

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЧЕРНІГІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

ВИПРОБУВАННЯ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД (ЗБК)

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт
для здобувачів вищої освіти спеціальності 192 "Будівництво та
цивільна інженерія"

ЗАТВЕРДЖЕНО
на засіданні кафедри технологій
зварювання та будівництва №10 від
18.03.2021 р.

Випробування будівель і споруд (ЗБК). Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для здобувачів вищої освіти спеціальності 192 "Будівництво та цивільна інженерія" /Укл.: Болотов М.Г. – Чернігів: ЧНТУ, 2021. – 45с.

Укладачі: Болотов Максим Геннадійович, кандидат технічних наук, доцент;
Болотов Геннадій Павлович, доктор технічних наук, професор.

Відповідальний за випуск: Прибитько Ірина Олександрівна, завідувач кафедри технологій зварювання та будівництва, кандидат технічних наук, доцент Національного університету «Чернігівська політехніка».

Рецензент: Ганєєв Тимур Рашитович, кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій зварювання та будівництва Національного університету «Чернігівська політехніка».

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1. Лабораторна робота №1 - Механічні прилади для статичних випробувань будівельних конструкцій.....	5
2. Лабораторна робота №2 - Визначення міцності бетону механічними методами неруйнівного контролю.....	25
3. Лабораторна робота № 3 - оцінка якості армування залізобетонних конструкцій ультразвуком	34
4. Лабораторна робота № 4 - Магнітні методи обстеження залізобетонних конструкцій.....	39
Рекомендована література.....	45

ВСТУП

Навчальна дисципліна "Випробування будівель і споруд (ЗБК)" є однією з профільюючих дисциплін фахової підготовки магістрів-будівельників. Її метою є ознайомлення здобувачів вищої освіти з основними положеннями теорії надійності, методами забезпечення надійності будівельних об'єктів, методами оцінювання показників надійності та довговічності будівельних конструкцій і виробів, вивчення практичних методів статистичного дослідження й нормування навантажень на будівельні конструкції.

У результаті проходження курсу лабораторних робіт з навчальної дисципліни "Випробування будівель і споруд (ЗБК)" здобувач вищої освіти повинен знати: основні поняття теорії надійності, вимоги до надійності будівельних конструкцій, будівель і споруд і засоби забезпечення їх надійності, компоненти та показники надійності, моделі відмов і методи оцінювання надійності й довговічності будівельних конструкцій та виробів, імовірнісні моделі навантажень, методи статистичного дослідження й нормування навантажень на будівельні конструкції.

Даний курс лабораторних робіт охоплює всі основні теми навчальної та робочої програм з дисципліни "Випробування будівель і споруд (ЗБК)". При її складанні дотримані всі методичні рекомендації для складання подібних вказівок для студентів вищих навчальних закладів.

Лабораторна робота №1

МЕХАНІЧНІ ПРИЛАДИ ДЛЯ СТАТИЧНИХ ВИПРОБУВАНЬ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Мета роботи - теоретично ознайомитися з основними механічними вимірювальними приладами, вивчення їх конструкції і основні правила роботи з ними.

1.1 Прилади для вимірювання переміщень

1.1.1 Прогиномір М.М. Максимова ПМ-3

Прогиномір системи Максимова ПМ-3 використовується для вимірювання переміщень окремих точок конструкції на величину до 10 см (повне коло малої «сантиметрової» шкали приладу) і більше. Ціна поділки шкали приладу - 0,01 см. Загальний вигляд прогиноміра і його основні частини наведені на рисунку 1.1

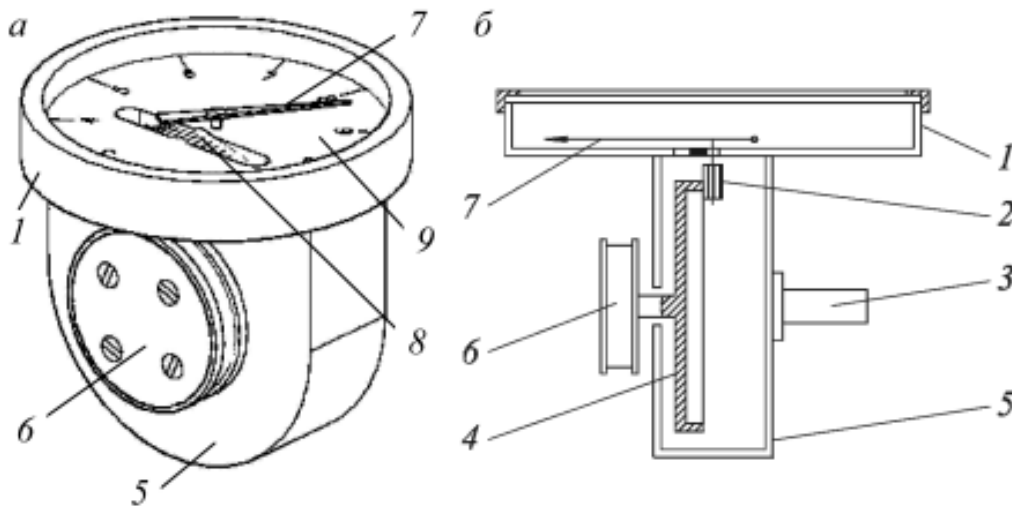


Рисунок 1.1. Прогиномір М.М. Максимова ПМ-3: а – загальний вид ; б – розріз: 1 - корпус для розміщення відлікового механізму прогиноміру; 2 - трібка (на осі якої розташована стрілка прогиноміру); 3 - хвостовик (служує для кріплення прогиноміру до струбцини); 4 - диск, на торці якого по всьому колу нарізані зубці (диск проградуїований - повний оберт диска забезпечує переміщення в 10 см); 5 - корпус для розміщення вимірювального механізму прогиноміру; 6 - приводний шків (шків жорстко з'єднаний з диском 4); 7 - стрілка прогиноміру; 8 - отвір в пластині циферблата прогиноміру, через який зчитуються показання з проградуїованого диска 4 (сантиметри); 9 - шкала прогиноміру (повний оборот стрілки прогиномір забезпечує переміщення в 1 см).

Зв'язок приладу з конструкцією, що випробовується здійснюється за допомогою сталевого дроту діаметром 0,4 мм, що застосовується при вимірах. Дріт прикріплюється в розрахунковому перерізі конструкції (це буде так звана «рухома точка», яка переміщається разом з конструкцією у міру її деформування), потім перемотується через шків прогиноміру, а іншим кінцем з'єднується з гирею вагою в 1 кг. Струбцина прогиноміру поєднується з ним через хвостовик і кріпиться до будь-якої «нерухомої точки» (наприклад, це може бути кілочок, забитий в землю, і т. д.). При деформації конструкції разом з нею під дією гирі, підвішеної до дроту, повертається і приводний шків, що в свою чергу призводить до зміни показань прогиноміру.

Фрагмент статичних випробувань залізобетонної плити з використанням прогиноміру ПМ-3 наведено на рис 1.2.



Рисунок 1.2. Прогиномір ПМ-3 в перерізі $L/2$ залізобетонної плити.

1.1.2 Прогиномір системи М.М. Аістова і В.Т. Овчинникова ПАО-6

Прилад є прогиномір з дротяним зв'язком і використовується для вимірювання переміщень окремих точок конструкції на величину до 10 см (повний хід стрілки на «сантиметровій» шкалі прогиноміру) і більше (при переході стрілки на друге і далі коло). Ціна поділки шкали приладу - 0,01 мм. Загальний вигляд прогиноміру і його кінематична схема наведені на рис. 1.3, а і б.

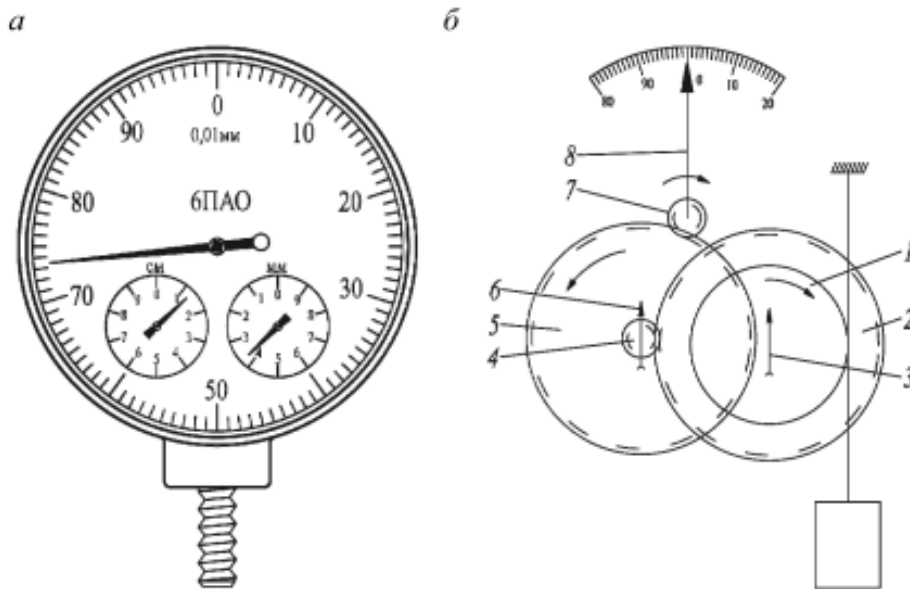


Рисунок 1.3. Прогиномір М.М. Аістова ПАО-6: а - загальний вигляд; б - кінематична схема приладу: 1 - приводний шків; 2 - велика шестерня (жорстко з'єднана зі шківом і стрілкою 3 і входить в зачеплення з зубами трібки 4); 3, 6, 8 - стрілки прогиноміру; 4 - трібка з зубцями; 5 - шестерня (з'єднана зубцями з трібкою 7); 7 - трібка (на осі трібки розташована стрілка 8).

Особливістю даного приладу є те, що в його комплектність входить також і спеціально розроблена для нього знімна струбцина (кріпиться з прогиноміром за допомогою виносного гвинта - див. рис. 1.3, а) зі сферичним шарніром, що дозволяє орієнтувати в просторі шкалу прогиноміру в будь-якому зручному для оператора положенні. Зв'язок приладу з випробовуваною конструкцією здійснюється через сталевий дріт діаметром 0,4 мм (аналогічно до прогиноміру ПМ-3). Фрагмент установки прогиномірів ПАО-6, використовуваних для визначення прогинів балок прогонової будови автодорожнього моста, що випробовується наведено на рис. 1.4.



Рисунок 1.4. Установка прогиномірів типу ПАТ-6 в розрахунковому перерізі $L/2$ прогонової будови автодорожнього моста.

1.1.3 Прогиномір А.М. Ємельянова

Прогиномір А.М. Ємельянова має точність визначення деформацій 0,01 мм і необмежений діапазон вимірювань. Прилад (рис.1.5) складається з корпусу 1 у вигляді циліндричної коробки, яка підтримується стрижнем 2, що закріплюється в струбчинки. На стрижні 2 на двох шарикопідшипниках може обертатися шків 3, наглухо з'єднаний з шестернею 4. Ця шестерня зчеплена з трубкою 5, сидить на одній осі з шестернею 6, в свою чергу зчепленою з трубкою 7, на осі якої насаджена стрілка 8.

Прилад з'єднується з досліджуваною конструкцією аналогічно до прогиноміру Максимова і має ціну однієї поділки шкали, що дорівнює 0,01 мм прогину конструкції. На осі трубки 5 і шестерні 6 насаджена стрілка 9, за допомогою якої на малому лімбі можна прочитати поділки, що відповідають прогину конструкції в 1,0 мм.

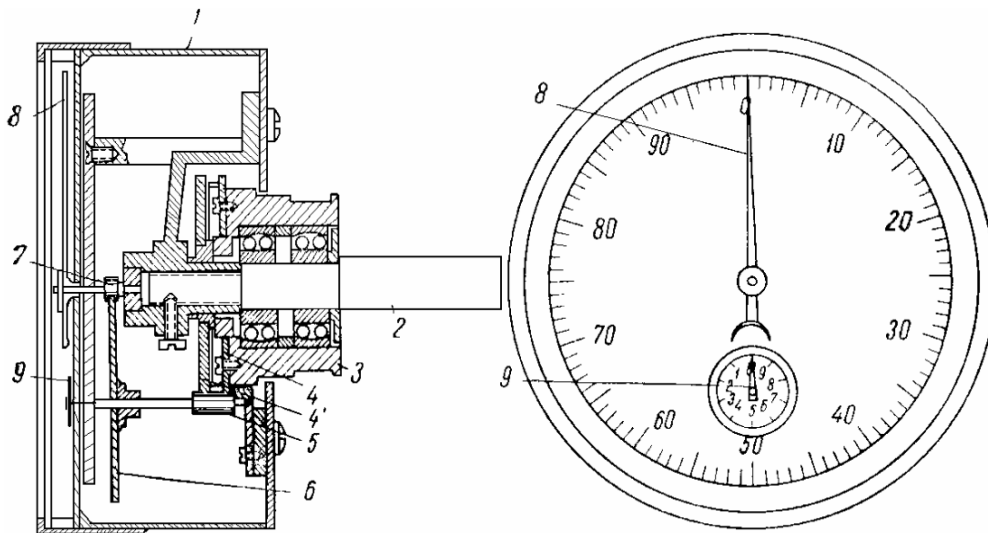


Рисунок 1.5. Прогиномір А.М. Ємельянова: 1- корпус; 2 – стрижень; 3 – шків; 4, 4' – шестерні; 5, 7 – з'єднувальні трубки; 8, 9 – індикаторні стрілки прогиноміру.

Для зменшення впливу люфту поруч з шестернею 4 поміщена на деякій відстані від неї шестерня 4' такого ж розміру. Між цими шестернями розташована пружина, що розгортає їх в різні боки до зіткнення в трубці 5 до двох суміжних зубців, усуваючи люфт.

1.1.4 Індикатори годинникового типу ІГ-10, ІГ-50

Індикатори годинного типу дозволяють визначати вертикальні і горизонтальні переміщення окремих точок конструкції: ІГ-10 - від 0 до 10 мм; ІГ-50 - від 0 до 50 мм. Ціна поділки шкали обох типів індикаторів - 0,01 мм. Загальний вигляд індикатора ІГ-10 і його основні частини наведені на рис. 1,6а і б, 1,7а; індикатора ІГ-50 - на рис. 1,7б.

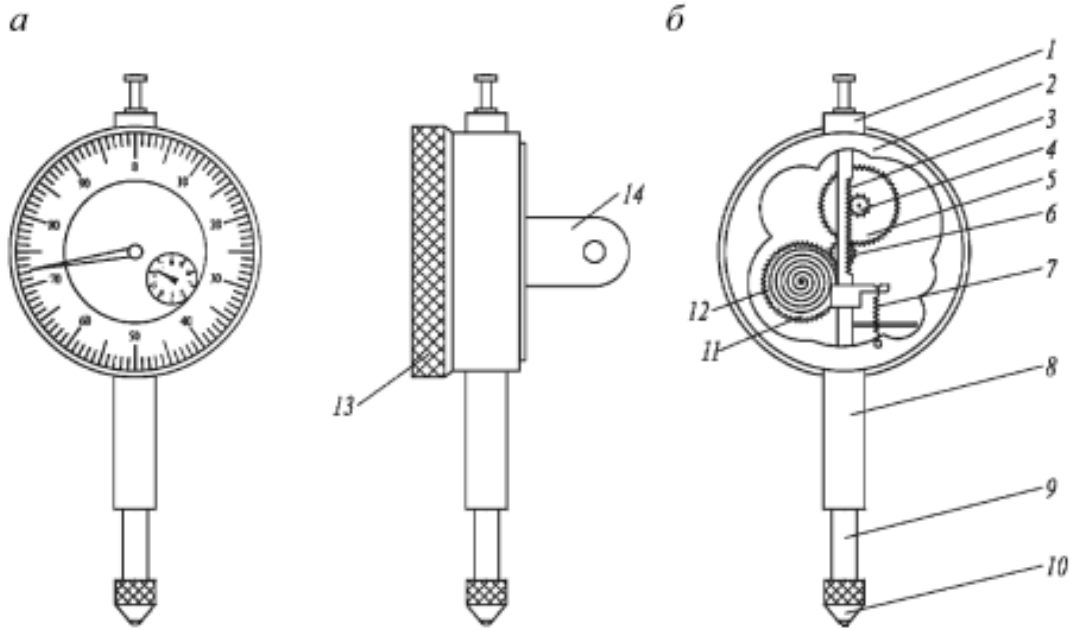


Рисунок 1.6. Індикатор годинникового типу ИЧ-10: а - загальний вигляд; б - основні частини індикатора: 1, 8 - верхня і нижня гільзи (виконують роль напрямних для переміщення вимірювального стрижня); 2 - кільце; 3 - зуби для середньої частини вимірювального стрижня; 4 - трібка; 5 - зубчасте колесо (жорстко пов'язане з трібкою); 6 - шестерня (на осі якої насаджена велика стрілка індикатора); 7 - пружина (для утримування вимірювального стрижня в нижньому положенні); 9 - вимірювальний стрижень; 10 - наконечник; 11 - зубчасте колесо; 12 - спіральна пружина (передає через зубчасту передачу зусилля, утримує вимірювальний стрижень в нижньому положенні); 13 - поворотне кільце (за допомогою кільця прилад можна налаштувати на «нульовий» або будь-який інший, за бажанням оператора, відлік), 14 - хвостовик (для прикріплення індикатора до струбцині).

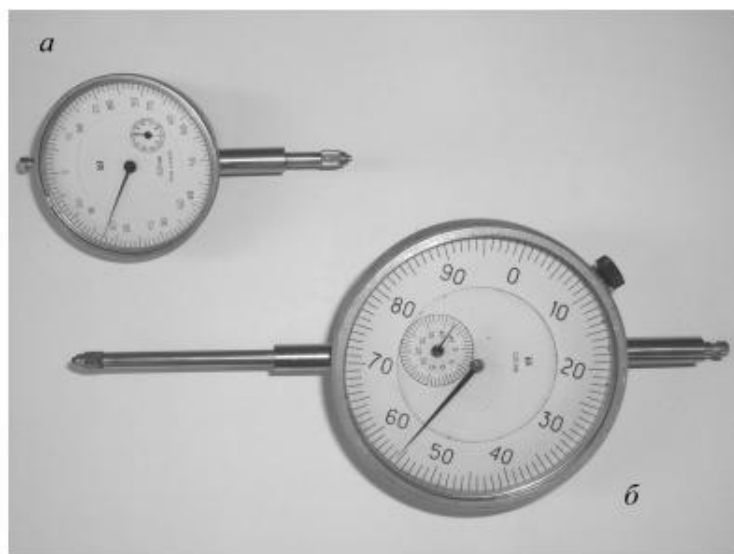


Рисунок 1.7. Індикатор годинникового типу ИГ-10 (а); індикатор годинникового типу ИГ-50 (б).

Для забезпечення контакту індикатора (через наконечник 10 - див. рис. 1.6, б) з випробовуваною конструкцією, як правило, використовуються спеціальні пристосування (наприклад, струбцини або стискання), які кріпляться до нижньої гільзи 8 або до хвостовика 14 індикатора. Самі ж струбцини повинні бути закріплені з будь-якою «нерухомою точкою», щодо якої будуть зніматися відліки.

Також для забезпечення контакту індикатора з конструкцією широко використовується універсальний штатив. В цьому випадку індикатор кріпиться до спеціальної планки штатива, а конструкція самого штатива дозволяє зорієнтувати вимірювальний стрижень (а значить, і його шкалу) під будь-яким кутом в просторі, що робить його надзвичайно зручним. Конструкція штатива з закріпленням на ньому індикатором ІГ-10 наведена на рис. 1.8. Фрагмент підготовки залізобетонної плити до статичних випробувань з використанням індикатора годинникового типу ІГ-10 наведено на рис. 1.9.



Рисунок 1.8. Універсальний штатив із закріпленням на ньому індикатором годинникового типу ІГ-10.



Рисунок 1.9. Фрагмент підготовки залізобетонної плити до статичних випробувань: установка індикатора годинникового типу ІГ-10 в торці плити для визначення можливого просмикування арматури по бетону.

1.2 Прилади для вимірювання кутів повороту

1.2.1 Клінометр М.М. Аїстова КА-4

Клінометр маятниковий електромеханічний системи Аїстова використовується для вимірювання кутів повороту розрахункових перетинів елементів або вузлів конструкції. Загальний вигляд клінометра Аїстова і його основні частини наведені на рис. 1.10.

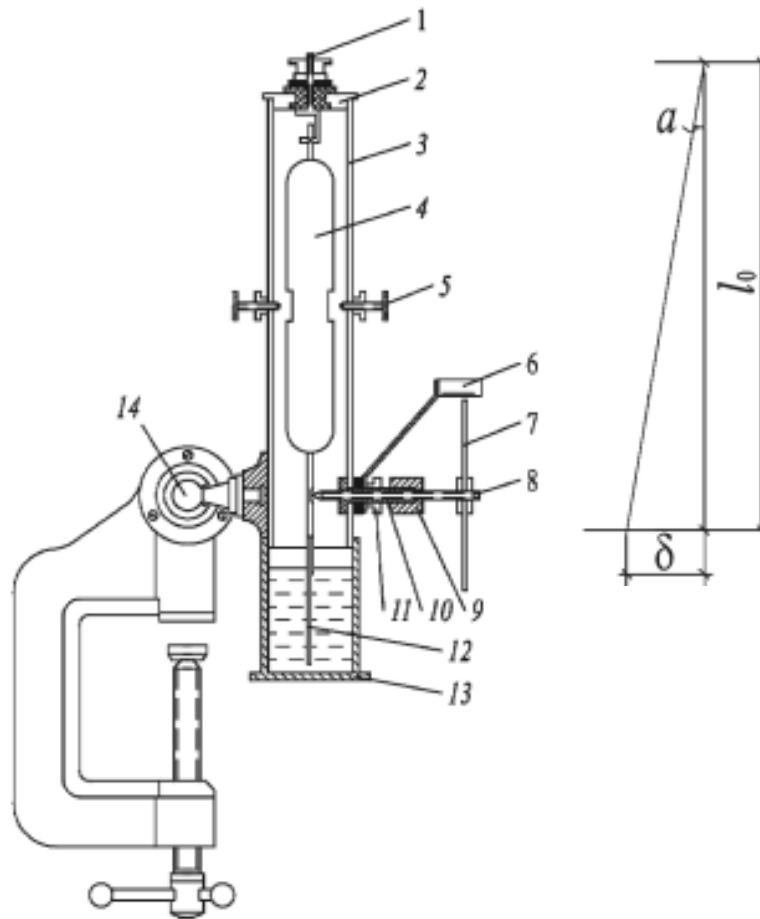


Рисунок 1.10. Клінометр маятниковий системи Аістова КА-4 і його основні частини: 1 - клема (електрично ізольована від корпусу приладу); 2 - кришка; 3 - корпус клінометра; 4 - маятник (підвішений до клеми); 5 - кріпильні гвинти (фіксують маятник приладу від розгойдування при його транспортуванні); 6 - показчик (кріпиться до муфти 10); 7 - лімб зі шкалою (закріплений на мікрометричному гвинті); 8 - мікрометричний гвинт (ввертається у внутрішній отвір муфти 10); 9 - натяжна гайка (служить для усунення зазору між різьбленням мікрометричного гвинта 8 і різьбленням муфти 10); 10 - муфта (вбудована в отвір, влаштований в нижній частині корпусу приладу), у внутрішній отвір якої вкручений мікрометричний гвинт; 11 - гайка, притискає показчик 6 до корпусу приладу 3; 12 - весло, прикріплене до маятника 4 і поміщене всередину бачка 13 з рідиною; 13 - бачок із заповненою рідиною; 14 - сферичний шарнір (служить для кріплення клінометра до трубки).

При підготовці до статичних випробувань будівельних конструкцій клінометри, як правило, встановлюють на тих ділянках конструкції, де очікуються найбільші повороти їх розрахункових перетинів (або вузлів).

В робоче положення прилад встановлюється таким чином, щоб площина хитання маятника збігалася з площиною повороту перетину або вузла випробуваної конструкції, при цьому корпус приладу повинен бути приведений у вертикальне положення, а кріпильні гвинти 5 і мікрометричний

гвинт 8 не повинні стикатися з маятником приладу (т. е. маятник повинен вільно висіти на клеми, як схил). Потім обертанням мікрометричного гвинта 8 його вістря потрібно підвести до маятника. Момент дотикання вістря гвинта з маятником буде визначати «нульовий» відлік C_0 , який необхідно зафіксувати в журналі випробувань (відлік знімається за шкалою лімба 7 приладу). Так як момент торкання мікрометричного гвинта з маятником візуально визначити досить важко, тому для визначення моменту цього торкання клінометр включається в електричний ланцюг. Один провід електричного кола приєднують до клеми 1, другий - до корпусу 3 приладу. Маятник 4 (через клему) і вістря мікрометричного гвинта 8 виконують роль електричних контактів ланцюга. При замиканні ланцюга джерело живлення подає звуковий сигнал.

Після прикладання до випробуваної конструкції зовнішнього навантаження розрахунковий переріз, до якого прикріплений клінометр, повернеться, а значить, відхилиться від початкового вертикального положення і корпус приладу. Маятник приладу (функціонально працює як схил) також буде займати строго вертикальне положення. Для визначення величини кута повороту розрахункового перетину при деформованому стані конструкції необхідно повторити раніше виконану операцію і зняти відлік C_1 . Різниця відліків $\Delta C = C_1 - C_0$, помножена на ціну поділки шкали приладу, і становитиме кут повороту.

1.2.2 Клінометр Стоппані

Клінометр рівневий системи Стоппані використовується для вимірювання кутів повороту розрахункових перетинів елементів або вузлів конструкції. Загальний вигляд клінометра Стоппані і його основні частини наведені на рис. 1.11.

В робоче положення прилад встановлюється таким чином, щоб поздовжня вісь рівня збігалася з площиною повороту перетину або вузла випробуваної конструкції. Потім рівень 3 приладу необхідно привести в горизонтальне положення обертанням мікрометричного гвинта 13 і зняти з лімба початковий відлік C_1 .

При установці рівня в горизонтальне положення бульбашка рівня повинна бути розташована на нульовій позначці. Після прикладання до випробуваної конструкції зовнішнього навантаження перетин, до якого прикріплений прилад, повернеться і рівень нахилиться, а бульбашка, відповідно, зміститься з нульової позначки. Щоб виявити кут нахилу розрахункового перетину конструкції, що утворився, необхідно знову повторити раніше пророблену операцію: привести рівень в горизонтальне положення і потім зняти з лімба відлік C_2 . Різниця відліків $\Delta C = C_2 - C_1$ і буде виражати вертикальне переміщення δ правого кінця рівня (в точці кріплення скоби 8 до планки 1 приладу). Поворот розрахункового перетину конструкції можна визначити через тангенс кута нахилу α рівня приладу як $\operatorname{tg} \alpha = \delta / l_0$ (де

l_0 - довжина рівня, що дорівнює відстані від шарнірно-нерухомої опори 2 до мікрометричного гвинта 13, що упирається в консоль 7). Шкала клінометра проградуєвана в одиницях кутових деформацій (секундах).

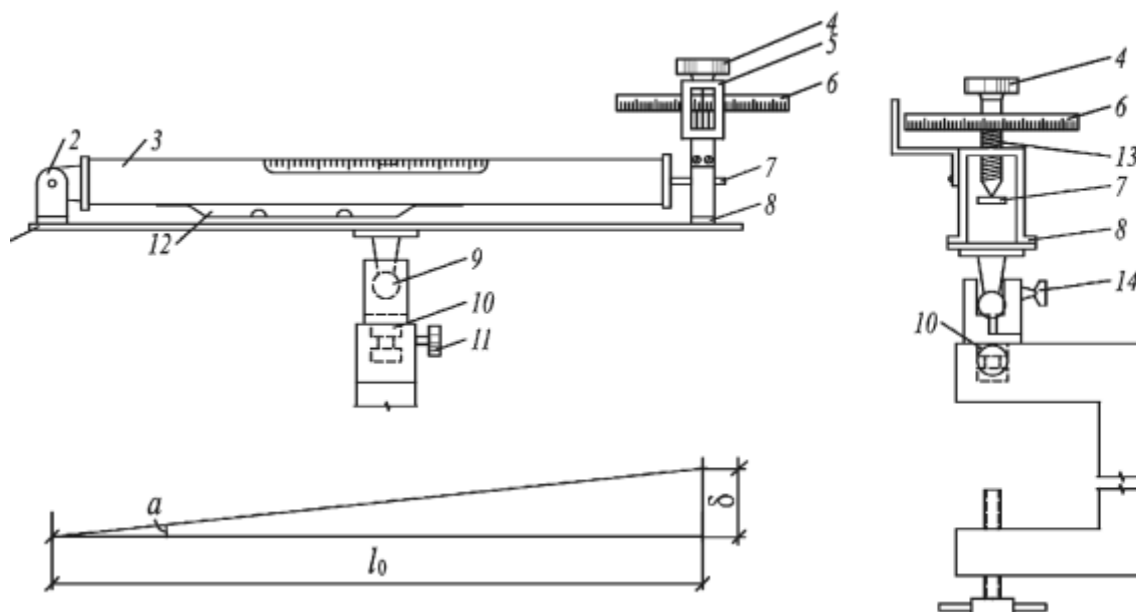


Рисунок 1.11. Клінометр рівневий (клінометр Стоппані) і його основні частини: 1 - планка (є підставою приладу); 2 - шарнірно-нерухома опора рівня 3 (закріплена на лівому кінці планки); 3 - рівень; 4 - рукоятка для обертання мікрометричного гвинта; 5 - візирний дріт; 6 - лімб зі шкалою (закріплений на мікрометричному гвинта); 7 - консоль рівня (переміщення мікрометричного гвинта, що впирається в консоль, призводить до повороту рівня 3 щодо опори 2); 8 - скоба (закріплена на правому кінці планки); 9 - сферичний шарнір струбцини; 10 - обойма струбцини; 11 - кріпильний гвинт для фіксації обойми струбцини в необхідному положенні; 12 - плоска пружина (розташована між рівнем 3 і планкою 1 - забезпечує надійний контакт між вістрям мікрометричного гвинта 13 і консоллю рівня 7); 13 - мікрометричний гвинт; 14 - кріпильний гвинт для фіксації сферичного шарніра струбцини.

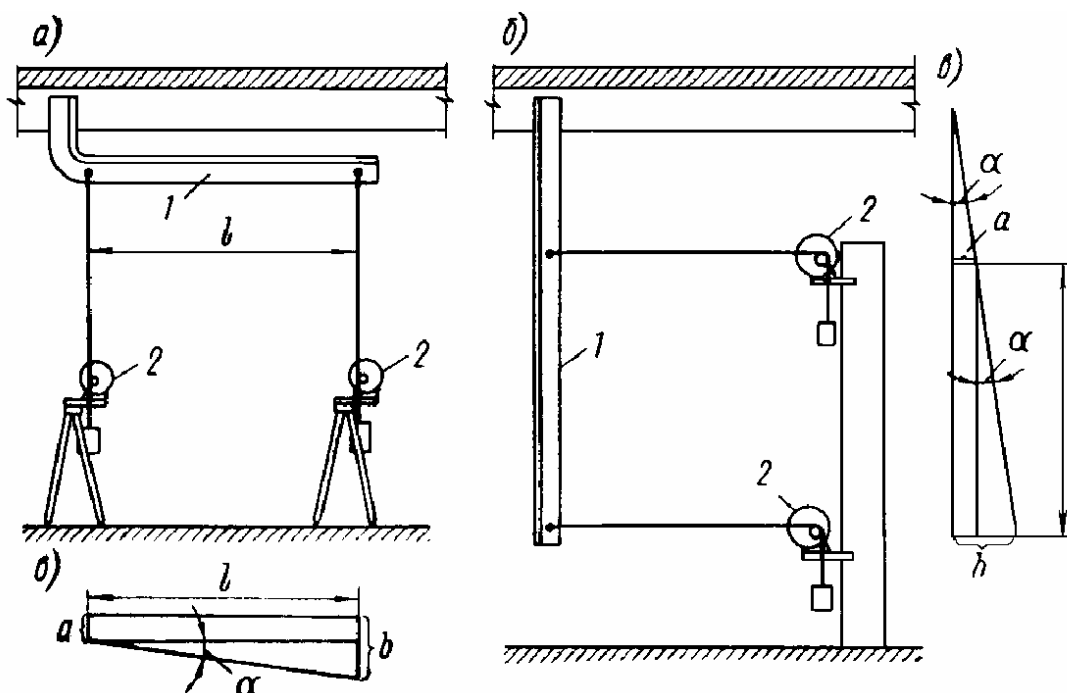
1.2.3 Важільний клінометр

Важільний клінометр розроблений в механічній лабораторії Ленінградського інженерно-будівельного інституту і заснований на застосуванні важеля і двох прогиномірів ПА-3 (рис. 1.12).

На досліджуваному елементі конструкції кріпиться Т-подібний важіль з кутника довжиною понад 1 м. У двох точках на відстані одна від іншої 1000 мм просвердлюють два отвори, в яких закріплюються тонкі дроти з вантажами на кінцях. Під цими точками встановлюються два прогиноміри, і дроти обгинаються навколо їх ведучих роликів.

Перед завантаженням конструкції за обома прогиномірами беруться відліки c_1 і c_2 . Після завантаження перетину беруться наступні відліки c_1' і c_2' .

Різниця відліків по лівому прогиноміру дає переміщення точки 1 на величину $a = c_1 - c_1'$; а по правому прогиноміру - точки 2 на величину $b = c_1 - c_1'$



Рисунко 1.12. Важільний клінометр: а - з горизонтальним важелем; б - з вертикальним важелем; в - схема роботи

Тангенс кута повороту дорівнює $\operatorname{tg}\alpha = (b-a)/l$. Якщо прийняти прогиноміри, що мають точність в 0,01 мм, то обчислений $\operatorname{tg}\alpha$ відповідає куту в 2", тобто значно менше, ніж за рівневим або маятниковим клінометрам.

Важільний клінометр може використовуватися як з горизонтальним важелем, так і з вертикальним. Важільний клінометр простий за будовою і в установці, але вимагає наявності двох прогиномірів для здійснення вимірювань, а також наявності місця, достатнього для розміщення і кріплення важеля.

1.3 Прилади для визначення лінійних деформації

1.3.1 Тензометр Гугенбергера

Тензометр важільного типу ТВ (системи Гугенбергера) застосовується для вимірювання лінійних деформацій поверхневих волокон конструкції при її статичному навантаженні випробувальним навантаженням. Загальний вигляд приладу із зазначенням його окремих частин, а також кінематична схема наведені на рис. 1.13 а і б.

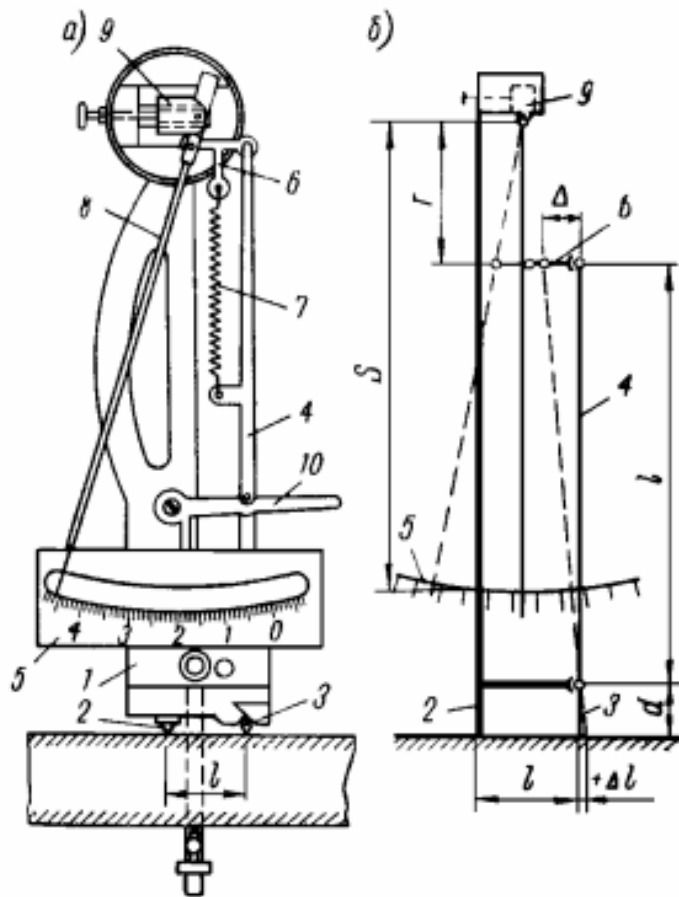


Рисунок 1.13. Тензометр важільного типу: а - загальний вигляд; б - кінематична схема: 1 – корпус; 2 - нерухома опора; 3 - рухома призма; 4 - важіль; 5 - шкала приладу; 6 – коромисло; 7 - пружина (забезпечує постійний контакт коромисла з важелем і стрілкою); 8 – стрілка; 9 – повзунок; 10 - аретир (закріплює систему важеля від зсувів при його повороті щодо своєї осі).

Тензометр вимірює абсолютну деформацію волокна в мікронах на базі довжиною 20 мм від ніжки до призми. Один поділ шкали відповідає деформації в 1 мікрон. За допомогою спеціальних подовжувачів база може бути збільшена до 100 або 200 мм. Збільшення приладу, тобто відношення величини переміщення кінця стрілки до переміщення нижнього ребра призми досягається за рахунок відношення плечей d і l - важеля і r і s - стрілки.

До недоліків тензометра Гугенбергера відносяться: а) наявність тонких л частин що легко пошкоджуються; б) неможливість вимірювання деформацій понад 40 мкм без перестановки стрілки; в) складність роботи з приладом на відкритому повітрі в вітряну погоду.

Тензометр важільного типу ТВ зі знімним подовжувачем бази і кріпильною струбциною (для закріплення його на конструкції), наведено на рис. 1.14.

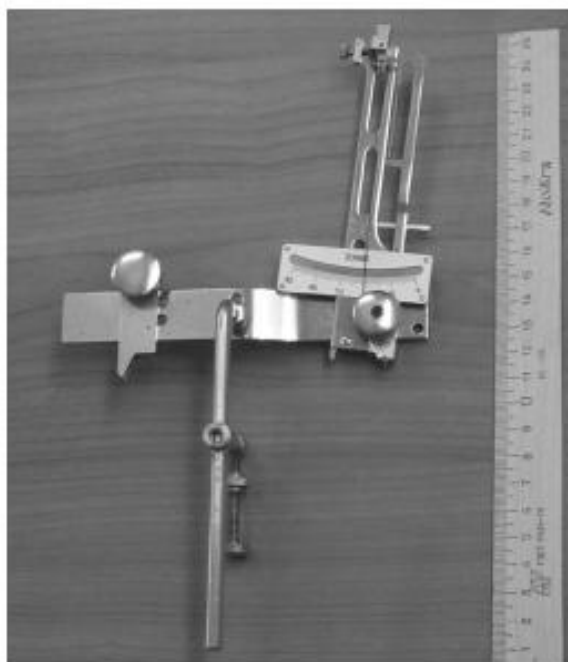


Рисунок 1.14. Тензометр важільного типу зі знімним утеплювачем бази і кріпильною струбциною.

1.3.2 Тензометр М.М. Аістова ТА-2

Тензометр електромеханічний ТА-2 системи Аістова призначається для вимірювання збільшення відстаней між двома точками на поверхні повільно (статично) деформованих тіл. Загальний вигляд приладу і його основні частини наведені на рис. 1.15.

Відліки ведуться наступним чином (рис. 1.15 б). Обертаючи диск проти годинникової стрілки, доводять вістрі гвинта до стикання з пером і беруть перший так званий «нульовий» відлік (1-е положення). Потім, повернувши диск у зворотний бік на 0,5 - 1,5 обороту, відводять вістря гвинта від пера. Після виникнення деформації Δl кінець пера переміститься на величину Δ_0 (r - положення). Знову обертаючи диск проти годинникової стрілки до появи звукового сигналу, беруть другий відлік. Тому деформація матеріалу 0,001 мм, збільшена наприкінці пера до 0,005 мм, відповідає переміщенню гвинта на його повороті на одну поділку шкали (0,5: 100=0,005). Таким чином, ціна поділки шкали дорівнює 0,001 мм, а збільшення приладу дорівнює 1000.

Один оберт диска відповідає деформації 100 мк, а весь хід гвинта дозволяє виміряти деформації до 800 мк. База приладу може змінюватися від 50 до 100 мм за рахунок перестановки ножа 1 від 50 до 100 і 200 мм за рахунок приєднання спеціальних подовжувачів.

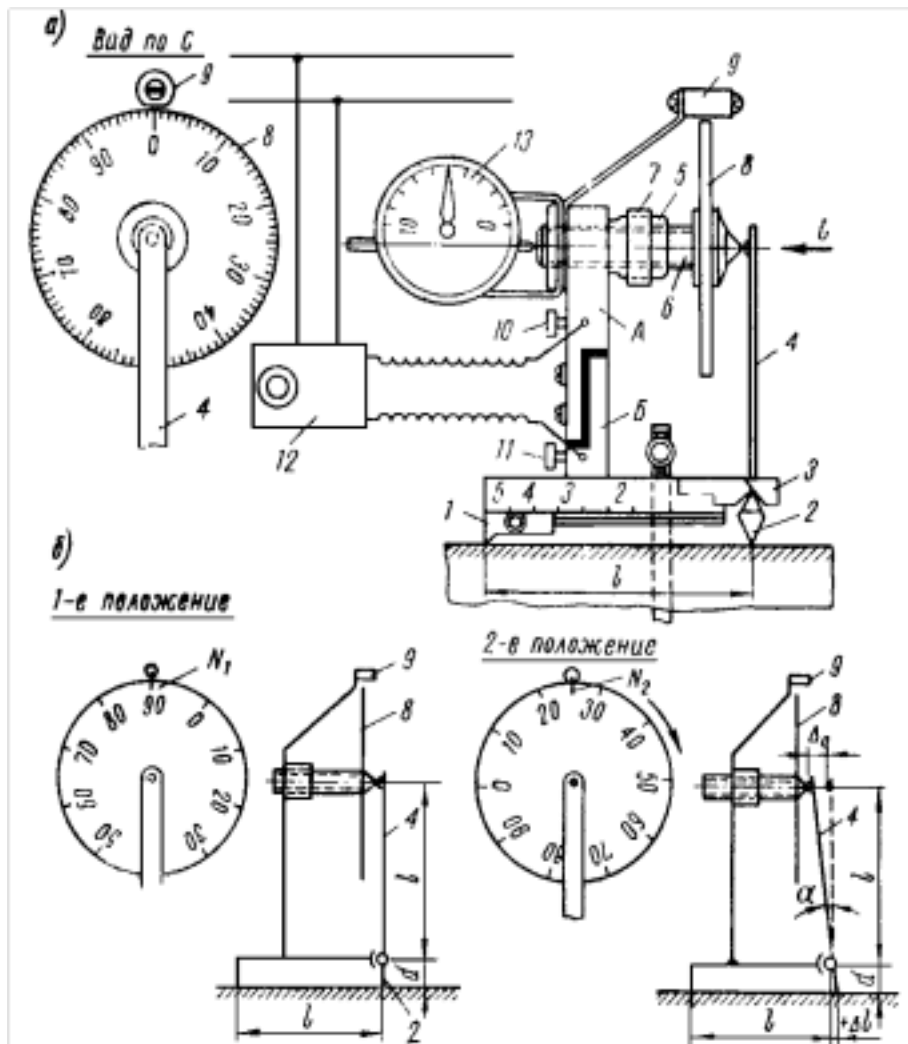


Рисунок 1.15 Тензометр електромеханічний ТА-2 системи Аістова і його основні частини а) загальний вид, б) кінематична схема: 1 – опорний ніж; 2 – призма; 3 – вилка; 4 – перо (кріпиться до рухомої призми); 5 – муфта (через отвір в муфті проходить мікрометричний гвинт); 6 – мікрометричний гвинт; 7 – натяжна гайка (служить для усунення люфту між муфтою і мікрометричним гвинтом); 8 – диск, лімба (лічильник реєстрації оборотів лімба); 9 – покажчик; 10, 11 – клеми (для приєднання проводів від джерела живлення).

Конструкції тензометрів М.М. Аістова (ТА-2, ТА-7) прості, вони зручні для установки і надійні в роботі, проте зняття відліків за шкалою диска шляхом його обертання вручну підвищує похибку виміру. Крім того, візуальне зняття відліків за шкалою кожного приладу вимагає додаткового обслуговуючого персоналу і часу.

Небезпека пошкодження тензометрів при обваленні конструкції вимагає своєчасного зняття їх і виключає можливість вести спостереження до моменту руйнування. Недоліками також є необхідність застосування звукового сигналу і неможливість зняття відліків без дотику до приладу.

1.3.3 Компаратор Душечкіна КД-2

Компаратор Душечкіна КД-2 застосовується для спостереження за деформаціями досліджуваного елемента конструкції протягом тривалого часу і є механічним приладом. Компаратор прикладають до конструкції для взяття відліків, решту часу зберігається в лабораторії.

Для виконання вимірювань намічають на конструкції дві точки на відстані один від одного, рівному базі компаратора. Аналогічні точки є на спеціальному елементі, який є приналежністю компаратора. Компаратор не вимірює самої відстані між точками, а лише дозволяє зафіксувати зміну їх взаємного розташування з високою точністю (до 0,01 або 0,001 мм). Шукана величина деформації елемента знаходиться шляхом порівняння відліків, взятих по компаратору на елементі, з відліками, взятими на ідеалі.

Щоб виключити вплив температурних деформацій, слід виготовляти компаратор і еталон з такого ж матеріалу, що і досліджувана конструкція. Конструкція компаратора Душечкіна КД-2 показана на рис. 1.16. Рухливість штанги 2 створена піддатливістю тонких сталевих пластин 8.

Перевагами приладу є простота звернення, простота конструкції, а також легкість отримання добре зберігаються базисних точок, що створюються шляхом свердління неглибоких отворів діаметром 0,4-0,8 мм.

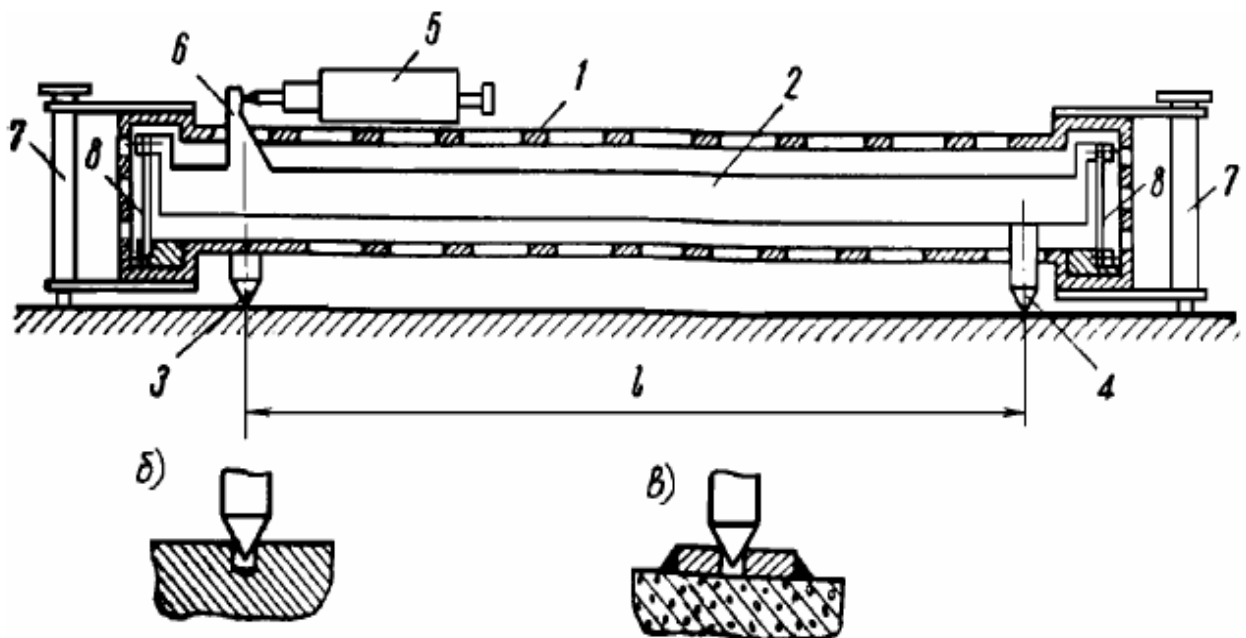


Рисунок 1.16. Компаратор КД-2: а - поздовжній розріз; б, в - гнізда для ніжок.

1.4 Прилади для вимірювання деформації зсуву

1.4.1 Тензометр-зсувомір М.М. Аістова ТЗА.

Тензометр-зсувомір ТЗА системи Аістова призначається для вимірювання деформацій зсуву. Загальний вигляд приладу і його основні частини наведені на рис. 1.17, схема установки - на рис. 1.18.

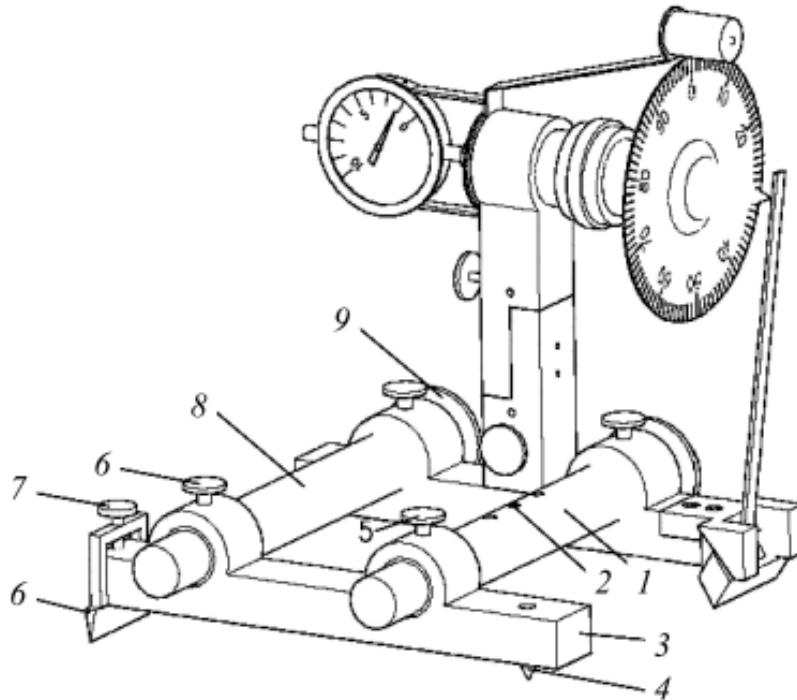


Рисунок 1.17. Електромеханічний тензометр-зсувомір Аістова (ТЗА) і його основні частини: 1, 8 - стрижні, які б поєднували підставу і насадку 3 приладу; 2 - конічні поглиблення в стрижні 1 для встановлення трубки; 3 - насадка; 4 - нерухома кінцева опора; 5 - гвинти (для закріплення стрижнів 1 і 8 на насадці 3); 6 - опора що коливається (підставка); 7 - гвинт для закріплення опори 6 на насадці 3; 9 - гайка для закріплення стрижнів 1 і 8 до основи приладу.

Прилад складається з тензометра ТА-2 зі зміненою підставкою, а також стрижнів 1 і 8 і насадки 3, що додатково додаються до приладу. При використанні приладу в якості зсувоміра нерухома опора 4 тензометра (див. рис. 1.17 і 1.18) не встановлюється.

Для вимірювання зсувів деталі А щодо деталі Б (див. рис. 1.18) необхідно на деталь А в т. *a* поставити рухливу призму тензометра, а на деталь Б в т. *b* і з - нерухома кінцева опора і хитку підставку насадки. Взаємне зміщення деталей переміщує т. *a* в положення *a'* на величину Δl і викликає поворот рухомої призми приладу. Тангенс кута зсуву визначається з виразу $\operatorname{tg}\alpha = \Delta l/l$.

Знаючи початковий («нульовий») і подальший відлік тензометра, можна визначити величину зсуву деформації.

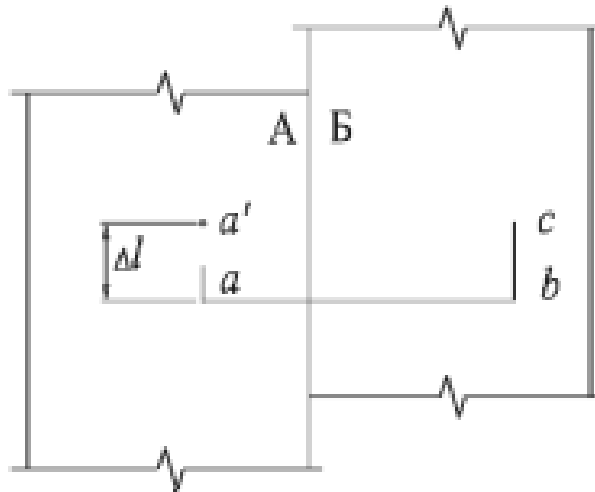


Рисунок 1.18. Схема установки тензметра-зсувоміра.

1.4.2 Тензорезистори провідникові

Тензорезистори провідникові (дротяні і фольгові) застосовуються для вимірювання деформацій волокон випробовуваних конструкцій. Провідникові тензорезистори складаються з чутливого елемента (решітки), підкладки (основи) і вивідних проводів (рис. 1.19).

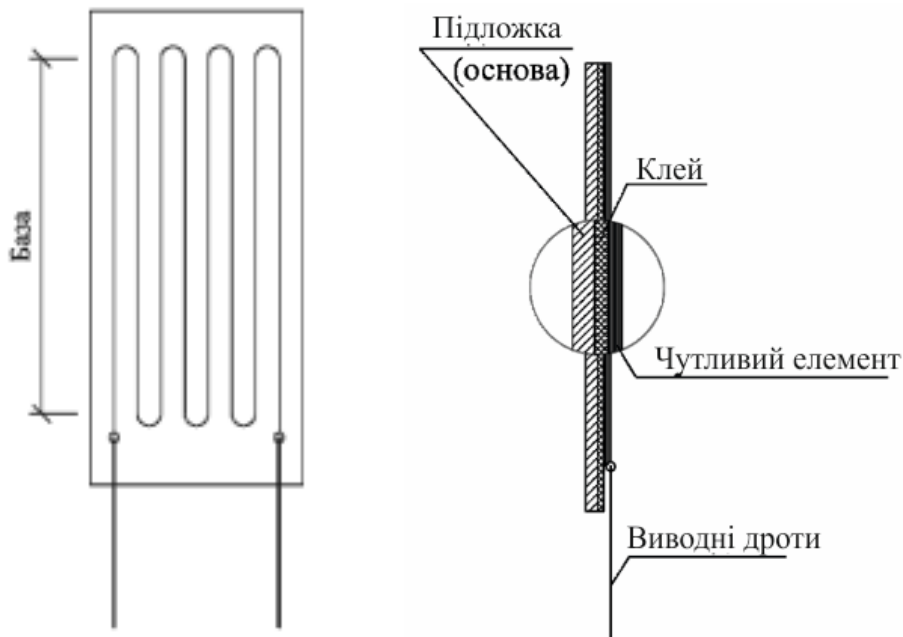


Рисунок 1.19. Дротяний петлевий тензорезистор (з округленнями дроту біля місць перегину).

Вперше ідея винаходу нового способу вимірювання де-формацій твердих тіл, заснована на зміні електричного опору тонкого дроту при її розтягуванні або стисненні, належить американським ученим Е. Симмонсу і А. Руджі.

Цей спосіб знайшов широке поширення при випробуваннях конструкцій як при статичних, так і при динамічних навантаженнях. Тензорезистори прості за конструкцією, мають малі розміри, відрізняються простотою виготовлення, здатні однаково працювати на стиск і розтяг і вимірювати збільшення деформацій на всіх щаблях навантаження, аж до руйнування конструкції. Перераховані якості сприяли швидкому поширенню тензорезисторів при проведенні експериментальних досліджень у багатьох областях науки і техніки.

Властивість провідникових і напівпровідникових матеріалів змінювати електричний опір при деформації називається *тензоефектом*. При підготовці конструкції до експериментальних досліджень на її елементи в обраних розрахункових перетинах наклеюються тензорезистори, які в подальшому, при прикладанні до конструкції випробувального навантаження, будуть відчувати ті ж деформації, що і деформації волокон досліджуваних елементів в їх розрахункових перетинах.

Для забезпечення спільної деформації чутливого елемента (решітки) та основи (яка може бути або паперової, або плівкової) решітка наклеюється на основу спеціальними Невисихаюче клеями (наприклад, клеї типу БФ і ВЛ).

Основа тензорезистора служить для закріплення на ній чутливого елемента і для його електричної ізоляції від матеріалу конструкції, на яку тензорезистор наклеюватиметься.

Таким чином, основа тензорезистора виконує кілька функцій: по-перше, вона служить для закріплення на ній чутливого елемента (решітки); по-друге, сприймає деформації об'єкта і передає їх чутливого елемента і, по-третє, служить електричним ізолятором, що оберігає чутливий елемент від матеріалу конструкції (наприклад, металу), на яку буде наклеюватися тензорезистор.

В якості підкладки (основи) тензорезистора може бути використана спеціальна папір товщиною 0,075-0,100 мм, просочена лаком (паперова основа), або плівки лаків, смол, клею (плівкова основа). Основа тензорезистора повинна відповідати наступним вимогам: вона повинна мати мінімальну товщину, мінімальну гігроскопічність, незначну жорсткість при розтягуванні - стисканні, а також хороші електроізолюючі властивості.

Чутливий елемент тензорезистора виготовляють з дроту діаметром 10-25 мкм (для дротяних тензорезисторів) або тонкої фольги товщиною 2-5 мкм (для фольгових тензорезисторів). Попередньо нанесена на фольгу клейова плівка служить підкладкою (осною) для фольгового тензорезистора.

Вивідні дроти дротяного тензорезистора виконують з мідного лудженого дроту діаметром 0,15...0,30 мм або вивідних смужок з мідної фольги товщиною 0,05 мм і шириною 1,0 мм. Вивідні дроти з тензорешіткою з'єднують пайкою. Після наклеювання тензорезистора на конструкцію до вивідних проводів приєднують дроти, підключають тензорезистор до вимірювального пристрою. При виборі матеріалу для дроту або фольги чутливого елемента слід враховувати не тільки його чутливість, але і температурний коефіцієнт опору (ТКО). Це викликано тією обставиною, що

зміна опору тензорезистора, обумовлене зміною температури навколишнього середовища, може виявитися одного порядку з вимірюваною деформацією. У зв'язку з цим для виготовлення тензорезисторів зазвичай використовують матеріали, що володіють високою чутливістю і малим температурним коефіцієнтом опору. Цими властивостями володіють такі матеріали, як константан (сплав 60% міді і 40% нікелю), ніхром (сплав 80% нікелю і 20% хрому), манганін (сплав 84% міді, 4% нікелю і 12% марганцю). Наприклад, константанові тензорезистори характеризуються надійністю, стабільністю електричних і механічних властивостей, а також відносно малим температурним коефіцієнтом опору, рівним приблизно $2 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹.

1.5 Загальні відомості про перевірки вимірювальних приладів

Всі механічні прилади, що застосовуються для вимірювання деформацій будівельних конструкцій, виготовляються з особливою ретельністю і точністю, проте надзвичайно важко побудувати такий механічний прилад, який мав би проектну точність вимірювання деформацій, тобто давав можливість отримувати різниці відліків за шкалою, збільшені в порівнянні з істинними деформаціями точно в сто, тисячу разів і ін. Як приклад можна привести або механічний прилад, що складається з низки елементів (призм, важелів, мікрометричних гвинтів, шкал і т.п.), який утворює передавальний механізм; помилка в розмірах кожної з них викликає зміну запроєктованого збільшення.

Так як подібне явище майже неминуче, то для зменшення його дії вдаються до наступного прийому. Прилад виготовляється з можливо більшою точністю, після чого його показання перевіряються на спеціальних пристроях, які називаються «тарувальними машинами» або «тензокалібраторами». Ці машини мають точність, що перевищує точність тих, що таруються приладів в десятки і сотні разів. Прилад, що перевіряється встановлюється на тарувальній машині, в якій створюються лінійні або кутові переміщення, реєстровані повіреним приладом.

Зіставляючи збільшення показань машини, легко обчислити поправочний коефіцієнт, що дає можливість привести різниці відліків повіреного приладу до проектної точності.

Якщо різниця показань повіреного приладу при певному переміщенні дорівнює величині ΔC_{np} , а різниця показань тарувальної машини при тому ж переміщенні становить ΔC_{tm} , то справедливо рівняння:

$$k \cdot \Delta C_{np} = \Delta C_{tm}, \quad (1.1)$$

де k – поправочний коефіцієнт.

При точному виготовленні приладу різниця його показань буде дорівнювати різниці показань тарувальної машини, і тоді поправочний коефіцієнт $k = 1$.

У загальному випадку поправочний коефіцієнт дорівнює:

$$k = \frac{\Delta C_{\text{тм}}}{\Delta C_{\text{пр}}} \quad (1.2)$$

Поправочний коефіцієнт представляє собою дійсну ціну однієї поділки шкали. Поправочний коефіцієнт повинен знаходитися в межах: $k=1,00\pm 0,10$.

Помноживши різницю відліків повіреного приладу на поправочний коефіцієнт k , отримаємо дійсну деформацію досліджуваного елемента конструкції:

$$\Delta C_{\text{эл}} = k \cdot \Delta C_{\text{пр}} \quad (1.3)$$

Всі прилади, призначені для вимірювання деформацій будівельних конструкцій, їх елементів, моделей і зразків матеріалів, що знаходяться в частому вживанні, можуть змінювати своє збільшення, так як окремі частини їх зношуються, в результаті чого змінюється передавальне число і поправочний коефіцієнт набуває іншого значення.

Всі вимірювальні прилади, як правило, необхідно періодично перевіряти на тарувальних машинах і кожного разу знов обчислювати поправочний коефіцієнт. Крім обчислення поправочного коефіцієнту визначається також варіація показань приладу, що характеризує стійкість його показань. З цією метою прилад встановлюється на тарувальній машині і лімба її десять разів наводиться на одну і ту ж саму поділку, причому кожен раз береться відлік за повіреним приладом. Варіація показань визначається як різниця між найбільшим і найменшим значеннями з десяти показань за шкалою повіреного приладу. Допустима варіація показань приладу не повинна перевищувати ціни однієї поділки шкали.

У паспорті на кожний механічний вимірювальний прилад має бути зазначено дату і результати перевірок: величини поправочних коефіцієнтів і варіацій показань приладу.

1.6 Контрольні запитання

1. Конструкція, основні характеристики та принцип роботи прогингоміру ПМ-3;
2. Конструкція, основні характеристики та принцип роботи прогингоміру ПАО-6;
3. Конструкція, основні характеристики та принцип роботи прогингоміру А.М. Ємельянова;
4. Основні характеристика та особливості застосування індикаторів годинникового типу ІГ-10, ІГ-50;
5. Для чого використовуються клинометри. Назвіть основні типи клинометрів;

6. Конструкція, основні характеристики та принцип роботи клінометра М.М. Аістова КА-4
7. Конструкція, основні характеристики та принцип роботи клінометра Стоппані;
8. Конструкція, основні характеристики та принцип роботи важільного клінометра;
9. Назвіть прилади для вимірювання деформацій зсуву;
10. Призначення переваги та недоліки тензометра Гугенбергера;
11. Призначення, особливості застосування, переваги та недоліки тензометра М.М. Аістова ТА-2;
12. Призначення, особливості застосування, переваги та недоліки Компаратору Душечкіна КД-2;
13. Назвіть основні елементи дротяного тензорезистору. Які функції вони виконують?
14. Перелічить основні характеристики дротяних тензодатчиків з виділенням позитивних і негативних їх властивостей.
15. Які тензорезистори, як правило, використовуються при випробуваннях залізобетонних конструкцій?
16. Вимоги до вимірювального обладнання

Лабораторна робота №2

ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНОСТІ БЕТОНУ МЕХАНІЧНИМИ МЕТОДАМИ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ

Мета роботи: Ознайомитися з методикою визначення міцності бетону в конструкціях еталонним молотком Кашкарова.

2.1 Короткі теоретичні відомості

Відповідно до ГОСТ 22690-88 при випробуванні неруйнівними методами міцність бетону визначають за попередньо встановленим градувальними залежностями між міцністю бетонних зразків і непрямими характеристиками міцності.

Залежно від застосовуваного методу непрямыми характеристиками міцності є:

- значення відскоку бойка від поверхні бетону або притиснутого до неї ударника (метод пружного відскоку);
- параметр ударного імпульсу - енергія удару (метод ударного імпульсу);
- розміри відбитка на бетоні (діаметр, глибина) або співвідношення діаметрів відбитків на бетоні і стандартному зразку при ударі індентора або втисканні індентора в поверхню бетону (метод пластичної деформації);
- значення напруги, необхідного для місцевого руйнування бетону при відриві приклеєного до нього металевого диска, рівного зусиллю відриву, поділений на площу проекції поверхні відриву бетону на площину диска (метод відриву з дисками);
- значення зусилля місцевого руйнування бетону при вириванні з нього анкерного пристрою (метод відриву);
- значення зусилля, необхідного для сколювання ділянки бетону на ребрі конструкції (метод відриву зі сколюванням).

Механічні методи неруйнівного контролю застосовують для визначення міцності бетону всіх видів нормованої міцності, що підлягають контролю згідно ГОСТ 18105-86, а також міцності бетону при обстеженні та відбракуванні конструкцій.

Метод визначення міцності бетону можна вибирати по табл. 2.1.

Таблиця 2.1- Методи визначення міцності бетону

Назва методу	Граничні значення міцності, МПа
Пружного відскоку і пластичної деформації	5-50
Ударного імпульсу	10-70
Відриву	5-60
Відриву зі сколюванням	5-100
Сколювання ребра	5-70

Випробування, як правило, проводять при плюсовій температурі бетону. Допускається при обстеженні конструкцій визначати міцність при мінусовій температурі, але не нижче мінус -1°C за умови, що до моменту заморожування конструкція перебувала не менше одного тижня при плюсовій температурі і відносній вологості повітря не більше 75%.

Зразки виготовляють в різні зміни протягом 5 діб з бетону одного складу, по одній і тій же технології і при тому ж режимі обробки, або тих же умовах твердіння, що і конструкції яка підлягає контролю.

Температура бетону окремих зразків при визначенні непрямой характеристики не повинна відрізнятись від середньої температури.

При побудові градувальних залежностей, призначених для контролю відпускну, передавальної і розпалубної міцностей бетону, допускається встановлювати градувальну залежність за даними неруйнуючих випробувань гарячих зразків і при випробуванні тих же зразків на стиск за ГОСТ 10180-90 при нормальній температурі.

Відносна вологість зразків, використовуваних для встановлення градувальної залежності, не повинна відрізнятись від вологості випробуваної конструкції більш ніж на $\pm 2\%$.

Метод пружного відскоку. Градувальну залежність для цього методу встановлюють на основі результатів випробувань зразків-кубів спочатку неруйнівним методом, а потім по ГОСТ 10180-90.

Число вимірювань на кожному зразку повинно бути не менше п'яти, а відстань між місцями ударів - не менше 30 мм. При випробуванні зразки повинні бути надійно затиснуті в пресі із зусиллям затиску (30 ± 5) кН. За середнє арифметичне значення міцності бетону приймають значення в серії або міцність бетону одного зразка (якщо градувальну залежність встановлюють за даними випробувань окремих зразків).

При випробуванні методом пружного відскоку відстань від місць проведення випробування до арматури повинно бути не менше 50 мм.

Випробування проводять в наступній послідовності: прилад розташовують так, щоб зусилля прикладалися перпендикулярно до поверхні, що випробується відповідно до інструкції по експлуатації приладу, при цьому положення приладу при випробуванні конструкції щодо горизонталі рекомендується приймати таким же, як при випробуванні зразків для встановленої градувальної залежності; при іншому положенні необхідно

вносити поправку на показання відповідно до інструкції по експлуатації приладу; фіксують значення непрямої характеристики відповідно до інструкції по експлуатації приладу; обчислюють середнє значення непрямої характеристики на ділянці конструкції.

До приладів, заснованих на методі пружного відскоку, відносяться пістолет ЦНІСКА, пістолет Борового, молоток Шмідта, склерометр КМ зі стрижневим ударником і ін. Принцип дії цих приладів заснований на вимірюванні пружного відскоку ударника при постійній величині кінетичної енергії металевої пружини. Взвод і спуск бойка здійснюються автоматично при зіткненні ударника з випробовуваної поверхнею. Величину відскоку бойка фіксує показчик на шкалі приладу.

Метод ударного імпульсу. При випробуванні методом ударного імпульсу, так як і в попередньому, відстань від місць проведення випробування до арматури повинно бути не менше 50 мм. Випробування проводять в наступній послідовності:

- прилад розташовують так, щоб зусилля прикладалися перпендикулярно до поверхні, що випробовується відповідно до інструкції по експлуатації приладу;
- при цьому положення приладу при випробуванні конструкції щодо горизонталі рекомендується приймати таким же, як при випробуванні зразків для встановлення градувальності залежності;
- при іншому положенні необхідно вносити поправку на показання відповідно до інструкції по експлуатації приладу;
- фіксують значення непрямої характеристики відповідно до інструкції по експлуатації приладу;
- обчислюють середнє значення непрямої характеристики на ділянці конструкції.

Метод відриву. При випробуванні методом відриву ділянки розташовують в зоні найменших напружень арматури. Випробування проводять в наступній послідовності:

- в місці приклеювання диска знімають поверхневий шар бетону глибиною 0,5-1 мм і поверхню очищають від пилу;
- диск приклеюють до бетону так, щоб шар клею на поверхні бетону не виходив за межі диска;
- прилад з'єднують з диском;
- навантаження плавно збільшують зі швидкістю $(1 \pm 0,3)$ кН/с;
- фіксують показання приладу;
- вимірюють площу проекції поверхні відриву на площині диска з похибкою $\pm 0,5$ см²;
- визначають значення умовного напруження в бетоні при відриві.

Результати випробувань не враховують, якщо при відриві бетону була виявлена арматура або площа проекції поверхні відриву склала менше 80% від площі диска.

Метод відриву зі сколюванням. При випробуванні методом відриву зі сколюванням ділянки повинні розташовуватися в зоні найменших напружень, викликаних експлуатаційним навантаженням або зусиллям обтиску попередньо напруженої арматури. Випробування проводять в наступній послідовності:

- в бетоні свердлять або пробивають шпур, розмір якого вибирають відповідно до інструкції по експлуатації приладу в залежності від типу анкерного пристрою, якщо анкерний пристрій не було встановлено до бетонування;
- в шпурі закріплюють анкерний пристрій на глибину, передбачену відповідальною за їхню безпеку, в залежності від типу анкерного пристрою; прилад з'єднують з анкерним пристроєм;
- навантаження збільшують зі швидкістю 1,5-3,0 кН/с;
- фіксують показання силовимірювача приладу і глибину вириваючи з точністю не менше 1 мм.

Якщо найбільший і найменший розміри вирваної частини бетону на відстані від анкерного пристрою до кордонів руйнування по поверхні конструкції відрізняються від глибини закладення анкерних пристроїв більш ніж на 5%, то результати випробувань допускається враховувати тільки при орієнтовною оцінкою міцності бетону.

Метод сколювання ребра. При випробуванні методом сколювання ребра на ділянці випробування не повинно бути тріщин, обколів бетону, напливів або раковин висотою (глибиною) більше 5 мм. Ділянки повинні розташовуватися в зоні найменших напружень, викликаних експлуатаційним навантаженням або зусиллям обтиску попередньо напруженої арматури. Випробування проводять в наступній послідовності:

- прилад закріплюють на конструкції, прикладають навантаження зі швидкістю не більше (1-0,3) кН/с;
- фіксують показання силовимірювача приладу; вимірюють фактичну глибину сколювання.

Результати випробування не враховуються, якщо при сколюванні бетону була оголена арматура і фактична глибина сколювання відрізнялася від заданої більш ніж на 2 мм.

Схема випробування методом сколювання ребра приведена на рис. 2.1.

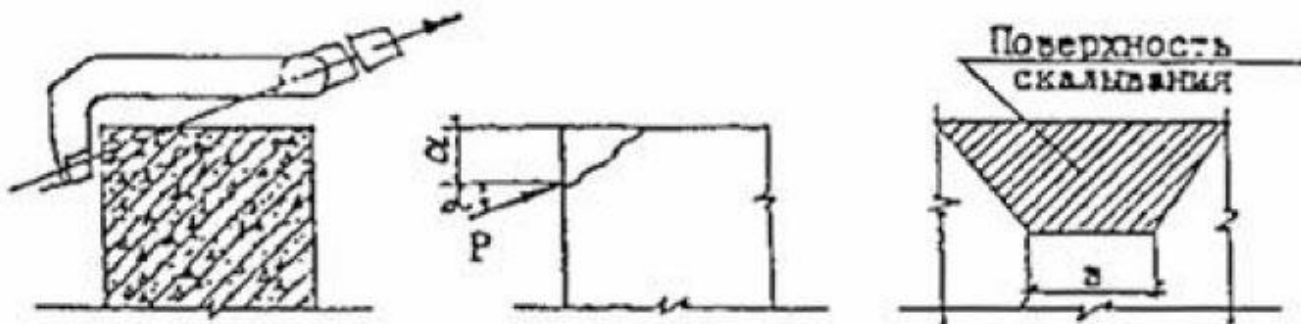


Рисунок 2.1. Випробування методом сколювання ребра

Метод пластичної деформації. При випробуванні методом пластичної деформації відстань від місць проведення випробування до арматури повинно бути не менше 50 мм. Випробування проводять в наступній послідовності:

- прилад розташовують так, щоб зусилля прикладалися перпендикулярно до поверхні, що випробовується відповідно до інструкції по експлуатації приладу;
- при сферичному інденторі для полегшення вимірів діаметрів відбитків випробування допускається проводити через листи копіювальної та білого паперу (в цьому випадку зразки для встановлення градуовальної залежності випробують із застосуванням такого ж паперу);
- фіксують значення непрямой характеристики відповідно до інструкції по експлуатації приладу; обчислюють середнє значення непрямой характеристики на ділянці конструкції.

Основними інструментами при випробуванні бетону методом пластичної деформації є молоток Фізделя та молоток Кашкарова.

При ударі молотком по поверхні конструкції утворюється лунка, по діаметру якої і оцінюють міцність матеріалу. Те місце конструкції, на яке наносять відбитки, попередньо очищають від штукатурного шару, затирання або забарвлення.

Процес роботи молотком Фізделя полягає в наступному: правою рукою беруть за кінець дерев'яної рукоятки, лікоть спирають на конструкцію. Ліктьовим ударом середньої сили наносять 10-12 ударів на кожній ділянці конструкції. Відстань між відбитками ударного молотка має бути не менше 30 мм. Діаметр утвореної лунки вимірюють штангенциркулем з точністю до 0,1 мм по двох перпендикулярних напрямках і приймають середнє значення. Із загальної кількості вимірювань, проведених на даній ділянці, виключають найбільший і найменший результати, а по іншим обчислюють середнє значення.

Міцність бетону визначають за середнім діаметром виміряного відбитка і тарировочній кривій, попередньо побудованої на підставі порівняння діаметрів відбитків кульки молотка і результатів лабораторних випробувань на міцність зразків бетону, взятих з конструкції за вказівками ГОСТ 28570-90 або спеціально виготовлених з тих же компонентів і по тій же технології, що матеріали конструкції, що обстежується.

Процес вимірювання молотком Кашкарова. Відмітна особливість молотка Кашкарова від молотка Фізделя полягає в тому, що між металевим молотком і кулькою є отвір, в який вводиться контрольний металевий стрижень.

При ударі молотком по поверхні виробу отримують два відбитки: на поверхні матеріалу з діаметром d_6 і на контрольному (еталонному) стрижні з діаметром d_e . Відношення діаметрів отриманих відбитків залежить від міцності контрольованого матеріалу і еталонного стрижня і практично не залежить від швидкості і сили удару, що завдається молотком.

В даній лабораторній роботі передбачено визначення міцності бетону методом пластичних деформацій із застосуванням молотка Кашкарова (рис. 2.2.). Конструктивні особливості еталонного молотка Кашкарова дозволяють виключити вплив сили удару на результати виміру, бо відбитки отримуються одночасно на бетоні з невідомою міцністю та на еталонному стрижні з відомими характеристиками.

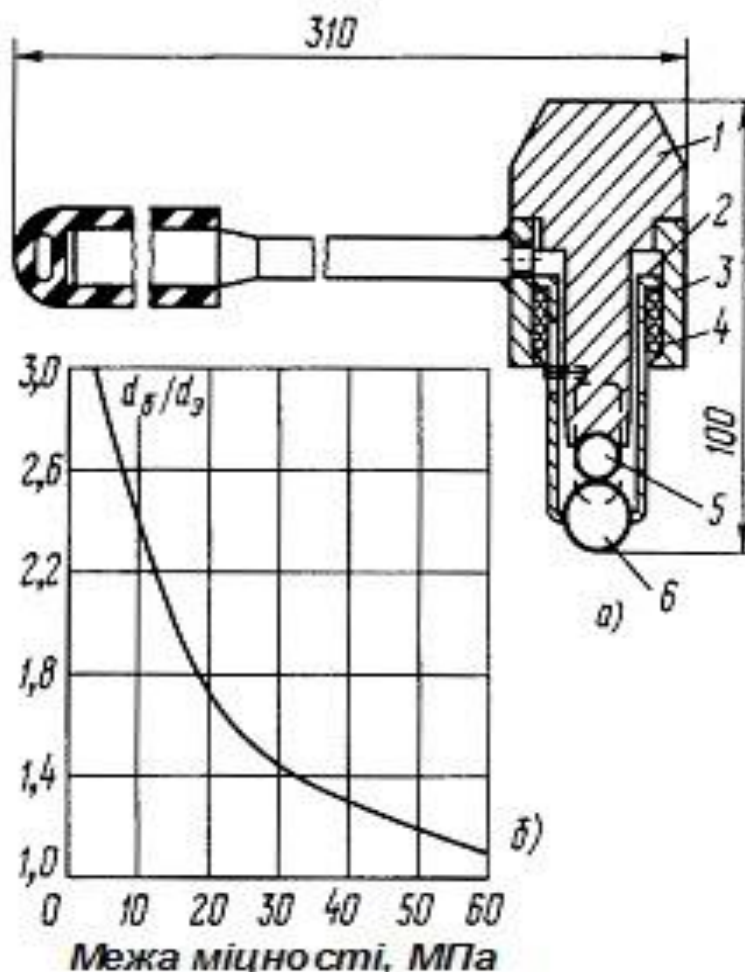


Рисунок 2.2. Схема еталонного молотка Кашкарова з еталонним стрижнем (а) та тарувальний графік (б): 1 - головка; 2 - стакан; 3 - корпус; 4 - пружина; 5 - еталонний стрижень; 6 – кулька.

Величину непрямої характеристики міцності бетону для ділянки конструкції обчислюють за формулою:

$$H = \frac{\sum d_\sigma}{\sum d_e}, \quad (2.1)$$

де $\sum d_\sigma$ - сума діаметрів відбитків на бетоні, мм; $\sum d_e$ - сума діаметрів відбитків на еталоні, мм.

Проведення механічного простукування бетонних виробів еталонним молотком Кашкарова.

При випробуванні еталонним молотком бетонних зразків і конструкцій, удари наносяться по поверхнях, що прилягають до металевих стінок форм. Поверхня, що випробовується повинна бути чистою. Удари наносять з такою силою, щоб розміри відбитків на еталонному стрижні вийшли не менше за 2.5 мм і на поверхні бетону не з'явилися тріщини. При використанні додаткового молотка, його маса повинна бути близько 1 кг. Після кожного удару відбиток на поверхні нумерується.

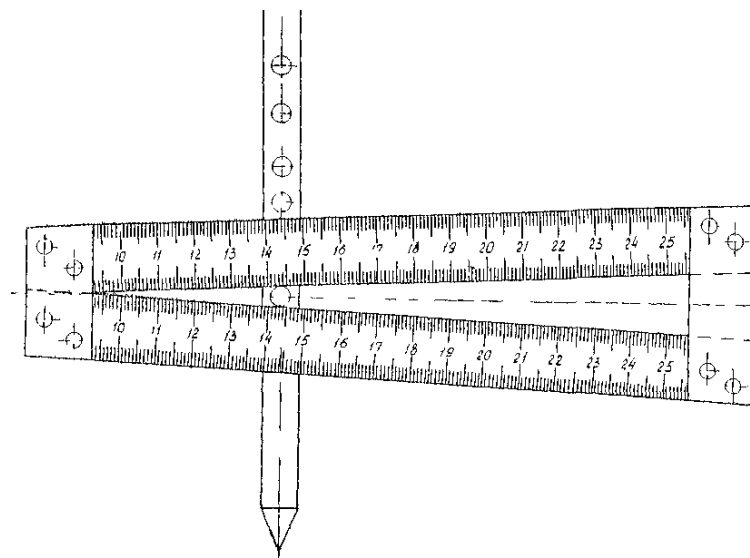
Одночасно фіксується місцезнаходження відбитка на еталонному стрижні. Перед його установкою в молоток, на торцевій круглій частині стрижня надфілем робляться 4 насічки через 90°

Після нанесення удару, стрижень не виймають, а пересувають в стакані молотка до появи відбитка, що забезпечує відстань між відбитками 10-12 мм. Після використання однієї поверхні, стрижень, не виймаючи зі стакану молотка, повертають на 90° і використовують наступну поверхню по всій довжині стрижня. Аналогічно використовуються інші поверхні. Відстань між відбитками на бетоні повинна бути не менше 30 мм.

Після виконання серії ударів на наміченій ділянці вимірюють діаметри відбитків на бетоні. Еталонний стрижень виймають з молотка, і також проводять виміри відбитків. Так як діаметри відбитків на стрижні мають овальну форму, то їх вимірювання проводиться в двох взаємно перпендикулярних напрямках і береться середнє значення.

Вимірювання відбитків на бетоні та на еталонному стрижні проводяться з точністю до 0,1 мм.

Для вимірювання використовують кутовий масштаб (рис. 2.3), який посувають на відбиток бетонної поверхні до моменту накладання його внутрішніх граней на окружності відбитка (рис. 2.3 б).



а)

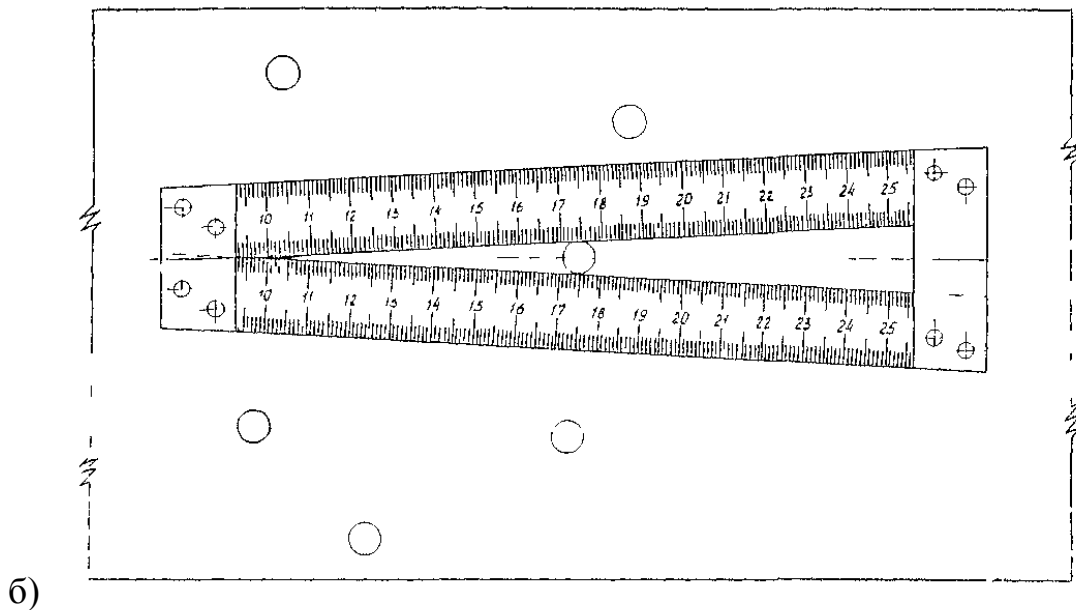


Рисунок 2.3 Кутовий масштаб: а - для вимірювання діаметра відбитків на еталонному стрижні; б – для вимірювання діаметра відбитків на бетоні.

На еталонному стрижні масштаб посувають на відбитках поперек еталонного стрижня і потім вимірюють більший діаметр (рис. 2.3 а). Нуль на кутовому масштабі починається з поділу, рівного 100 мм. Від значення поділу масштабу в місці його торкання з окружністю відбитка віднімається нульовий відлік, рівний 100 мм. отриманий залишок в міліметрах, помножений в 10 разів (властивість кутового масштабу) визначає величину діаметра з точністю до 0,1 мм.

2.2 Обладнання

Зразки бетону, молоток, зубило, еталонний молоток Кашкарова, штангенциркуль, наждачний папір.

2.3 Хід виконання роботи

1. Провести ретельний огляд виданих керівником бетонних зразків і визначити точки на яких будуть проведено дослідження.
2. Оглянути молоток Кашкарова та встановити стрижень в робоче положення.
3. Встановити досліджуваний зразок на опорний стіл.
4. Встановити молоток Кашкарова на бетонний зразок та нанести по його головці слюсарним молотком удар середньої сили.
5. Олівцем пронумерувати лунку на бетоні (у відповідності з номером удару).
6. Пересунути стрижень і повторити удар в іншому місці бетонного зразка.

7. Після нанесення 10 ударів виконати вимірювання діаметрів відбитків на бетоні та еталонному стрижні і занести отриманні дані до таблиці 2.2.

8. Вирахувати відношення .

9. Встановлюється наявність аномальних результатів випробування в отриманій сукупності $d_{б1}, d_{б2}, \dots, d_{би}$. Для чого визначається середнє арифметичне значення діаметра відбитка на бетоні.

10. Визначаються значення відхилень ($d_{би} - d_{бср}$) і обчислюється середнє квадратичне відхилення. Результати випробувань визнати задовільними, якщо виконується умова: $T_i < T_k$, де T_k - допустиме значення, яке приймається за табл. 2.3.

11. При наявності аномальних результатів слід вибракувати відбитки діаметрами: $d_{би} < 0.3 D$ і $d_{би} > 0.7 D$ де D - діаметр кульки молотка Кашкарова K .

12. Визначити за допомогою тарувальної кривої міцність бетону R_i .

Таблиця 2.2- Результати випробувань

Номер досліду	Діаметр відбитку на поверхні зразка	Діаметр відбитку на еталонному стержні	Відношення	Результати вимірів

Таблиця 2.3- Значення коефіцієнту T_k

n								
T_k	1,74	1,94	2,08	2,14	2,27	2,33	2,39	2,4

2.4 Контрольні запитання

1. На які основні групи поділяються методи неруйнівного визначення міцнісних характеристик бетону в конструкціях?

2. Якої величини становить похибка при стандартному вимірюванні міцності бетону молотком Кашкарова?

3. На чому заснована оцінка міцності бетону в конструкціях, що проводиться за допомогою приладів механічної дії?

4. Які методи визначення міцності бетону входять до фізичної групи?

5. Які методи визначення міцності бетону входять до механічної групи?

6. Чи існує залежність між силою удару і точністю кінцевого результату?

7. Які переваги і недоліки визначення міцності бетону за допомогою молотка Кашкарова?

Лабораторна робота №3

ОЦІНКА ЯКОСТІ АРМУВАННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ УЛЬТРАЗВУКОМ

Мета роботи: визначити якість армування бетону за допомогою ультразвукового дефектоскопу.

3.1 Короткі теоретичні відомості

Імпульсні методи контролю якості бетону засновані на визначенні швидкості поширення пружних хвиль і характеристики їх поглинання.

Принцип дії ультразвукового приладу (рис. 3.1) полягає в наступному. Ультразвукові імпульси, що наводяться височастотним генератором, періодично подаються на випромінювач, в якому ці імпульси перетворюються в механічні коливання. Останні, пройшовши через певну товщу бетону, потрапляють в приймач, в якому перетворюються в електричні імпульси. Електричні імпульси через підсилювач подаються на електронно-променевою трубку. Моменти посилки імпульсу з одного боку бетонного елемента і прийому (перетворення механічних коливань в електричні) імпульсу з іншого його боку фіксуються на екрані у вигляді синусоїдальних сигналів.

У приладі є також генератор позначок часу, за допомогою якого через певні відрізки часу на екрані електронно трубки наносять тимчасову шкалу міток часу. За кількістю міток часу визначають час проходження ультразвуку через бетонний елемент.

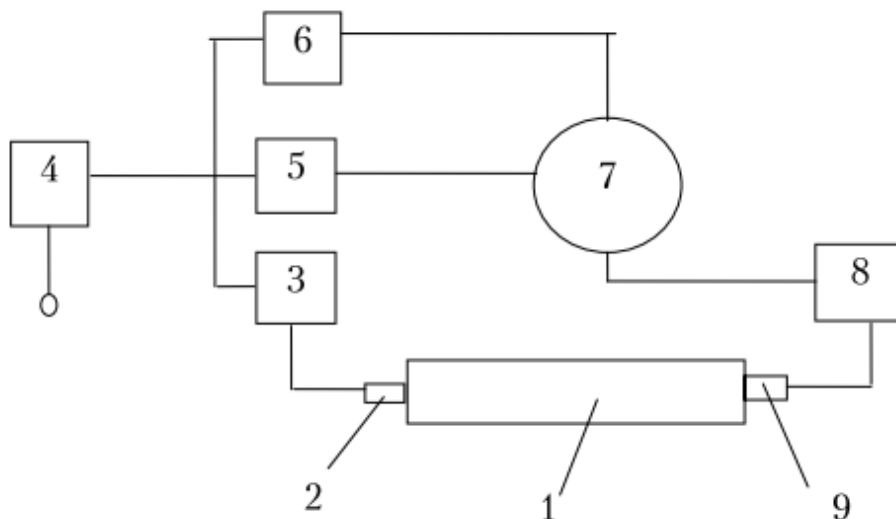


Рисунок 3.1. Блок-схема ультразвукового імпульсного приладу: 1 - бетонний елемент; 2 - випромінювач; 3 - генератор імпульсів; 4 - генератор, що задає частоту; 5 - розгортка; 6 - генератор позначок часу; 7 - електронно-променевою трубка; 8 - підсилювач сигналу; 9 - приймач.

Відповідно до ГОСТ 17624-87 «Ультразвуковий метод визначення міцності» ультразвукові вимірювання в бетоні проводять способами наскрізного або поверхневого проникання. Міцність бетону в конструкціях визначають за експериментально встановленими градуювальними залежностями «швидкість поширення ультразвуку - міцність бетону» або «час поширення ультразвуку - міцність бетону» з урахуванням способу проникання.

Міцність бетону визначають на ділянках конструкцій, які не мають видимих ушкоджень (відшарування захисного шару, тріщини, каверни і ін.). Ультразвукові вимірювання проводять приладами, призначеними для вимірювання часу поширення ультразвуку в бетоні.

Між бетоном і робочими поверхнями ультразвукових перетворювачів повинен бути забезпечений надійний акустичний контакт, для чого застосовують в'язкі контактні матеріали (солідол, технічний вазелін, машинне мастило і ін.).

Підготовка випробування включає перевірку використовуваних приладів відповідно до інструкцій по експлуатації та установку градуювальних залежностей відповідно до обраного способу проникання.

При встановленні градуювальної залежності для визначення міцності бетону в процесі природного твердіння терміни випробувань зразків необхідно вибрати з наступного параметричного ряду: 3, 7, 14, 28, 60, 90, 180, 365 на добу. Зразки випробовують не менше ніж в трьох віках, один з яких є проектним. У кожному віці відчувають не менше 4 серій зразків.

Час поширення ультразвуку в зразках при встановленні градуювальної залежності "*швидкість - міцність*" вимірюють способом наскрізного прозвучування відповідно до рис. 3.2, 3.3, при цьому база прозвучування повинна бути не менше 100 мм.

Час поширення ультразвуку в зразках при встановленні градуювальної залежності "*час - міцність*" вимірюють способом поверхневого проникання відповідно до рис. 3.3, при цьому мінімальна база прозвучування повинна становити не менше 120 мм.

У зоні контакту ультразвукових перетворювачів з поверхнею бетону не повинно бути раковин і повітряних пір глибиною понад 3 мм і діаметром більше 6 мм, а також виступів більше 0,5 мм. Поверхня бетону необхідно очистити від пилу. Число вимірювань часу поширення ультразвуку в кожному зразку має бути при наскрізному прозвучу - 3, при поверхневому - 4.

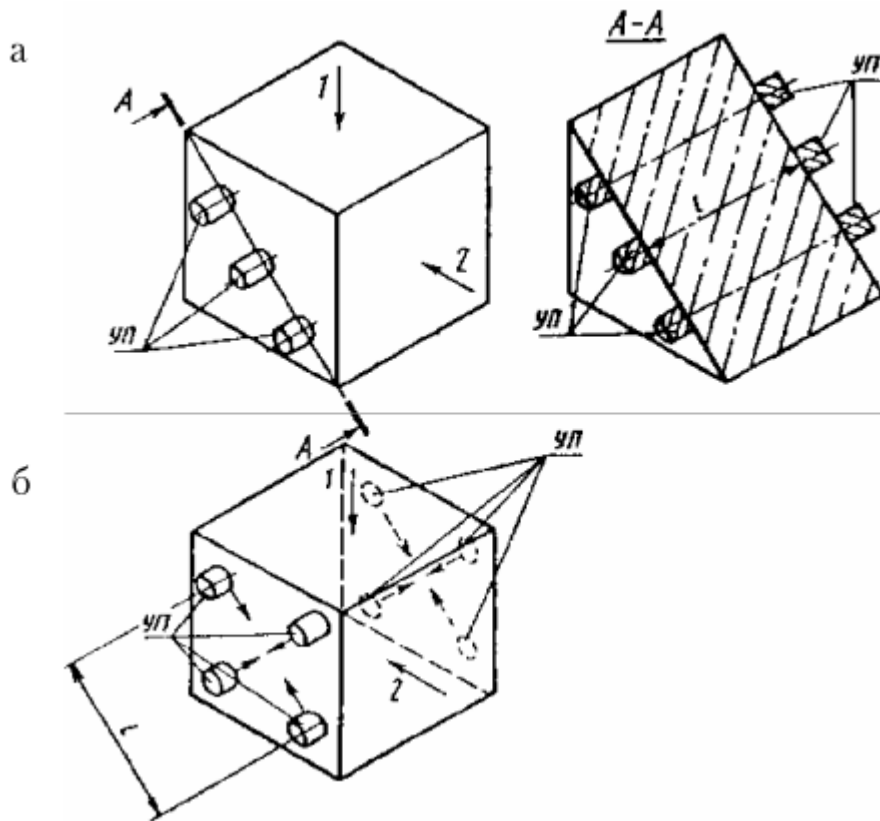


Рисунок 3.2. Схеми випробувань бетонних кубів: а - способи наскрізного прозвучування; б - способи поверхневого проникання; УП - ультразвукові перетворювачі; 1 - напрямок формування; 2 - напрям випробування при стисненні; l - база прозвучування.

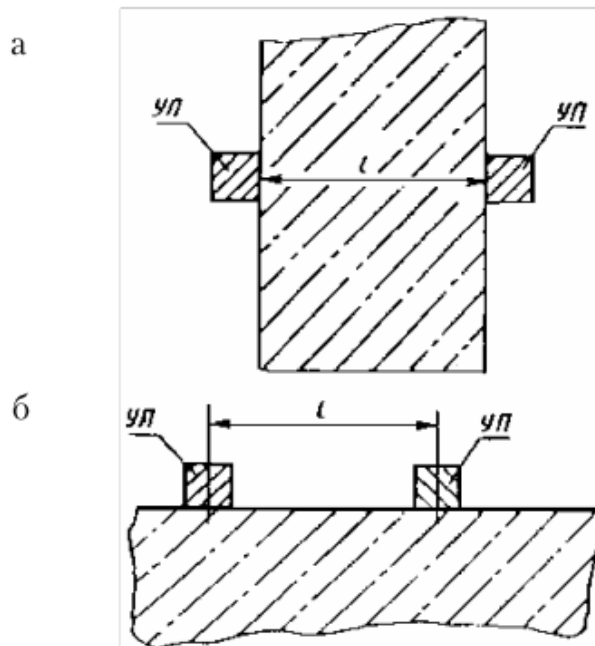


Рисунок 3.3. Схеми прозвучування бетону: а - наскрізного; б - поверхневого; УП - ультразвукові перетворювачі; l-база прозвучувані.

Градувальну залежність встановлюють за одиничними значеннями швидкості (часу) ультразвуку і міцності бетону. За середнє арифметичне значення швидкості (часу) ультразвуку приймають середнє арифметичне значення цих величин в серії зразків, використовуваних для визначення одиничного значення міцності. При вимірі часу поширення ультразвуку способом наскрізного прозвучування ультразвукові перетворювачі встановлюють з протилежних сторін зразка або конструкції відповідно до рис. 3.2а.

Швидкість ультразвуку v , м/с, обчислюють за формулою:

$$V = \frac{l}{t} \cdot 10^3, \quad (3.1)$$

де t - час поширення ультразвуку, мкс; l - відстань між центрами установки перетворювачів (база проникнення), мм.

При вимірі часу поширення ультразвуку способом поверхневого проникання ультразвукові перетворювачі встановлюють на одній стороні зразка або конструкції відповідно до рис. 3.2б. При проведенні випробувань і визначенні міцності бетону в конструкціях число і розташування контрольованих ділянок на конструкції повинні вказуватися в технологічних картах на контроль або в нормативно-технічній та проектній документації на конструкції або встановлюватися програмою обстеження, узгодженої з проектною організацією. На кожній контрольованій ділянці проводять один вимір часу поширення ультразвуку при наскрізному і не менше двох при поверхневому прозвучуванні.

Збірні лінійні конструкції (балки, ригелі, колони та ін.) випробовують, як правило, способом наскрізного прозвучування в поперечному напрямку.

Вироби, конструктивні особливості яких ускладнюють здійснення наскрізного прозвучування, а також плоскі конструкції (плоскі, ребристі і багатопустотні панелі перекриття, стінні панелі і т.д.) випробовують способом поверхневого проникання. При цьому база прозвучування при вимірах на конструкціях повинна бути такою ж, як на зразках при встановленні градувальної залежності.

Вік бетону контрольованих конструкцій не повинен відрізнятися від віку бетону зразків, випробуваних для встановлення градувальної залежності, більш ніж на 50% - при контролі нормованої міцності бетону і 25% - при визначенні міцності бетону в процесі твердіння.

Вимірювання часу поширення ультразвуку в бетоні конструкцій проводять в напрямку, перпендикулярному ущільненню бетону, а також в напрямку, перпендикулярному напрямку робочої арматури; при цьому концентрація арматури вздовж обраної лінії прозвучування не повинна перевищувати 5%. Відстань від краю конструкції до місця установки ультразвукових перетворювачів має бути не менше 30 мм.

Допускається прозвучування уздовж лінії, розташованої паралельно робочої арматури, якщо відстань від цієї лінії до арматури становить не менше 0,6 довжини бази. Міцність бетону контрольованої ділянки конструкції визначають за градуовальною залежності за умови, що виміряний значення швидкості (часу) ультразвуку знаходиться в межах між мінімальним і максимальним значеннями швидкості (часу) ультразвуку в зразках, випробуваних при побудові градуовальної залежності.

При контролі міцності бетону в конструкціях по ГОСТ 18105-86 отримане значення міцності приймають за середню міцність контрольованої ділянки конструкції.

3.2 Обладнання

Набір контрольованих зразків, еталон, ультразвуковий дефектоскоп, штангенциркуль

3.3 Хід виконання роботи

1. Ознайомитись з будовою та принципом дії ультразвукового дефектоскопу Бетон -32
2. Провести налагоджування дефектоскопу на еталонному зразку.
3. Отримати досліджувані зразки.
4. Провести прозвучування контрольованих зразків
5. Результати прозвучування занести до таблиці

3.4 Контрольні запитання

1. Які є способи отримання механічних коливань УЗ-частоти?
2. В чому полягає принцип роботи УЗ-дефектоскопу?
3. Які відомі способи УЗ-досліджень бетонних поверхонь?
4. По яким критеріям визначають міцнісні показники бетону при прозвучуванні УЗ-методами?
5. В чому полягає методика визначення відхилень бетону при контролі УЗ-методами?

Лабораторна робота №4

МАГНІТНІ МЕТОДИ ОБСТЕЖЕННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

Мета роботи: отримати практичні навички підготовки та проведення магнітних обстежень залізобетонних конструкцій з використанням дефектоскопу магнітної дії ВЗШ-10Н.

4.1 Короткі теоретичні відомості

Окрім міцності бетону другою важливою складовою вихідних даних при випробуваннях залізобетонних елементів мостових споруд є визначення їх армування. Всі роботи по визначенню товщини захисного шару бетону та діаметру арматури виконуються з дотриманням вимог міждержавного стандарту, розробленого Науково-дослідним інститутом будівельних конструкцій (НДІБК) і Науково-дослідним, проектно-конструкторським і технологічним інститутом бетону і залізобетону (НДІЗБ) та прийнятого Міждержавною науково-технічною комісією із стандартизації і технічного нормування в будівництві (МНТКС).

Для визначення товщини захисного шару бетону і розташування сталеві арматури в залізобетонній конструкції широкого застосування набули магнітні, електромагнітні або віхре-струменеві методи та прилади, що включають в себе вимірювальний блок, вимірювальний перетворювач і блок живлення.

В основу принципу дії цих приладів покладений магнітний метод, заснований на взаємодії магнітного або електромагнітного поля приладу із сталеві арматурою залізобетонної конструкції. Результати вимірів заносять в журнал досліджень.

Кількість і розташування контрольованих ділянок конструкції призначають залежно від:

- мети і умов випробувань;
- технології виготовлення або зведення конструкції з врахуванням фіксації арматурних стрижнів;
- умов експлуатації конструкції з врахуванням агресивності зовнішнього середовища.

В даній лабораторній роботі використовується прилад ВЗШ-10Н, який представляє собою індуктивний збалансований міст, одним з плеч якого є датчик. Прилад складається з електронного блока, перетворювача, блока живлення та панелі керування, на якій розташовані секторний індикатор, регулятор чутливості та вимикач живлення (рис. 4.1).

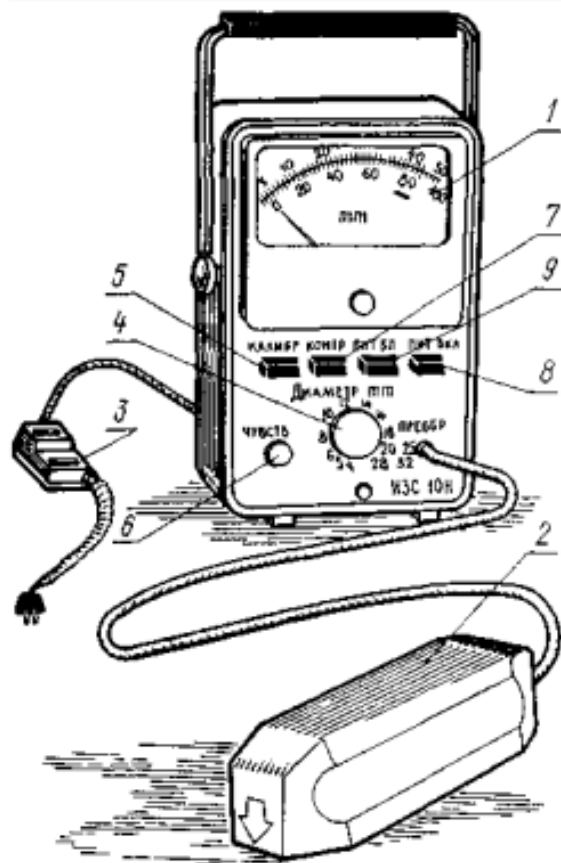


Рисунок 4.1. Вимірювач захисного шару ВЗШ-10Н: 1 - блок електронний; 2 -перетворювачі; 3 - блок живлення; 4 - перемикач піддіапазонів за діаметрами стержнів арматури, мм; 5 - кнопка калібрування приладу «КАЛИБР»; 6 - ручка регулювання чутливості «ЧУТЛ.»; 7 - кнопка контролю живлення приладу «КОНТР. ЖИВ.»; 8 - кнопка включення приладу «ВКЛ»; 9 - кнопка перемикача джерела живлення «БЛ. ЖИВ.»

Прилад дозволяє визначити:

1. Діаметр арматури, якщо він невідомий.
2. Товщину захисного шару над арматурою в залізобетоні, якщо вона невідома.
3. Діаметр арматури і товщину захисного шару, якщо обидва параметри невідомі.

Прилад дозволяє контролювати відповідність фактичних значень, діаметра арматури і товщини захисного шару, проектним, зазначенням в технологічній документації на конкретний виріб.

Діапазон вимірюваного параметра знаходиться в інтервалі значень для діаметра арматури від 4 до 32 мм, для товщини захисного шару від 5 до 50 мм.

Принцип дії приладу заснований на реєстрації зміни комплексного опору перетворювача 2, що виникає при взаємодії його електромагнітного поля з арматурним стержнем в залізобетоні. Перетворювач 2 прилади є П-подібний феритовий магнітопровід з розміщеною на ньому котушкою, підключається до роз'єму на передній панелі електронного блоку 1.

Принцип роботи. Включення приладу ІЗС-10Н. Кнопка перемикача джерела живлення 9 на лицьовій поверхні електронного блоку 1 встановлюється в положення «БАТ» або «БЛ ЖИВЛ.». В якості джерела живлення для даного приладу застосовується підключений до електричної мережі (220 В) блок живлення 3, який необхідно також приєднати до гнізда × 3, розташованого на задній панелі електронного блоку 1. В цьому випадку кнопка встановлюється в положення «Блок живлення». Індикаторну стрілку мікроамперметра за допомогою механічного аретира встановити на нульову позначку нижньої шкали.

Включити прилад, натиснувши кнопку включення прибору на лицьовій поверхні електронного блоку 1. Проконтролювати напругу живлення, натиснувши кнопку 7 «КОНТР. ЖИВЛ.». При цьому стрілка індикатора знаходиться в полі чорного сектора на шкалі мікроамперметра. Дати приладу прогрітися протягом 5 хв. Провести калібрування чутливості приладу в наступному порядку: натиснути кнопку 5 калібрування приладу «КАЛІБР», за допомогою ручки 6 регулювання чутливості «ЧУТЛ.» Встановити стрілку індикатора на точку 5 шкали. При калібрування перетворювач повинен бути віддалений від металевих предметів на відстань не менше 500 мм. Якщо за допомогою ручки 6 регулювання чутливості «ЧУТЛ.», розташованої на лицьовій поверхні електронного блоку 1 не вдається встановити стрілку індикатора на скасування 50 шкали мікроамперметра, для регулювання скористатися змінним резистором «ЧУТЛ. ГРУБО», що виведений на задню панель електронного блоку 1.

Перед використанням грубого регулювання, необхідно ручку 6 «ЧУТЛ.» повернути в початкове положення, потім за допомогою грубого регулювання встановити стрілку індикатора мікроамперметра на скільки можливо ближче до позначки 50 шкали і остаточну точну установку стрілки індикатора на зазначену позначку 50 шкали встановити за допомогою ручки 6 у вищезгаданій послідовності.

Визначення схеми армування залізобетонної конструкції, включаючи виявлення кількості арматурних елементів, відстані між ними та їх взаємне розташування, з нанесенням схеми армування на поверхні конструкції.

Визначення схеми армування може мати два варіанти виконання:

Перший варіант, коли є нормативно-технічна документація, паспорт або документа про якість на виріб, де вказується схема армування, відомі діаметр арматури і товщина їх захисного шару. Обстеження зводиться до контролю зазначених параметрів на їх відповідність встановленим вимогам.

Другий варіант, коли відсутня нормативно-технічна документація в цьому випадку, визначається шляхом візуального огляду, тип і приблизна маркування залізобетонної конструкції або виробу, вивчається документація типових конструкцій, імовірно аналогічного призначення і проводиться відповідна ідентифікація.

Потім за допомогою приладу проводиться контроль діаметрів арматурних елементів товщини їх бетонного захисного шару.

Для контролю зазначених параметрів використовується перетворювач 2 приладу. Завершується виконання другого етапу складанням схеми розміщення поперечної і поздовжньої арматури в залізобетонній конструкції з обов'язковим зазначенням діаметрів арматурних елементів і відстаней між ними. Крім того, в обов'язковому порядку вказується всі виявлені дефекти.

Визначення товщини захисного шару для арматури відомого діаметра.
Дослідження проводиться в наступній послідовності. Якщо в конструкції містяться тільки поздовжні стрижні, перетворювач 2 встановлюють на поверхню контрольованого об'єкта і плавно переміщаючи його з боку в бік і повертаючи навколо вертикальної осі (рис. 4.2), домагаються мінімуму свідчень, що фіксується стрілкою індикатора приладу.

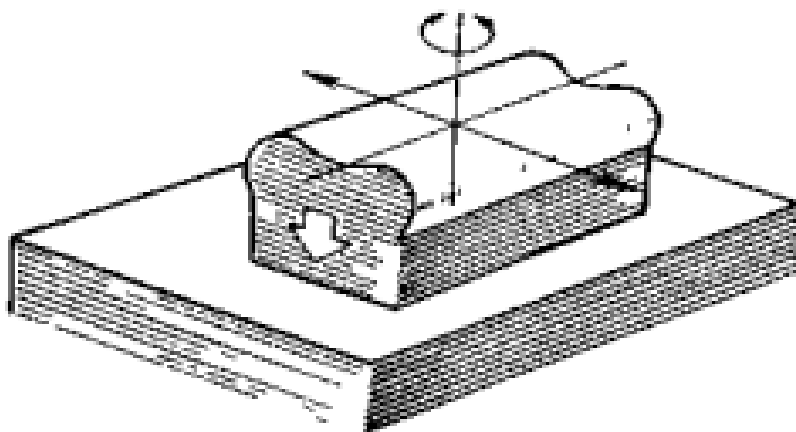


Рисунок 4.2. Установка перетворювача на поверхні контрольованого об'єкта.

При цьому, арматурний стрижень розташовується над центрами вузьких зон перетворювача 2 (стрижень відзначений на малюнку стрілками). Для визначення розташування стрижня потрібно поставити позначки на поверхню контрольованого об'єкта. Відмітки повинні відповідати положенням центрів, позначених на рис. 4.2. у вигляді коротких стрілок, спрямованих перпендикулярно площині об'єкта, коротких сторін перетворювача 2.

Поєднавши між собою ці позначки, отримаємо лінію, яка показує положення стрижня.

Для визначення глибини залягання стрижня, здійснюємо відлік показника стрілки індикатора приладу по верхній шкалі. Отримане показання дорівнюватиме товщині захисного шару бетону. При контролі арматурних елементів, що містять поперечну арматуру, спочатку необхідно визначити розташування поздовжньої, потім поперечної арматури, а потім визначити товщину захисного шару бетону. Для цього розташувати перетворювач 2 відповідно до рис. 4.3 таким чином, щоб поперечний арматурний стрижень проходив під центром довгої осі перетворювача.

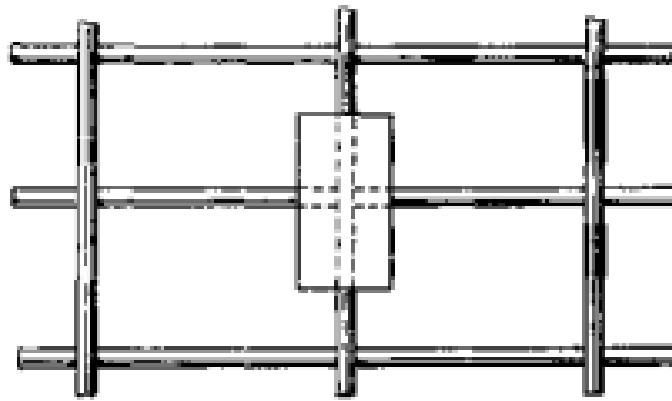


Рисунок 4.3 Схема розташування перетворювача при контролі конструкцій, що містять подовжню і поперечну арматури.

Захисний шар в бетоні, який дорівнює глибині залягання стержня визначається за показаннями стрілки індикатора приладу по його верхній шкалі.

Визначення діаметра армуючих елементів.

Дослідження проводиться при контролі конструкцій з арматурою невідомого діаметра. Вимірювання виконується після визначення місця розташування арматури, яке відзначається на поверхні досліджуваної конструкції.

Залежно від виду армування перетворювач 2 встановлюється на зазначене місце відповідно до схеми його розташування, представленої на рис. 4.2 або 4.3.

Встановлений на поверхню конструкції перетворювач 2, пересувають уздовж контролюючого стрижня до положення відповідного мінімальному відхиленню стрілки індикатора. Знайдене положення є вихідним для проведення вимірювань.

Встановивши перетворювач 2, переходимо до взяття відліків по шкалі приладу для всіх діаметрів в діапазоні встановленому для приладу, стрілка індикатора якого показує значення товщини захисного шару бетону. Для цього за допомогою перемикача 4 піддіапазонів за діаметрами стрижнів арматури здійснюємо його почергове перемикання після зняття відповідного відліку за шкалою приладу.

Знявши показання, розміщуємо між перетворювачем 2 і поверхнею досліджуваної конструкції діелектричну прокладку з фанери, оргскла або текстоліту товщиною 10 мм, контролюючи при цьому співвісність установки на перетворювачі 2 на колишнє місце.

Встановивши прокладку, повторюємо вимірювання при всіх положеннях перемикача 4 «Діаметр, мм». Те положення перемикача 4, для якого різниця показань індикатора при двох вимірах найбільш близька до 10 мм, вказує на діаметр арматури.

Визначивши невідомий діаметр арматури, визначає товщину захисного шару бетону під нею. Результати вимірювань і визначень уявити в табличній формі (табл. 4.1).

Фактичний діаметр арматури буде відповідати тій з шкал, різниця відліків якої між двох вимірювань виявиться рівною 10 мм.

У висновку зазначається фактичні значення діаметра арматури і товщини захисного шару бетону.

4.2 Обладнання

Прилад ВЗШ-10Н, рулетка, штангенциркуль, залізобетонна конструкція, діелектрична прокладка 10 мм, крейда.

4.3 Хід виконання роботи

1. Провести обстеження будівельної конструкції шляхом установки перетворювача приладу на її поверхню і плавного його переміщення з одного боку в бік по всій площі, відзначаючи крейдою місцезнаходження арматури.

2. Після знаходження арматури за допомогою приладу визначити її діаметр і товщину захисного шару.

3. Провести візуальний огляд конструкції метою виявлення або наявності виходу арматурних елементів на поверхню конструкції.

4. Результати досліджень занести до таблиці 3.1.

Таблиця 4.1.

Результати вимірювань

Найменування параметру	Результати вимірювань для арматури діаметру:									
	4	6	8	10	12	14	16	18	20-25	28-32
Товщина захисного шару бетону при первинному вимірі, мм										
Товщина захисного шару бетону при повторному вимірі з використанням прокладки, мм										
Різниця показань товщини захисного шару між першим і другим вимірюваннями, мм										
Товщина прокладки, мм										

4.4 Контрольні запитання

1. На якому принципі фізичної взаємодії заснована робота приладу ВЗШ-10Н?
2. Як визначити товщину захисного шару бетону перед арматурою якщо її діаметр невідомий?
3. Які методи неруйнівного контролю використовуються при обстеженні та випробуванні будівель і споруд?
4. Які види дефектів можуть бути виявлені за допомогою приладу ВЗШ - 10Н?
5. Де і за яких умов можуть з'явитися дефекти залізобетонних конструкцій?
6. Який вплив на конструкції і будівельний об'єкт в цілому надають дефекти, виявлені з використанням приладу ВЗШ -10Н?
7. Які заходи проводяться для нейтралізації впливу дефектів, виявлених приладами ВЗШ -10Н?
8. Які заходи можна передбачити і виконати для запобігання появи дефектів?

Рекомендована література

1. Лужин О. В. и др. Обследования и испытания сооружений. Учебник для вузов. – М.: Стройиздат. 1997.-264 с.
2. Злочевский А. Б. Экспериментальные методы в строительной механике. – М.: Стройиздат, 1993. – 192 с..
3. Лужин О. В. и др. Неразрушающие методы испытания бетона. Учебник для вузов. – М.: Стройиздат. 2003.-236 с.
4. Мальчанов А. И., Плевков В. С., Полищук А. И. Восстановление и усиление строительных конструкций аварийных и реконструируемых зданий. – Томск, Изд-во Том. ун-та, 1992. – 456 с.
5. Рекомендации по оценке состояния и усилению строительных конструкций промышленных зданий и сооружений. – М.: Стройиздат, 1989. – 104 с.
6. Справочник проектировщика «Внутренние санитарно-технические устройства», под редакцией И.Г. Староверова, Ю.И. Шиллера, М., Стройиздат, ч. 1, 1990, ч.3 книги 1,2, 1992