} \cdot \frac{D - \sqrt{D^2 - d_{em}^2}}{D - \sqrt{D^2 - d^2}} \quad (3.1)$$

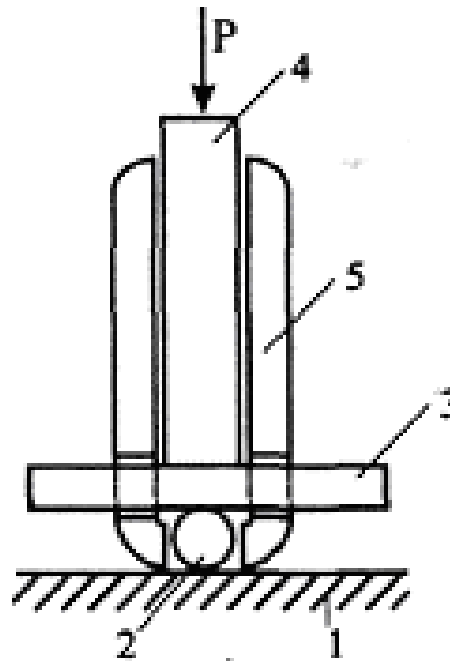
По отриманій твердості *HB* міцність і марку металу визначають за допомогою спеціальних таріровочних таблиць.



Рис. 3.14 – Схема приладу Польді: 1 – куля; 2 – сталевий брусок; 3 – сталевий брусок; 4 – ударний молоток

Оцінка міцності бетону по ударному

Міцність бетону оцінюють еталонним приводом, схема якого приведена на рис. 3.15. Принцип роботи цього еталону виконаний за допомогою сталевих куляк діаметром 15 мм і сталевих стержнів $\varnothing 10$ мм. Після удару куля залишає на поверхні бетону відбиток



матеріал, що досліджують; 2 – сталевий стержень; 3 – сталевий брусок; 4 – ударний молоток; 5 – корпус приладу

відбитку на його поверхні

молотком Кашкарова, схема якого молотка аналогічний приладу Польді, замість сталевих стержнів в якості еталону використовують круглий стержень $\varnothing 12$ мм із сталі ВСт3. Після удару діаметром d_b , а на еталонному стержні -

відбиток у вигляді еліпсоїдної лунки з великим діаметром d_{em} .

Міцність бетону оцінюють по середньому значенню відношення d_6/d_{em} , що отримали після 10 і більше ударів молотком, з використанням кореляційної залежності між d_6/d_{em} і міцністю бетону на стискування, встановленою експериментально.

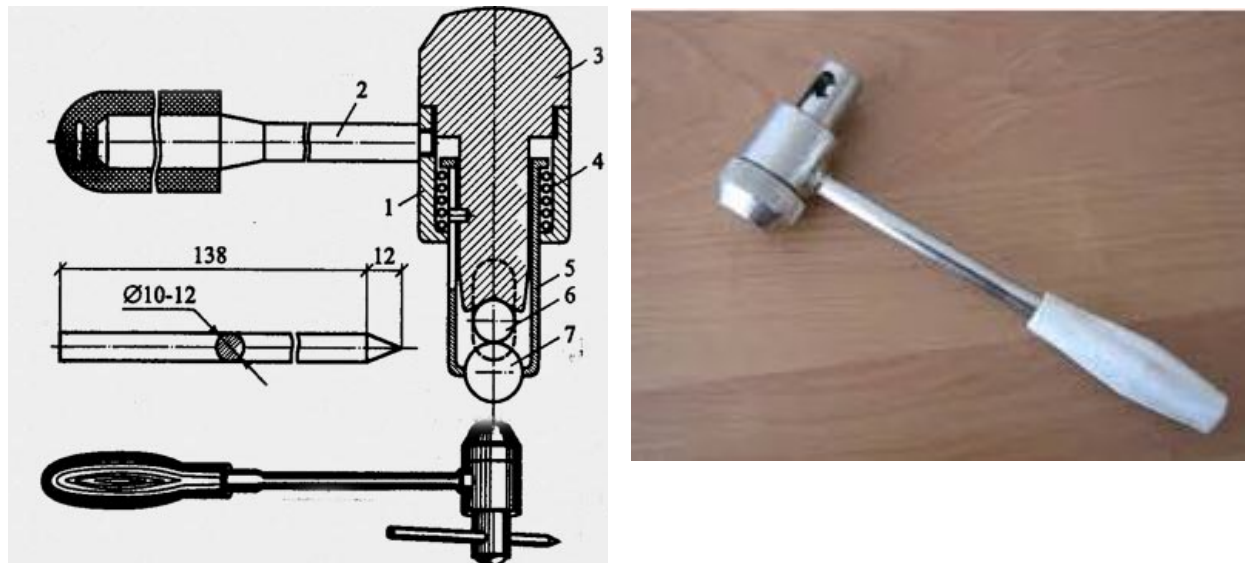


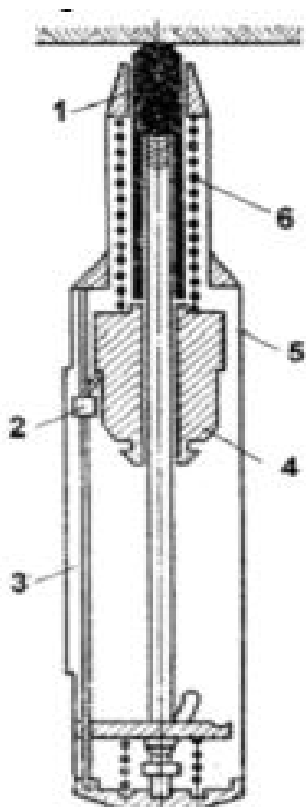
Рис. 3.15 - Схема еталонного молотка К. П. Кашкарова: 1 - корпус; 2 - руків'я; 3 - голівка; 4 - пружина; 5 - склянка з отворами для кульки 7 і еталонного стержня 6.

Оцінка міцності бетону по пружному відскоку бойка при ударі:

При випробуваннях приладами такого типу відносно характеристики матеріалу судять за величиною відскоку бойка, яким завдають удару по металевому наконечнику, притиснутому до поверхні бетону. Удар здійснюють спуском

пружины, що дозволяє піддавати випробуванню будь-яким засобом орієнтовані поверхні та стандартизувати силу удару. Найбільш відомі прилади цього типу: молотки Шмидта, КМ, ЦНІСК. Розглянемо принцип роботи молотка Шмидта (рис. 3.16). Молоток встановлюють перпендикулярно поверхні бетону і натисненням на корпус засовують ударник 1 всередину корпусу 5 приладу. Коли він досягає крайнього положення, молоток 4 автоматично звільняється і під дією пружини 6 завдає удару по ударникові та відскакує назад.

Відскік фіксується стрілкою 2 на шкалі 3. Визначення межі міцності бетону на стискування виконують за допомогою таріровочної кривої «міцність бетону - величина відскоку».



а)



б)

Рис. 3.16 - Молоток Шмидта (а): 1 - ударник; 2 - стрілка; 3 - шкала; 4 - молоток; 5 - корпус; 6 - спіральна пружина. (б) - електронний молоток Шмидта.

3.4 Ультразвуковий імпульсний метод визначення характеристик матеріалів

Акустичні неруйнівні методи досліджень матеріалів базуються на збудженні пружних механічних коливань. За параметрами цих коливань і за умов їх поширення роблять висновок відносно фізико-механічних характеристик і стану досліджуваного матеріалу.

Ультразвуковий імпульсний метод заснований на використанні механічних коливань високої частоти (для бетону до 200 кГц, для металу 300 кГц - 10 МГц) і на існуванні залежності між параметрами високочастотних коливань, які поширюються в досліджуваному середовищі, і властивостями цього середовища. Наприклад, швидкість поширення пружних хвиль пов'язана з щільністю середовища і модулем пружності цього середовища наступною залежністю:

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho} \cdot K}, \quad (3.2)$$

де E - модуль пружності; ρ - щільність середовища; K - коефіцієнт, який залежить від виду хвиль (подовжніх, поперечних, Релея) і від простору (одновимірного, двовимірного, тривимірного).



Вимірюючи швидкість поширення хвиль і характеристики їх загасання, можна вирішувати завдання дефектоскопії та визначати міцність, щільність, пружність. Для збудження ультразвукових коливань використовують спеціальні перетворювачі, які трансформують змінний електричний струм ультразвукової частоти в механічні коливання тієї ж частоти, діючи за принципом п'єзоєфекту, використовуючи здатність деяких кристалів (кварц, сегнетова сіль) змінювати свої розміри під впливом електричного струму.

Рис. 3.17 - Ультразвуковий імпульсний метод



Рис. 3.18 - Ультразвуковий товщиномір NOVOTEST УТ- 1

Ця властивість зворотня, тобто при деформації таких речовин на них виділяються електричні заряди. Оскільки повітряні прошарки перешкоджають проходженню ультразвукових хвиль, між перетворювачем і твердим тілом наносять передавальне середовище: для металів - ця мінеральна олія, для бетонів - солідол або технічний вазелін.

Ультразвукові коливання вводять в досліджуване середовище вузьким пучком, і хвилі, переходячи з одного середовища в інше, заломлюються або відбиваються від граней, що розділяють середовища. Це використовується для визначення положення межі середовищ, тобто товщини елементів. У повітряних прошарках ультразвукові коливання затухають майже повністю, що дозволяє виявляти приховані внутрішні дефекти.



Рис. 3.19 – Ультразвуковий портативний товщиномір металу

Застосування ультразвукових методів

Визначення пружних характеристик матеріалів за швидкістю поширення ультразвукових хвиль.

Використовуючи залежність (3.2) способом наскрізного прозвучивання, можна отримати значення пружних характеристик матеріалу.

Динамічний модуль пружності:

$$E_{дин} = v_{np}^2 \cdot \rho. \quad (3.3)$$

Динамічний коефіцієнт Пуассона:

$$\mu_{дин} = 2 \frac{v_{np}}{v_{поп}} - 1, \quad (3.4)$$

де v_{np} - швидкість поширення подовжніх ультразвукових хвиль;

$v_{поп}$ – теж, поперечних хвиль.

Визначення товщини матеріалу при односторонньому доступі

Для таких вимірів використовують ехо-метод (рис. 3.21). Ехо-метод заснований на реєстрації ехо-сигнала, відбитого від дефекту. Окрім переваги одностороннього доступу він також має найбільшу чутливість до виявлення внутрішніх дефектів, високу точність визначення координат дефектів. До недоліків методу слід віднести передусім низьку перешкодостійкість до зовнішніх відбивачів, різку залежність амплітуди сигналу від орієнтації дефекту. Цим методом контролюють близько 90% усіх зварних з'єднань товщиною 4 мм і більше (рис. 3.20).

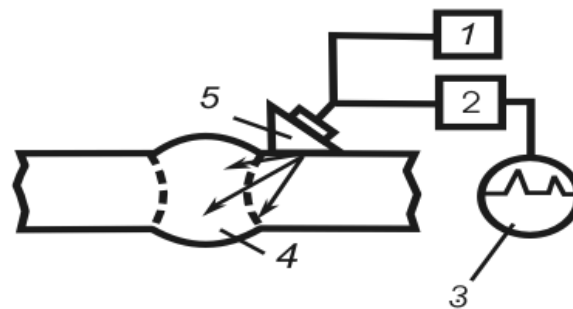


Рис. 3.20 - Контроль ехо-методом: 1 - генератор; 2 - підсилювач; 3 - індикатор; 4 - об'єкт контролю (шов); 5-перетворювач

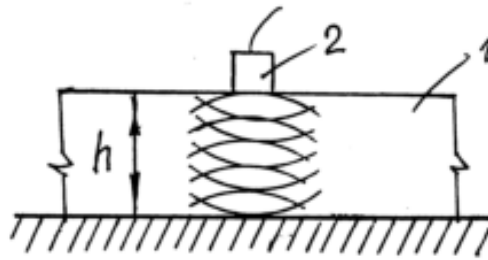


Рис. 3.21- Схема ехо-метода: 1 - досліджуваний матеріал; 2- випромінювач - приймач

Товщина матеріалу дорівнює:

$$h = \frac{1}{2}v \cdot t, \quad (3.5)$$

де v - відома швидкість поширення ультразвукових хвиль;

t - час проходження ультразвукової хвилі через матеріал і повернення відбитої хвилі.

Визначення глибини тріщини у бетоні

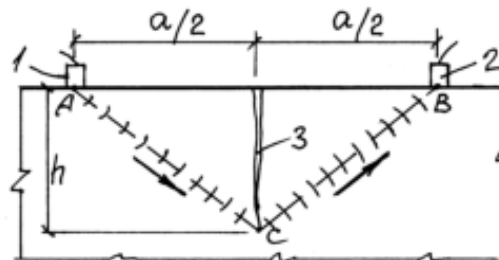


Рис. 3.22 - Схема визначення глибини тріщини: 1 - випромінювач; 2 - приймач; 3 - тріщина

Ультразвукова хвиля пройде найкоротшою відстанню $ACB = \sqrt{4h^2 + a^2}$,
по рис. 3.22.

При відомій швидкості v час проходження сигналу $t_h = \sqrt{\frac{4h^2 + a^2}{v^2}}$, визначають експериментально.

Звідси глибина тріщини дорівнює:
$$h = \frac{1}{2} \sqrt{(vt_h)^2 - a^2}, \quad (3.6)$$

Визначення міцності бетону

Залежність між швидкістю ультразвуку та міцністю бетону будують на основі випробування бетонних кубиків. Прозвучивання кубиків виконують в напрямі, перпендикулярному напрямку укладання бетону у формі в точках, вказаних на рис. 3.23.

За значенням l і часу проходження ультразвукової хвилі t обчислюють її швидкість

$$v = \frac{l}{t - \Delta t}, \quad (3.7)$$

де Δt - година проходження ультразвукового сигналу в перетворювачах і в мастильній олії, що визначають за схемою, на рис. 3.23б.

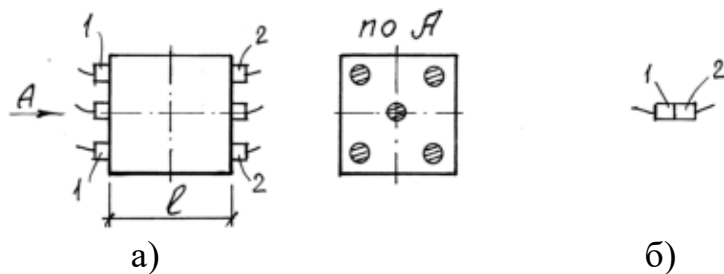


Рис. 3.23 - Схема прозвучивання бетонних кубиків:

- а - схема установки випромінювачів-приймачів при прозвучиванні;
- б - установка випромінювачів-приймачів при визначенні Δt ;
- 1 - випромінювач; 2 – приймач

З отриманих значень швидкостей визначають середні значення, які наносять на таріровочний графік, куди заносять також значення межі міцності бетону, отримані випробуваннями кубиків на стискування.

Ультразвукова дефектоскопія

а) Дефектоскопія зварних швів.

При дефектоскопії зварних швів використовують тіньовий і ехо-методи. Перший базується на загасанні коливань в повітряних прослойках, другий - на відображенні хвилі від межі матеріалу і повітряного середовища.

б) Дефектоскопія бетону.

При дефектоскопії бетону можна визначати дефекти, розміри яких більше максимального розміру заповнювача. При наскрізному прозвучиванні визначають ділянки бетону зі зниженою міцністю, порушення суцільності, тріщини.



Рис. 3.24 - Прилад УКС-МГ4,
призначен для контролю дефектів,

визначення міцності бетону в
збірних і монолітних конструкціях

Рис. 3.25 - Ультразвуковий прилад з візуалізацією (дефектоскоп) ПУЛЬСАР- 2.2



Рис. 3.26 - Дефектоскоп ультразвукової для визначення міцності бетону

3.5 Визначення положення і діаметру арматури в залізобетоні

Суть електромагнітного методу дослідження будівельних конструкцій полягає у фіксації викривлених силових ліній магнітного потоку в місцях наявності тріщин або феромагнітних включень. Місцеві потоки розсіяння будуть тим більшими, чим більшими будуть дефекти або включення, які їх викликають. За однакових умов найбільшим буде вплив дефекту орієнтованого перпендикулярно силовим лініям, тому для виявлення усіх дефектів необхідно виміри проводити в двох взаємно перпендикулярних напрямках.

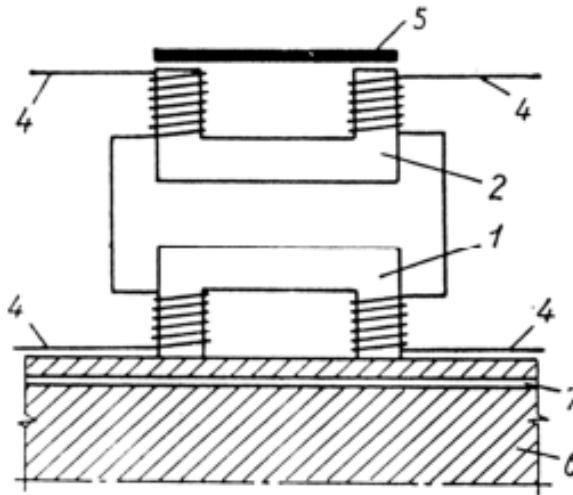


Рис. 3.27 - Принципова схема електромагнітного приладу типу ІЗС-10Н: 1 - пошуковий електромагніт; 2 - ферозонд; 4 - виводи для пристрою, який реєструє відхилення магнітних силових ліній; 5 - еталонний стержень або пластинка; 6 - досліджуваний залізобетон; 7 - арматура



Рис. 3.28 - Електромагнітний прилад типу ІЗС-10Н

Для цієї мети використовують прилад (рис. 3.28), який використовує індуктивний збалансований міст з двох електромагнітів, сполучених із стрілкою-показчиком. При наближенні до арматури розбалансування моста, яке залежить від діаметру і розташування стержня, зменшиться, і стрілка буде обертатися. Екстремум відхилення стрілки відповідає положенню приладу над віссю арматурного стержня. Встановивши щуп приладу з електромагнітом 1 в положення, яке відповідає максимальному відліку, записує товщину захисного шару, яка відповідає різним діаметрам арматури. Після цього між щупом і залізобетонною конструкцією закладають прокладення з діаманетика (оргскло) товщиною 10 мм і знову знімають відліки. Діаметр арматури відповідатиме тій з шкал, різниця відліків по якій дорівнюватиме 10 мм.



Рис. 3.29 - Визначення захисного шару бетону приладом ІЗС-10Ц

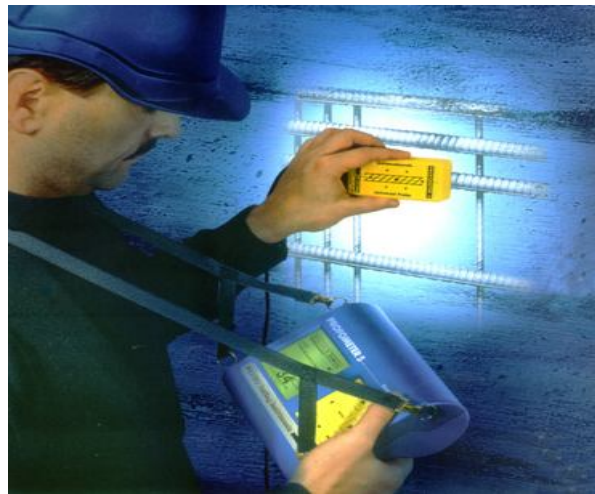


Рис. 3.30 -Тестер Локатор визначення арматури у бетоні ТС100. Тестер для пошуку арматури у бетоні виміру діаметру арматури, а так само визначення товщини захисного шару

4.1 Методика проведення випробувань будівельних конструкцій

Основне завдання випробувань будівельних конструкцій - це встановлення їх напружено-деформованого стану під навантаженням для оцінки несучої здатності, жорсткості або тріщиностійкості (для бетонних і залізобетонних конструкцій).

Види випробувань

Приймальні випробування проводять для перевірки відповідності показників роботи споруди проектним і нормативним вимогам.

Випробування об'єктів, які знаходяться в експлуатації, проводять для перевірки можливості продовження нормальної роботи під експлуатаційним навантаженням, якщо виникають сумніви в придатності споруди, і для перевірки можливості збільшення експлуатаційного навантаження при реконструкції споруди.

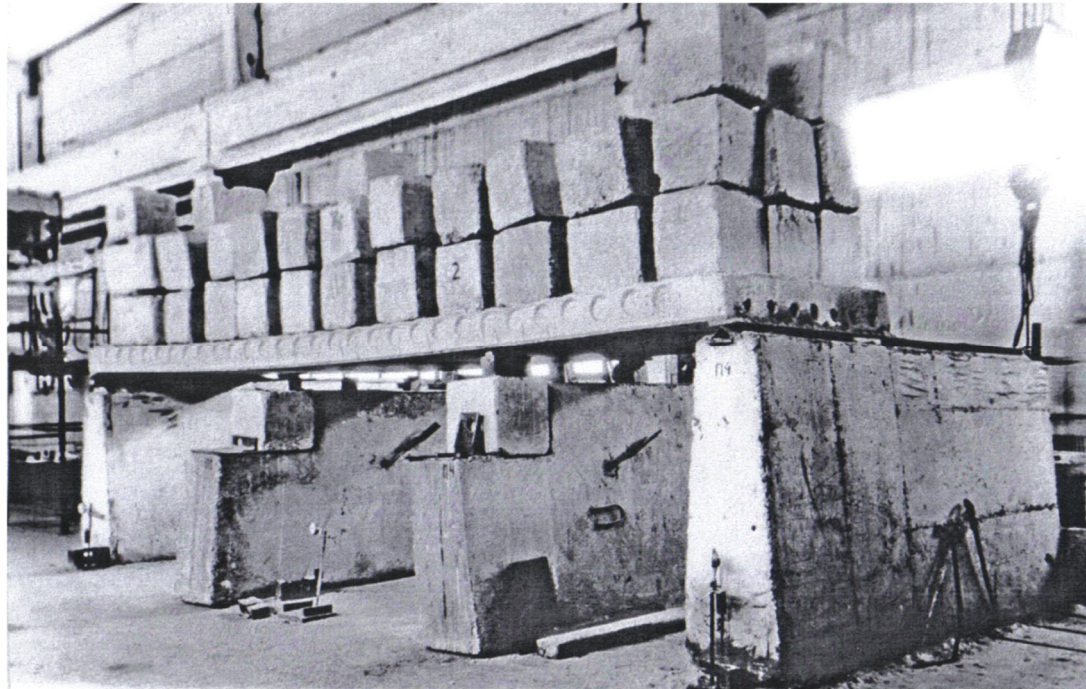
Випробування конструкцій і деталей при їх серійному випуску проводять шляхом вибіркового випробування окремих зразків з доведенням навантаження до руйнування.

Науково-дослідні випробування проводять для апробації нових конструктивних рішень і нових методів розрахунку, при використанні нових матеріалів, при особливих режимах експлуатації конструкцій і споруд.

Залежно від типу основного навантаження, випробування можуть бути статичними (рис. 4.1, 4.2) і динамічними (рис. 4.3, 4.4).



Рис. 4.1 - Випробування бурових палей статичними навантаженнями на ділянці будівництва



a)



б)

Рис. 4.2 - Проведення статичних випробувань плит перекриттів

Залежно від місця проведення, випробування можуть бути: лабораторними (виробничими), або польовими (на місцевості, об'єкті будівництва або реконструкції).

Залежно від розмірів конструкцій, випробування можуть бути: натурними (на конструкціях або фрагментах будівель і споруд з натуральними розмірами), або на моделях (конструкцій, елементів будівель і споруд).

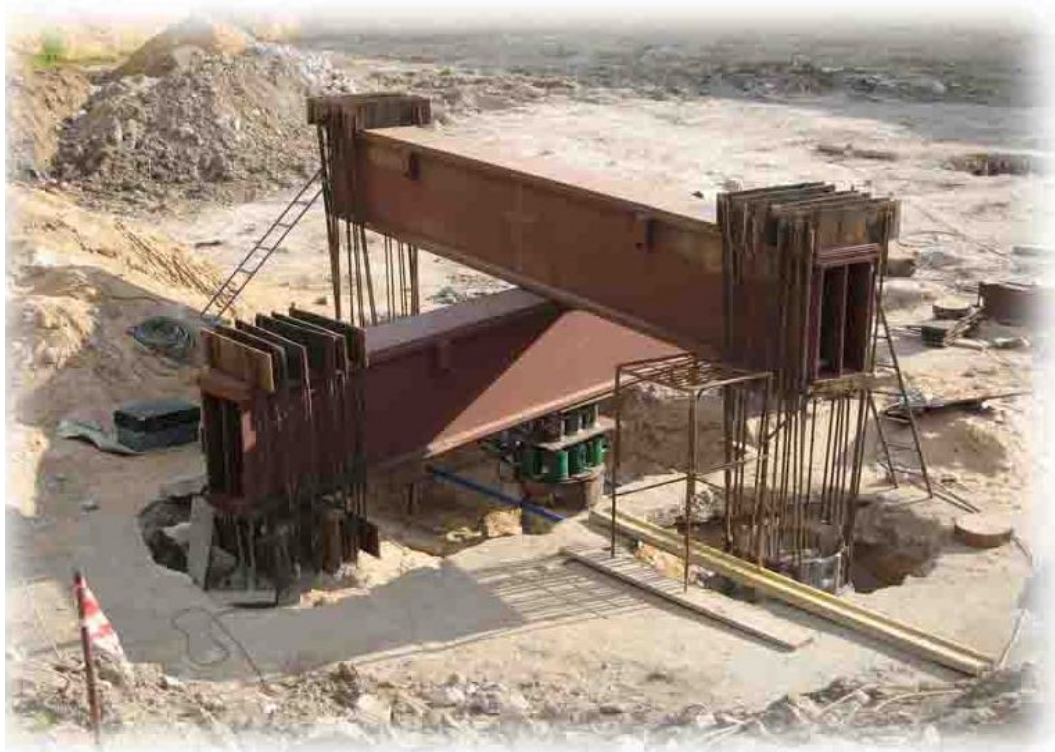


Рис. 4.3 - Випробування талих ґрунтів динамічним (ударним або вібраційним) навантаженням



Рис. 4.4 - Випробування мостів динамічними навантаженнями

4.2 Вибір елементів для випробувань

При випробуваннях споруд вибір елементів для них пов'язаний з вибором місця прикладання навантаження. При цьому необхідно керуватися наступними міркуваннями:

- кількість елементів, що навантажують, має бути мінімальною (час і вартість);
- випробуваннями мають бути охоплені основні елементи споруд або несучі конструкції, що працюють з максимальною інтенсивністю, а також, що мають дефекти та ушкодження;
- слід відбирати об'єкти з найбільш чіткою статичною схемою роботи і закріплення, вільні від додаткових зв'язків, які можуть вносити спотворення в роботу досліджуваних елементів.

При відборі зразків для серійних випробувань з кожної партії відбирають найкращі та найгірші зразки, виявлені шляхом огляду і контролю якості неруйнівними методами.

4.3 Вибір схем і видів навантаження

Схему навантаження уточнюють одночасно з вибором елементів для випробувань. Обрана схема розподілу навантажень повинна забезпечити виявлення в досліджуваних елементах необхідних зусиль і деформацій, достатніх для виявлення характеристик, що визначають. Вибираючи схему навантаження, слід враховувати реальні можливості та умови проведення випробувань, а також їх вартість.

Для статичних випробувань будівельних конструкцій застосовують рівномірно-розподілені (рис. 4.5) і зосереджені навантаження (рис. 4.6). До навантажень для статичних випробувань пред'являють наступні вимоги: їх слід прикладати без ривків і ударів; давати можливість чітко визначати зусилля, що передаються на об'єкт; бути транспортабельними; не вимагати великих витрат роботи і часу для їх застосування і зняття. При випробуваннях з тривалою витримкою навантаження мають бути стабільними.

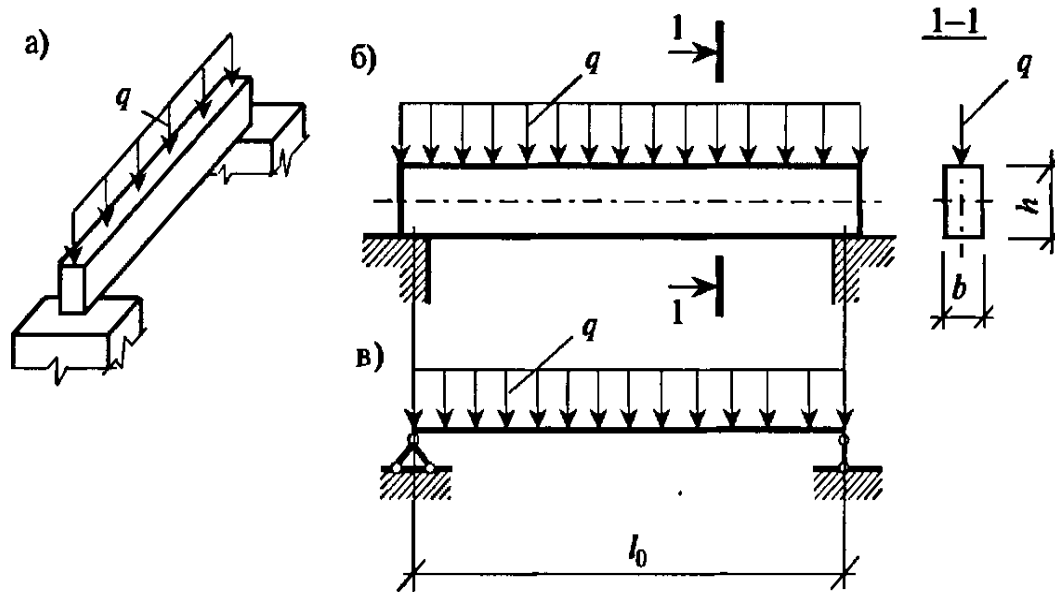


Рис. 4.5 - Рівномірно-розподілені навантаження

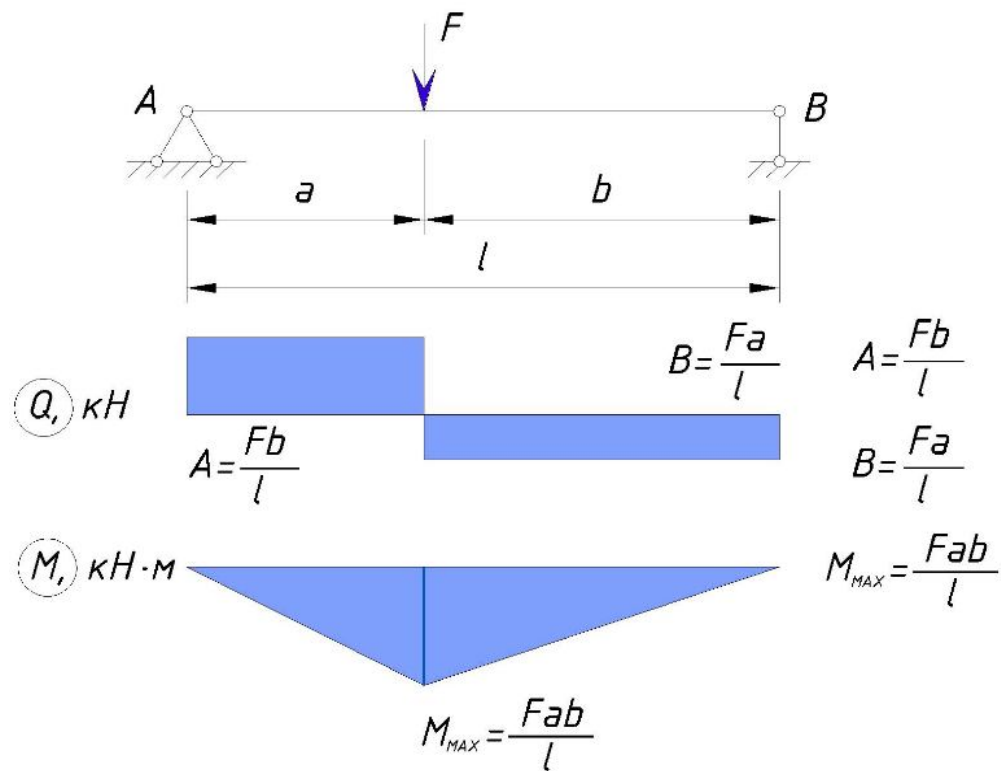


Рис. 4.6 - Зосереджені навантаження

Рівномірно-розподілені навантаження можуть бути прикладені способом завантаження:

- сипкими матеріалами (піском, щебенем) см. рис. 4.2б;
- дрібними штучними вантажами (цеглиною, дрібними блоками) рис. 4.2а;
- великими штучними вантажами (фундаментними блоками);
- водою;
- тиском повітря.

Зосереджені навантаження можуть бути прикладені у такий спосіб:

- підвішуванням вантажів;
- натягачами: лебідками, талями, поліспастиами;
- домкратами (рис. 4.7).

4.3.1 Визначення величини навантаження для випробувань

Якщо споруда після випробування передається в експлуатацію, то за максимальне випробувальне навантаження приймають розрахункове навантаження в самому несприятливому положенні конструкції.

При необхідності визначити несучу здатність споруди, як дослідницького об'єкту, коли його експлуатацію не передбачають, величина навантаження для випробувань повинна дещо перевищувати руйнівне навантаження, розраховане орієнтовно.

Під час випробування залізобетонних виробів серійного виготовлення за навантаження для випробувань приймають:

- а) при перевірці несучої здатності - розрахункове навантаження, помножене на коефіцієнт $k = 1,25 \dots 1,9$, який залежить від типу конструкції, виду бетону та очікуваного виду руйнування;
- б) при перевірці жорсткості - експлуатаційне значення навантаження.



Рис. 4.7 - Зосереджені навантаження - телескопічні стійки-домкрати

4.3.2 Послідовність навантаження і розвантаження

Ступінь навантаження призначають залежно від цілей випробувань:

- при перевірці міцності і тріщиностійкості ступінь навантаження не повина перевищувати 10% від максимального навантаження;
- при перевірці жорсткості - не більше 20% відповідного контрольного навантаження.

Початковий ступінь навантаження приймають в межах 5...10% від контрольного навантаження. Для стабілізації показань приладів проводять зняття і повторне додавання початкового ступеня навантаження, щоб виключити вплив змінання опорних і навантажених елементів.

При випробуваннях зразків залізобетонних конструкцій діючі стандарти передбачають обов'язкову витримку під навантаженням:

- при контрольних навантаженнях по тріщиностійкості та жорсткості - не менше 30 хвилин;
- після кожного проміжного ступеня вантаження - не менше 10 хвилин.

4.4 Вимірювальні прилади для статичних випробувань і їх застосування

При статичних випробуваннях визначають переміщення або деформації досліджуваного об'єкту. Під переміщеннями розуміють лінійні або кутові відхилення точок даного об'єкту, виміряні в одиницях довжини або градусах. Під деформацією розуміють відносну величину, яка характеризує зміну розмірів в області точки тієї конструкції, або її частині, що досліджують.

Нині для статичних випробувань використовують такі вимірювальні пристрої:

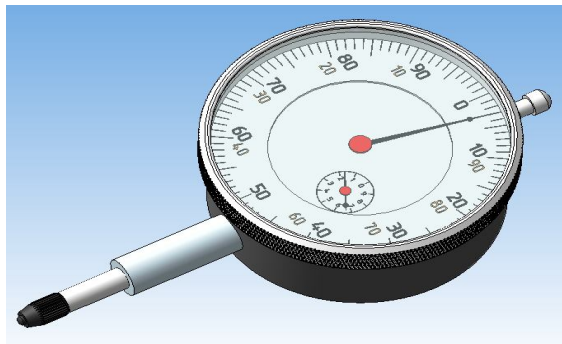
- **для виміру лінійних переміщень:** прогібомери (рис. 4.8, а), сдвігомери (рис. 4.8, б), індикатори годинного типу (рис. 4.8, в) і перетворювачі лінійних переміщень (рис. 4.8, г);
- **для виміру кутових переміщень:** клінометри (рис. 4.9, а, б), схили (рис. 4.9, в), і перетворювачі кутових переміщень (рис. 4.9, г);
- **для виміру лінійних деформацій:** тензометри (рис. 4.10, а), тензорезистори (рис. 4.10, б) і перетворювачі лінійних деформацій;
- **для виміру зусиль:** динамометри і перетворювачі сили (рис. 4.11);
- **для виміру напруження** - перетворювачі напруження.



а)



б)



в)

г)

Рис. 4.8 - Прилади для виміру лінійних переміщень



a)



б)



г)

в)

Рис. 4.9 - Прилади для виміру кутових переміщень



а)

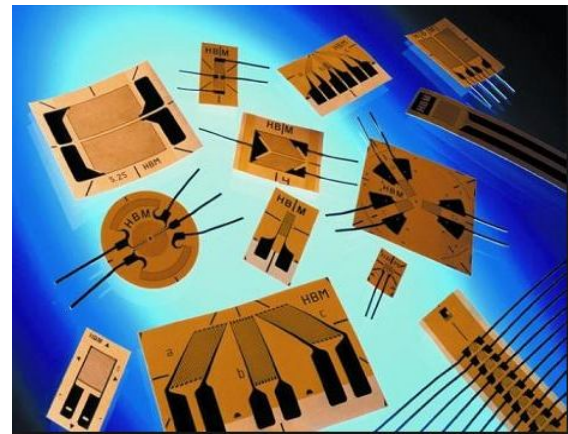


б)

Рис. 4.10 - Прилади для виміру лінійних деформацій



Рис. 4.11 - Прилади для виміру зусиль



4.5 Оцінка результатів статичних випробувань

Оцінку результатів випробувань проводять на основі аналізу результатів випробувань з порівнянням їх з розрахунковими даними, отриманими по фактичних розмірах, характеристиках міцності і жорсткості. Якнайповніша оцінка може бути отримана при випробуванні конструкції до руйнування. При цьому можна отримати такі дані: характер руйнування, руйнівне навантаження, переміщення конструкції під навантаженням. Ці дані порівнюють з розрахунковими, що і дозволяє судити відносно придатності випробуваної конструкції до подальшої експлуатації або достовірності розрахункових схем і прийнятих методів розрахунку.

Дещо складніше ці питання вирішуються при випробуваннях конструкцій, призначених до експлуатації. В цьому випадку про стан конструкції судять по таких чинниках:

- по напружено-деформованому стану під навантаженням;
- за величиною пружних і залишкових деформацій;
- по поведінці конструкцій при витримці під навантаженням;
- по втратах напруження в заздалегідь напруженій арматурі після навантаження і развантаження.

4.6 Динамічні випробування будівельних конструкцій

Під динамічними навантаженнями розуміють такі дії, параметри яких змінюються в часі за величиною або напрямом:

- інерційні сили, які виникають при роботі стаціонарного устаткування;
- ударні навантаження, які передаються від копров, молотів, пресів і інших механізмів;
- рухливі навантаження, які виникають від кранів, транспортних засобів, руху людських мас;
- пульсації вітру або рідин і газів в трубах і місткостях;
- сейсмічні впливи - при землетрусах і вибухах.

По закономірностях зміни динамічних впливів в часі розрізняють періодичні навантаження і імпульсні. Періодичне навантаження може носити синусоїдальний або складніший характер. Синусоїдальне навантаження називається гармонійним. Будь-який складний періодичний закон зміни динамічних навантажень може бути представлений у вигляді суми гармонійних навантажень.

Різний характер динамічних дій створює і різні види коливальних переміщень. При гармонійних або періодичних навантаженнях в елементах конструкцій виникають постійні коливання, які є результатом дії динамічних сил, інерційної маси конструкції, пружних і непружних реакцій.

При гармонійних коливаннях закон зміни переміщення z залежно від часу t має такий вигляд (рис. 4.12) :

$$z = a \sin(\omega t + \alpha), \quad (4.1)$$

де a - амплітуда коливань;

$(\omega t + \alpha)$ – фаза коливань, яка визначає положення точки, що коливається, у момент часу t ;

α – початкова фаза коливань при $t=0$;

$\omega = \frac{2\pi}{T}$ – кругова (циклічна) частота збудливої сили, дорівнює числу циклів коливань за 2π секунд;

T - період коливань, дорівнює тривалості одного циклу коливання, сек.;

$f = \frac{1}{T}$ (Гц) - частота коливань, дорівнює числу циклів коливань за одиницю часу.

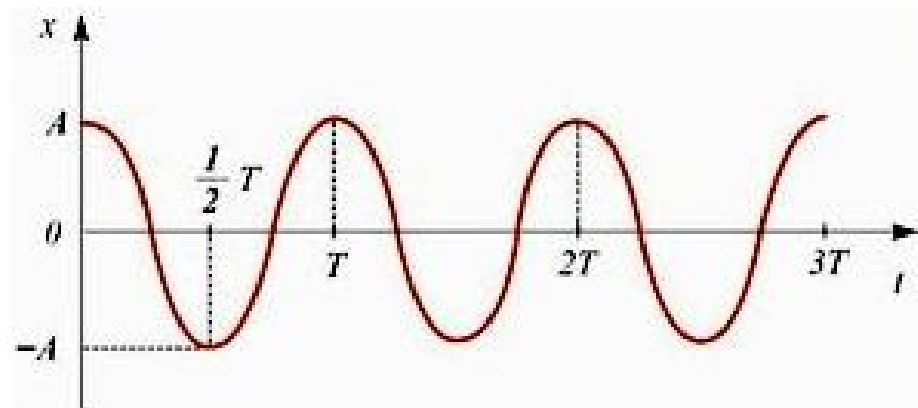


Рис. 4.12 - Графік незгасаючих гармонійних коливань

Основною динамічною характеристикою будь-якої конструкції є властиві їй частоти власних коливань, число яких визначається числом ступенів свободи коливальної системи. До числа систем з одним ступенем свободи відносяться гнучкі балки із зосередженою масою в середині прольоту, масивні жорсткі фундаменти при вертикальних коливаннях і так далі. Балки з рівномірно розподіленим навантаженням є системою з нескінченним числом ступенів свободи. Кожній частоті власних коливань відповідає своя форма коливань балки (рис. 4.13).

З наближенням частоти збудливої сили, до частоти власних коливань амплітуда коливань конструкції збільшується. При збіжності цих частот амплітуда коливань досягає максимального значення і настає так зване явище «резонансу».

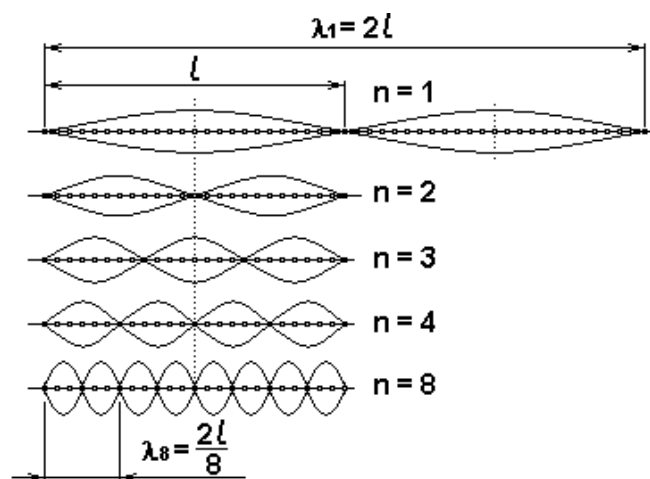


Рис. 4.13 - Форми коливань однопролітної балки

Проте, у зв'язку з тим, що усі будівельні матеріали окрім пружних мають також і непружні властивості, то амплітуда при резонансі завжди буває кінцевою. Як правило, максимального значення амплітуди досягають при частотах збудливої сили, близьких частоті основного (першого) тону власних коливань конструкції.