



Національний університет
водного господарства та природокористування

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування
Кафедра промислового, цивільного будівництва
та інженерних споруд

03-01-105

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт
з навчальної дисципліни «**Метрологія і стандартизація**»
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня
за освітньо-професійними програмами спеціальності 192
Будівництво та цивільна інженерія
денної, заочної та дистанційної форм навчання

Рекомендовано
науково-методичною
радою з якості ННІБА
Протокол № 1
від 10 жовтня 2019 р.

Рівне – 2019

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Метрологія і стандартизація» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійними програмами спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» денної, заочної та дистанційної форм навчання [Електронне видання] / Гомон С. С., Савицький В. В. – Рівне : НУВГП, 2019. – 44 с.

Укладачі: Гомон С. С., канд. техн. наук, доцент, професор кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд; Савицький В. В., канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд.

Відповідальний за випуск: Бабич Є. М., д-р техн. наук, проф., завідувач кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд.

Керівник групи забезпечення спеціальності Бабич Є. М.



Вступ

Метою виконання студентами лабораторних робіт з дисципліни «Метрологія і стандартизація» є закріплення знань, отриманих студентами на лекційних заняттях і при самостійному вивченні предмету. Окрім того, студенти повинні набути навичок користування механічними, електромеханічними та електричними приладами, які використовуються у будівельній практиці. Також необхідно оволодіти методами обробітки експериментальних даних на основі попередніх вимірювань та виконання відповідних розрахунків для узагальнення результатів дослідів у вигляді обґрунтованих висновків.

Для свідомого виконання лабораторних робіт студенти повинні заздалегідь самостійно вивчити теоретичний матеріал за рекомендованою літературою та роботу відповідних вимірювальних приладів, відповісти на контрольні запитання.

Лабораторні роботи вважаються виконаними лише за тієї умови, якщо вони виконані згідно завдання в зошиті для лабораторних робіт, де студент чітко записав результати спостережень та розрахунків, побудував необхідні графіки і зробив необхідні висновки. Після виконання лабораторних робіт проводиться захист звіту. Під час захисту кожний студент повинен підтвердити набуті знання, практичні навички та вміння застосовувати їх у майбутній роботі. Зошит з лабораторними роботами зберігається до складання підсумкового модулю.



Лабораторна робота №1

Вимірювання лінійних переміщень, напружень, деформацій, міцності і розташування арматури за допомогою механічних, електромеханічних та електричних приладів.

Мета та задачі роботи

Мета роботи: вивчити призначення, принцип дії, порядок встановлення і роботи прогиномірів, індикаторів, тензометрів та інших приладів для інженерних досліджень.

В лабораторній роботі необхідно вирішити такі **задачі:**

1) ознайомитися з засобами вимірювання переміщень, прогинів, кутових і лінійних деформацій, напружень, міцності, місця розташування та діаметру арматури в конструкціях;

2) вивчити роботу вимірювальних приладів, які використовуються в інженерних дослідженнях, порядок обробки результатів вимірювань.

Обладнання, прилади та документація

Для виконання лабораторної роботи необхідно мати такі вимірювальні прилади: прогиноміри 6ПАО або Максимова; індикатори ІЧ10М та ІМИГ (2МИГ); тензометри Аістова та Гугенбергера; тензорезистори з автоматичним реєструючим приладом типу СИИТ; молоток Кашкарова; прилад ОНИКС-2.5; електромагнітний прилад ПОИСК-2.5; частотний прилад ЭИН-МГ2; каталог вимірювальних приладів або інструкції до користування ними; гідравлічний прес П-250, тимчасовий стенд, бетонна призма $15 \times 15 \times 60$ см, залізобетонна балка $10 \times 16 \times 200$ см.

Порядок виконання роботи

1. За допомогою каталогів чи відповідних інструкцій ознайомитись з призначенням, будовою та принципом дії зазначених вимірювальних приладів.

Прогиноміри 6ПАО та Максимова

Призначення: прогиномір Аістова-Овчиннікова 6ПАО та прогиномір Максимова (рис.1.1) призначені для вимірювання прогинів та значних переміщень конструкцій.

Прилад 6ПАО має три шкали (рис. 1.1, а): шкалу сантиметрових, шкалу міліметрових поділок і шкалу сотих долей міліметра. Ціна поділки 0,01 мм. Границі вимірювання не обмежені. Прогиномір

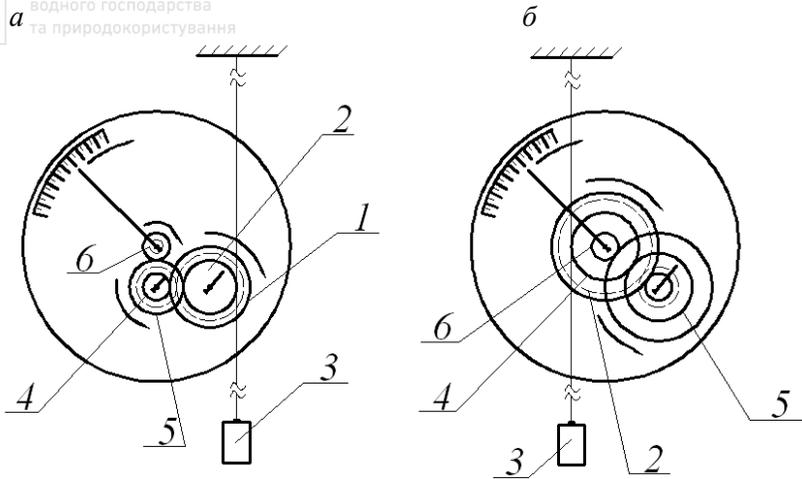


Рис. 1.1. Кінематична схема прогиномірів:

a – БПАО; *б* – Максимова; 1 – шестерня сантиметрової шкали; 2 – ролик; 3 – вантаж; 4, 5 – трибка і шестерня міліметрової шкали; 6 – трибка шкали сотих і десятих долей міліметра

Максимова, на відміну від БПАО, має лише дві останні з названих шкал (рис.1.1, б).

Всередині механічного корпусу приладів є система шестерень, що обертаються. За допомогою струбцини прилади прикріплюють до штативу або до досліджуваної конструкції. Стальний дріт, діаметром 0,4 мм, закріплюють в тій точці конструкції, де необхідно виміряти прогин, або до нерухомого предмету. До вільного кінця підвішують вантаж (1-3 кг) за допомогою дроту, охоплюю чого блочок приладу. Дріт повинен бути закріплений так, щоб кут між його верхньою та нижньою вітками складав 180° і вантаж разом з дротом опускався строго вертикально вниз. Слід звернути увагу на те, щоб покази приладів при переміщенні вантажу вниз, зростали.

Обробку результатів вимірювань здійснюють за формулою

$$\Delta f_i = 0,01(N_i - N_0), \quad (1.1)$$

де Δf_i – прогин конструкції в точці вимірювання;

N_0 – початковий відлік за шкалою приладу;

N_i – відлік за шкалою приладу на i -му ступені завантаження.



Індикатори ИЧ-10М, 1МИГ, 2МИГ

Призначення: індикатор годинникового типу ИЧ-10М призначений для вимірювання невеликих переміщень від 0,01 до 10 мм, а індикатори 1МИГ, 2МИГ – для визначення деформацій, відповідно, від 0,001 і 0,002 до 1 мм і 2 мм (рис. 1.2).

Індикатор ИЧ-10М має дві шкали: шкалу міліметрових поділок і шкалу сотих долей мала метра, а індикатори 1МИГ і 2МИГ мають шкалу десятих і шкалу тисячних долей міліметра.

Індикатори закріплюють на штативі з безпосереднім впиранням штифта в поверхню досліджуваної конструкції або прикріплюють до самої конструкції з впиранням штифта в нерухому точку за межами конструкції.

Обробку результатів вимірювань здійснюють за формулою

$$\Delta f_i = (N_i - N_0)c, \quad (1.2)$$

де Δf_i – переміщення або деформація конструкції;

N_0 – початковий відлік за шкалою приладу;

N_i – відлік за шкалою приладу на i -му ступені завантаження;

c – ціна поділки шкали.

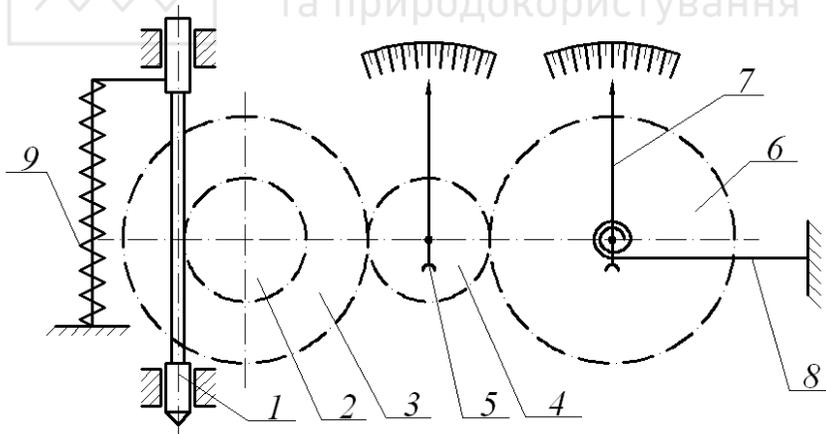


Рис. 1.2. Кінематична схема годинникових індикаторів:

1 – штифт з зубчатою кремальєрою; 2, 4 – трибки; 3, 6 – шестерні; 5, 7 – стрілки великої та малої шкал; 8 – волосина; 9 – пружина



Тензометр Гугенбергера

Призначення: механічний тензометр Гугенбергера застосовується для вимірювання деформацій однорідних матеріалів (переважно сталі та арматури) в лабораторних та польових умовах випробування будівельних конструкцій (рис.1.3). Він забезпечує високу точність вимірювань. Ціна поділки шкали $0,001 \text{ мм}$, межа вимірювань – 100 мікрон .

В його кінематичній схемі застосована подвійна важільна система, утворена рухомою ніжкою (опорою) та стрілкою з коромислом.

Підготовка приладу до роботи та порядок вимірювань:

1. Прикріпити прилад за допомогою струбцини до досліджуваної конструкції (стержня арматури).
2. За допомогою гвинта виставити стрілку в початкове (при розтягуванні) або в кінцеве (при стискуванні) положення на шкалі приладу.
3. Покази за приладом знімають на кожному ступені завантаження.

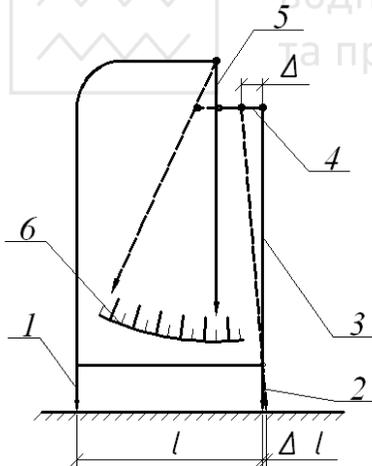


Рис. 1.3. Кінематична схема тензометра Гугенбергера: 1 – нерухома опора; 2 – рухома опора; 3 – важіль; 4 – коромисло; 5 – стрілка; 6 – шкала



4. Відносну деформацію матеріалу визначають за формулою

$$\varepsilon_i = \Delta l / l = 0,001(N_i - N_0) / l = (N_i - N_0) \cdot 5 \cdot 10^{-5}, \quad (1.3)$$

де ε_i – відносна деформація матеріалу;

Δl – абсолютна деформація матеріалу на ділянці вимірювання;

l – база тензометра, рівна 20 мм (виключно в рідких випадках може застосовуватися подовжувач бази до 100-250 мм);

N_0 – початковий відлік за шкалою приладу;

N_i – відлік за шкалою приладу на i -му ступені завантаження.

Тензометр Аістова

Призначення: електромеханічний тензометр Аістова ТА-2 (ТА-6) застосовують для вимірювання деформацій однорідних та неоднорідних матеріалів (зокрема, таких як бетон) (рис. 1.4).

Ціна поділки шкали приладу – 0,001 мм. Межі вимірювань становлять 800-1000 мікрон.

Підготовка до роботи та порядок вимірювань:

1. Тензометр прикріплюють до конструкції за допомогою струбцини.

2. Лімба обертають до того моменту, поки кінець мікрометричного гвинта не торкнеться верхньої частини важеля.

3. В момент дотику, коли вмикається звуковий сигнал, зняти відлік N_i ($i = 0 \dots n$) за шкалою приладу і відвести гвинт від важеля.

4. З початком завантаження конструкції і появою (розвитком) деформації Δl , верхній кінець важеля зміщується на величину Δ . Співвідношення плеч важеля складає $\Delta l / \Delta = m / n = 1/5$. Крок гвинтової лінії – 0,5 мм. На лімба нанесено 100 поділок і тому $\Delta = 0,005(N_i - N_0)$, а $\Delta l = 0,001(N_i - N_0)$, мм.

5. Відносну деформацію матеріалу визначають за формулою

$$\varepsilon_i = \Delta l / l = 0,001(N_i - N_0) / l, \quad (1.4)$$

де ε_i – відносна деформація матеріалу;

Δl – абсолютна деформація матеріалу на ділянці вимірювання;

l – база вимірювання;

N_0 – початковий відлік за шкалою приладу;

N_i – відлік за шкалою приладу на i -му ступені завантаження.

База вимірювань l може змінюватися від 20 до 50 мм завдяки зміщенню опорної призми вздовж станини. В разі необхідності застосовують подовжувач бази на 100, 150 і 200 мм.

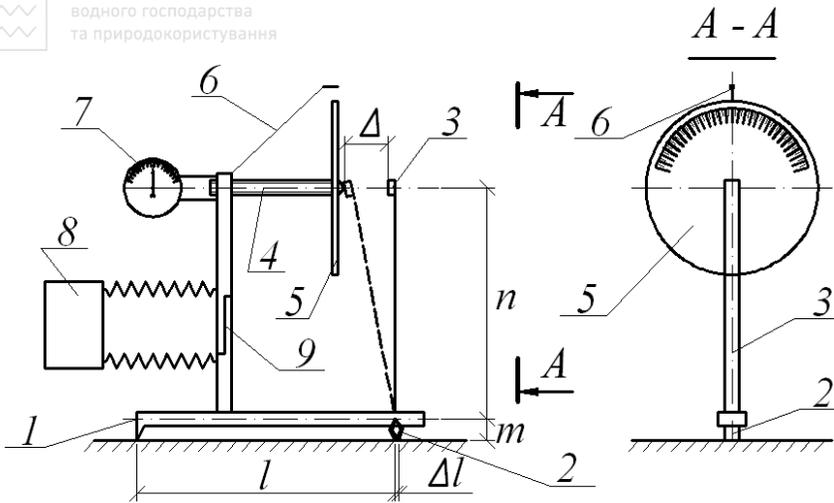


Рис. 1.4. Кінематична схема тензметра Аістова:
1 – нерухома призма; 2 – рухома призма; 3 – важіль; 4 – мікрометричний гвинт; 5 – лімб з поділками; 6 – показник для зняття відліків; 7 – лічильник обертів; 8 – звуковий (світловий) сигналізатор; 9 – ізолятор

Тензодатчики

Призначення: тензоелектродатчики застосовують для вимірювання відносних деформацій матеріалів будівельних конструкцій (рис. 1.5).

Покази датчиків, що вимірюють деформацію матеріалу при випробуванні, фіксуються автоматичним вимірювачем деформацій АИД-1М (ЦТК-1, ЦТМ-5, СИИТ-3, АИД-4М тощо). Ціна поділки шкали вказаних приладів складає $1 \cdot 10^{-5}$ відносних одиниць.

Підготовка до роботи та порядок вимірювань:

1. Зачистити шліфувальним папером поверхню досліджуваної конструкції в місці, де буде приклеюватися тензодатчик.
2. Місце наклеювання промити ацетоном або спиртом і покрити тонким шаром клею типу БФ-2.
3. За допомогою щітки промити ацетоном паперову основу датчика і покрити шаром клею типу БФ-2. Дати йому підсохнути протягом 10-15 хвилин.

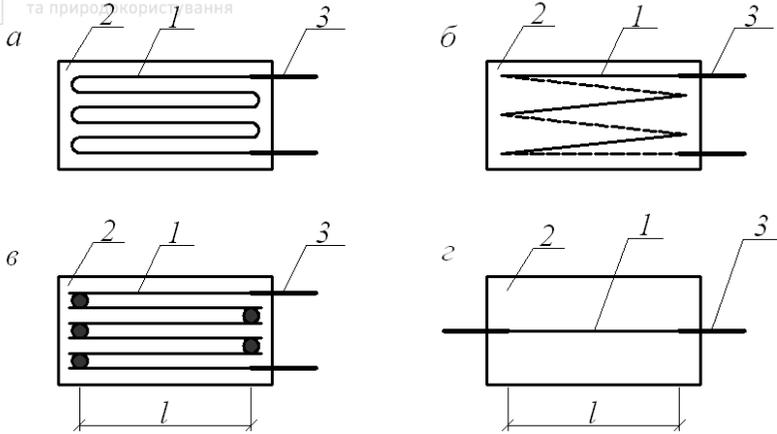


Рис. 1.5. Дротяні тензорезистори:

а – з плоскою петлевою решіткою; *б* – з двохшаровою гострокінцевою решіткою; *в* – з плоскою безпетлевою багатодротяною решіткою; *г* – безпетлеві однопровідникові; *l* – дротяна решітка; 2 – паперова основа; 3 – вивідні провідники з фольги або мідного дроту

4. Місце на конструкції та датчик покрити другим шаром клею і через 2-3 хвилини датчик акуратно притиснути до конструкції гумовим валиком (або пальцями) так, щоб він був щільно, без складок, приклеєний по всій своїй основі.

СИИТ-3

Призначення: система вимірювальна індукційна тензометрична “СИИТ-3” призначена для вимірювання вихідних сигналів тензорезисторів і подання відліків у цифровій формі як на світловий індикатор, так і на тверді носії (рис. 1.6).

Принцип дії ґрунтується на використанні мостової вимірювальної схеми. При дослідженнях будівельних конструкцій використовується схема підключення тензорезисторів з зовнішнім напівмостом і одним компенсаційним датчиком на групу активних датчиків. Під час вимірювань мостова схема не зрівноважена і

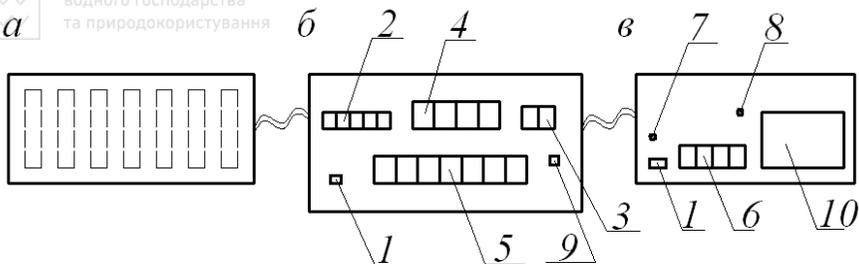


Рис. 1.6. Схема приладу СИИТ-3:

а – блок дистанційного релейного примикання (комутації); *б* – блок вимірювань; *в* – цифродрукуючий пристрій; 1 – вимикач електромережі; 2 – електронне табло (світловий індикатор); 3 – індикатор каналів; 4 – клавіатура управління блоком вимірювань; 5 – клавіатура управління блоком комутації і зоною вимірювань; 6 – клавіатура управління друкуючим пристроєм; 7 – індикатор наявності електроживлення; 8 – індикатор готовності друкуючого пристрою; 9 – кнопка пуску вимірювань; 10 – барабан з паперовою стрічкою

напруга дисбалансу є сигналом, який в подальшому оброблюється і перетворюється в цифрову форму.

Підготовка до роботи:

1. Розпаяти тензорезистори і підключити їх до блоку дистанційного релейного перемикачання (БДРП) (рис. 1.6, *а*) за допомогою з'єднувальних проводів. До одного кабеля під'єднують 10 активних тензорезисторів та 1 компенсаційний на всю групу. Всього можна під'єднати 10 кабелів (100 активних датчиків). Нумерація датчиків у системі така: першому датчику на першому кабелі відповідає номер 00 в системі, другому – 01; першому датчику на другому кабелі – номер 10 в системі, другому – 11 тощо.

2. Натиснути кнопки “Сеть” на блоці вимірювань (БИ) (рис. 1.6, *б*) і на цифродрукуючому пристрої (ЦПП) (рис. 1.6, *в*). Дати системі прогрітися протягом 10-15 хвилин.

Порядок роботи:

1. Натиснути кнопку “Сброс”, потім – кнопки “1/4М” та “ручн” на блоці вимірювань (БИ).



2. За допомогою кнопок “однокр” і “ускор” виставити початковий номер каналу вимірювань (номер першого активного датчика).

3. Натиснути кнопку “Начало”. Якщо початкове значення рівне нулю, потрібно натиснути “Сброс”, а потім – “Начало”.

4. Аналогічно виставити кінцевий номер каналу за допомогою кнопок “однокр” і “ускор”, після чого натиснути кнопку “Кінець”.

5. Натиснути кнопку “Автом” на блоці вимірювань (БИ) і кнопку “Внутр” на цифродрукуючому пристрої (ЦПП).

6. За допомогою кнопки “Пуск” на “БИ” здійснити автоматичну ресстрацію показів даного масиву датчиків. Для просування паперової стрічки в проміжку між вимірюваннями потрібно натискувати кнопку “Прогон” на “ЦПП”.

7. При ресстрації показів тільки одного датчика номери початкового і кінцевого каналів співпадають. Результат вимірювань фіксується на світловому індикаторі.

8. Результати вимірювань оброблюють за формулою

$$\varepsilon_i = t \cdot (N_i - N_0) \cdot 10^{-5}, \quad (1.5)$$

де N_0 – показ приладу для незавантаженого об’єкту;

N_i – показ приладу на i -му ступені завантаження;

t – коефіцієнт тензочутливості.

Молоток Кашкарова

Призначення: еталонний молоток К.П. Кашкарова використовується для визначення міцності бетону за методом пластичних деформацій шляхом нанесення удару (рис. 1.7).

Підготовка до роботи:

1. Підготувати круглий стержень діаметром 12 чи 10 мм довжиною 100-150 мм зі сталі ВСтЗсп2 або ВСтЗпс2.

2. Вставити стержень в отвір молотка.

Порядок вимірювань:

1. Удар наносять перпендикулярно до поверхні бетону з таким зусиллям, щоб діаметр відбитку на бетоні d_b складав 0,3-0,7 діаметра кульки, а діаметр відбитку на еталоні d_s був не менший 2,5 мм. Удар наносять звичайним молотком по оголовку еталонного молотка, встановленого в точці випробування. Відстань між лунками відбитків на поверхні бетону повинна бути не меншою

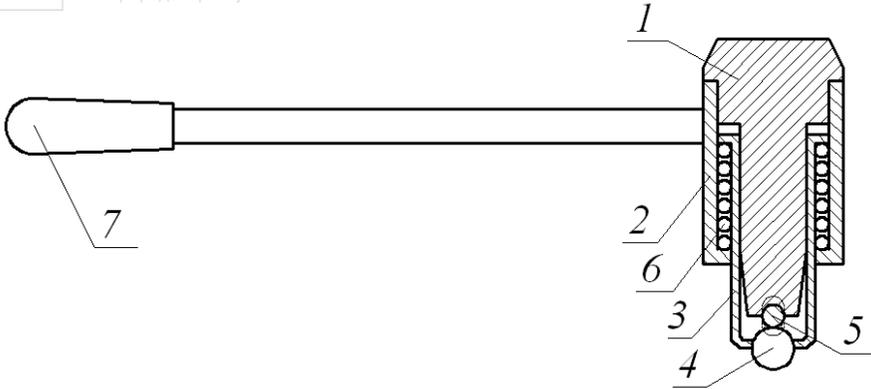


Рис. 1.7. Схема еталонного молотка Кашкарова:

1 – головка; 2 – корпус; 3 – стакан; 4 – кулька; 5 – еталонний стержень; 6 – пружина; 7 – ручка

30 мм, а на поверхні еталону – не меншою 10 мм.

2. Виконують не менше 5 ударів, вимірюючи щоразу діаметр лунки на бетоні і на еталонному стержні.

3. Аномальні результати досліджень вибраковують за методикою [4]. Досить ефективним є вибракування аномальних результатів через визначення необхідного числа відбитків у дослідженнях

$$[n] = 400 K^2 (R_{i, \max} - R_{i, \min})^2 / R^2, \quad (1.6)$$

де K – коефіцієнт, який вибирається за табл. 1.1 залежно від кількості відбитків;

R – середнє арифметичне значення міцності бетону за результатами окремих відбитків;

$R_{i, \max}$, $R_{i, \min}$ – відповідно максимальне та мінімальне значення міцності бетону серед окремих відбитків, визначені за тарувальним графіком чи таблицею додатку 1;

4. Знаходять суму діаметрів відбитків на бетонній поверхні Σd_b і суму діаметрів відбитків на еталонному стержні Σd_s .



Значення коефіцієнта K

Коефіцієнт K	К-сть відбитків,
0,430	5
0,395	6
0,370	7
0,350	8
0,337	9
0,325	10
0,292	20

5. За співвідношенням $\Sigma d_b / \Sigma d_s$ за допомогою тарувального графіку чи таблиці додатку 1 визначають міцність бетону на стиск в зоні R_i . В разі необхідності внести поправку на вік та вологість бетону за формулою

$$R_{i, \tau} = R_i \cdot \alpha_{\tau} \cdot \alpha_w, \quad (1.7)$$

де α_{τ} – поправочний коефіцієнт на вік бетону, приймається за табл. 1.2.;

α_w – поправочний коефіцієнт на вологість бетону, приймають за табл. 1.3.

Таблиця 1.2

Значення поправочного коефіцієнта α_{τ}

Коефіцієнт α_{τ}	Вік бетону, днів
1,40	3
1,20	7
1,06	28
1,00	56
0,9	120
0,8	365
0,7	730
0,65	1095



Значення поправочного коефіцієнта α_w

Вологість бетону	$W, \%$					
Коефіці- єнт α_w	1	0,96	1,00	1,10	1,20	1,40
	6					
	8					
	12					
	> 12					

ОНИКС-2.5

Призначення: Вимірювач міцності ударно-імпульсний ОНИКС-2.5 призначений для визначення міцності цементних бетонів, розчинів та інших композиційних матеріалів методом ударного імпульсу при контролі якості виробів і конструкцій. Принцип роботи приладу заснований на залежності параметрів ударного імпульсу від пружно-пластичних властивостей матеріалу. Прилад складається з електронного блоку і датчика-склерометра (рис. 1.8).

Підготовка приладу до роботи:

1. Увімкнути прилад.
2. Вибрати вид матеріалу через відповідний пункт меню.
3. Встановити коефіцієнти перетворення.
4. Встановити вік бетону.
5. Вибрати об'єкт вимірювань та розмірність вимірюваного параметру.
6. Встановити кількість ударів у серії.

Порядок роботи:

1. Встановити напрям удару датчика-склерометра.
2. Встановити датчик на контрольовану поверхню;
3. Натиснувши спускову кнопку, виконати удар.
4. Виконати серію таких ударів, результати записуються в пам'ять приладу.

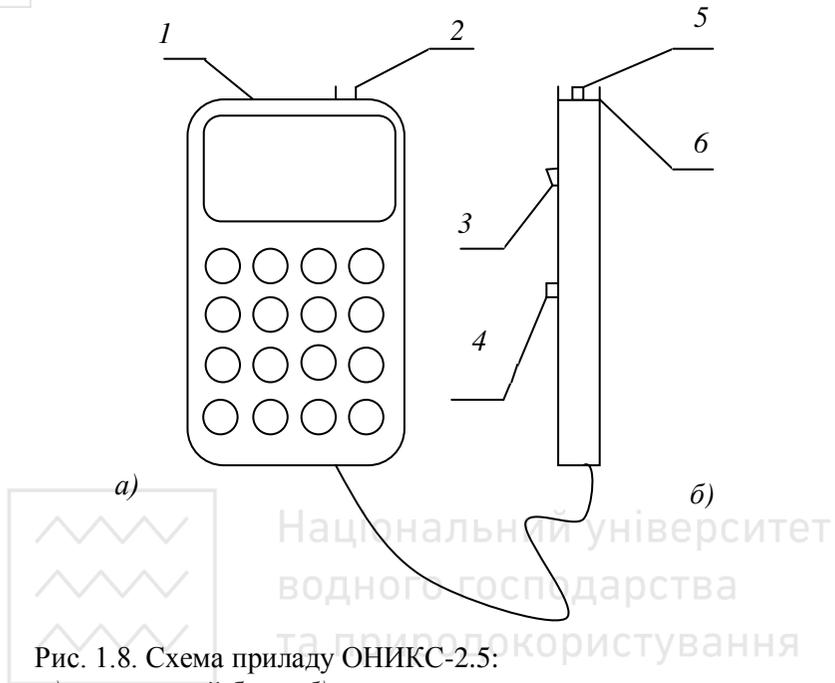


Рис. 1.8. Схема приладу ОНИКС-2.5:

а) електронний блок; б) датчик-склерометр;

1 – USB-роз'єм; 2 – роз'єм датчика; 3 – ручка зведення; 4 – спускова кнопка; 5 – індентор; 6 – коронка.

ПОИСК-2.5

Призначення: Вимірювач захисного шару бетону ПОИСК-2.5 призначений для вимірювання товщини захисного шару бетону, визначення розташування та діаметру арматури в залізобетонних виробках і конструкціях (рис. 1.9).

Підготовка приладу до роботи:

- 1) під'єднати датчик приладу через роз'єм;
- 2) увімкнути прилад натисканням клавіші «вкл», при цьому на дисплеї з'явиться інформація про напругу живлення, а потім прилад переходить в головне меню;
- 3) встановити діаметр контрольованої арматури;



Рис. 1.9. Схема приладу ПОИСК-2.5:

a) електронний блок; *б)* індуктивний перетворювач (датчик);

1 – USB-роз'єм; *2* – роз'єм датчика.

4) вибрати в меню групу сталі, вид арматури (стержні, дрід, пучки, канати).

Порядок роботи:

Для проведення вимірювань при відомому діаметрі арматури необхідно:

- 1) виконати калібровку приладу;
- 2) за необхідності зміни діаметру вийти з режиму вимірювання увійти в пункт головного меню «Діаметр» і встановити необхідне значення діаметру, потім повернутись в режим вимірювання;
- 3) встановити датчик на поверхні контрольованого об'єкту і, плавно перемішуючи його вздовж поверхні, добитись мінімуму показів, при якому арматурний елемент розташовується під поздовжньою віссю датчика;
- 4) потрібні результати зафіксувати в пам'яті приладу для кожного знайденого арматурного елемента.



При вимірюванні за невідомого діаметру арматури:

- 1) встановити очікуване значення діаметру через пункт головного меню «Діаметр»;
- 2) встановити через головне меню режим роботи при невідомому діаметрі арматури;
- 3) увімкнути режим калібрування;
- 4) відняти проєкцію арматурного стержня на поверхню;
- 5) на віднайдену вісь встановити датчик;
- 6) занести в пам'ять приладу покази на дисплеї датчика;
- 7) помістити датчик на діелектричну прокладку і поставити на попереднє місце на поверхні конструкції;
- 8) занести в пам'ять приладу покази на дисплеї датчика;
- 9) на дисплеї з'являться результати вимірювань діаметру арматури.

ЭИН-МГ2

Призначення: електронний вимірювач напружень призначений для визначення величини попереднього натягу стержневої, канатної та дрютяної арматури залізобетонних конструкцій частотним методом (рис. 1.10).

Підготовка приладу до роботи:

1. Зняти кришку батарейного (елементного) відсіку.
2. Зібрати батарею живлення.
3. Виставити перемикач діапазонів у положення “2” (обидві кнопки перемикача відтиснуті).
4. Виставити перемикач діаметрів у нейтральне положення.
5. Ввімкнути живлення відповідним перемикачем.
6. Занести до пам'яті електронного блоку (рис. 1.9, а) число 600 натискуванням клавіш “6”, “0”, “0”, “П+” (запис у пам'ять).
7. Натиснути кнопку “Перевірка”.
8. Натиснути і відпустити кнопку “Пуск”.
9. Зафіксувати на електронному табло результат, що повинен бути в межах 3068 ± 10 .

Порядок роботи:

1. Виставити перемикач діапазонів у положення, яке відповідає довжині арматурного стержня: діапазон 1 (кнопка “1”) для стержнів довжиною 9-18 м; діапазон 2 (кнопки “1” і “2” відтиснуті) для стержнів довжиною 4,5-13 м; діапазон 3 (кнопка “2”) для стержнів

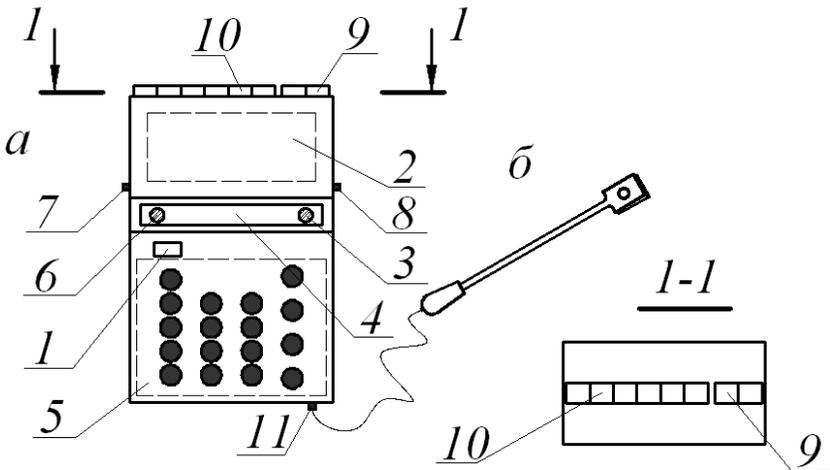


Рис. 1.10. Схема приладу ЭИН-МГ2:

а – електронний блок вимірювань; *б* – виносний індукційний датчик; 1 – вимикач живлення; 2 – батарейний відсік; 3 – індикатор живлення; 4 – електронне табло; 5 – клавіатура; 6 – індикатор порогового пристрою; 7 – кнопка пуску; 8 – кнопка перевірки; 9 – перемикач діапазонів; 10 – перемикач діаметрів; 11 – роз’єм для підключення датчика

9. Зафіксувати на електронному табло результат, що повинен бути в межах 3068 ± 10 .

довжиною до 5,5 м.

2. Виставити перемикач діаметрів у положення, що відповідає діаметру арматурного стержня.

3. Звіркувати живлення приладу та датчика коливаль.

4. Занести до реєстру пам’яті приладу довжину напруженого стержня.

5. Викликати коливання арматурного стержня.

6. Піднести чутливий елемент датчика (рис. 1.9, б) робочою площиною до поверхні арматури (в середині її прольоту) на відстань 5-15 мм і зафіксувати його положення на цій ділянці.

7. Натиснути та відпустити кнопку “Пуск”.



8. Зафіксувати на табло результат вимірювань.

9. Для скидання результатів вимірювань натиснути клавішу “С”, а для вимірювання напружень в стержнях інших діаметрів і довжин: натиснути клавішу “СП” (скидання пам’яті), змінити положення перемикачів діаметрів і діапазонів та занести до пам’яті приладу нові вихідні дані.

Контрольні запитання

1. Класифікація вимірювальних приладів за призначенням.
2. Класифікація вимірювальних приладів за принципом дії.

Лабораторна робота №2

Неруйнівні методи контролю якості будівельних матеріалів, виробів та конструкцій.

Мета та задачі роботи

Мета роботи: вивчити основні методи та засоби неруйнівного контролю якості будівельної продукції.

У роботі необхідно вирішити такі **задачі:**

- 1) вивчити найпоширеніші неруйнівні методи дослідження будівельних конструкцій;
- 2) ознайомитися з роботою частотних та електромагнітних приладів неруйнівного контролю якості будівельних конструкцій;
- 3) вивчити методи та засоби контролю величини попереднього натягу арматури під час виготовлення напружених конструкцій;
- 4) для залізобетонних конструкцій визначити товщину захисного шару бетону, положення та діаметр арматури.

Обладнання, прилади та матеріали

Для виконання лабораторної роботи необхідні: при дослідженні попередньо напружених залізобетонних конструкцій – металеві форми з арматурними стержнями Ø12 А-500, натягнутими до контрольного напруження ($\sigma_{sp, 0}$), та частотний прилад ЭИН-МГ2; рулетка, штангенциркуль; електромагнітний прилад індукційного типу ИЗС-10Н; каталог вимірювальних приладів або відповідні інструкції до них; залізобетонна балка 10×16×200 см, тимчасовий стэнд.



Порядок виконання роботи

1. За допомогою нормативної, методичної та навчальної літератури ознайомитися з основними неруйнівними методами дослідження будівельних конструкцій.
2. Використовуючи каталоги чи відповідні інструкції, ознайомитися з роботою та порядком підготовки до вимірювань приладів ЭИН-МГ2 та ПОИСК-2.5.
3. Визначити величину попереднього напруження арматурних стержнів за допомогою приладу ЭИН-МГ2. Результати вимірювань занести до табл. 2.1.
4. Визначити в залізобетонних конструкціях положення і діаметр поздовжньої та поперечної арматури за допомогою приладу ПОИСК-2.5. Виміряти товщини захисного шару бетону для поздовжньої робочої арматури. Результати вимірювань занести до табл. 2.2.
5. Провести обробку результатів відповідних вимірювань.

Контрольні запитання

1. Призначення, порядок підготовки до вимірювань та принцип дії приладу ЭИН-МГ2.
2. Способи контролю величини попереднього напруження арматури.
3. Будова, порядок підготовки до вимірювань та принцип дії магнітного індукційного приладу ПОИСК-2.5. Назвіть технічні можливості цих приладів.
4. Вкажіть області застосування неруйнівних методів дослідження будівельних конструкцій.

Лабораторна робота №3

Визначення фізико-механічних характеристик матеріалів неруйнівними та руйнівними методами.

Мета та задачі роботи

Мета роботи: вивчення основних методів та засобів визначення міцнісних та деформативних характеристик матеріалів для будівельних конструкцій.

У роботі необхідно вирішити наступні **задачі:**

- 1) вивчити найпоширеніші неруйнівні та руйнівні методи вивчення матеріалів для будівельних конструкцій;



Обробка результатів вимірювань

Таблиця 2.1

Результати вимірювання величини попереднього напруження арматурних стержнів за допомогою приладу ЭИН-МГ2

Характеристика стержня		№ вимірювань	Напруження в арматурі, МПа		
Клас арматури та її діаметр, мм	Робоча довжина l_{0s} , мм		$\sigma_{sp, 0i}$	$\sigma_{sp, 0m}$	
		1			
		2			
		3			
		4			
		5			
		6			
		7			
		8			
		9			
		10			
		11			
		12			



Таблиця 2.2

Результати визначення товщини захисного шару бетону та діаметру і місця розташування арматури за допомогою приладу ПОИСК-2.5

Тип арматури	Діаметри стержнів за шкалою приладу d_s , мм	Відліки		Різниця відліків II-I, мм	Товщина прокладки, мм	Висновок
		I – без прокладки	II – з прокладкою			
	4					$d_s =$, мм
	5					$a_s =$, мм
	6					$u_s =$, мм
	8					
	10					
	12					
	14					
	16					
	18					
	20-25					
	28-32					



2) ознайомитися з роботою механічних приладів неруйнівного контролю якості будівельної продукції;

3) застосовуючи методи та прилади неруйнівного контролю, визначити міцність матеріалів (бетону) для будівельних конструкцій;

4) ознайомитися з роботою механічних приладів та гідравлічного устаткування для неруйнівного контролю якості будівельної продукції;

5) застосовуючи методи та прилади руйнівного контролю якості, визначити міцнісні та деформативні характеристики матеріалів (бетону) для будівельних конструкцій.

Обладнання, прилади та матеріали

Під час виконання лабораторної роботи використовують такі вимірювальні і обладнання: механічний прилад молоток Кашкарова; прилад ОНИКС-2.5; індикатори 1МИГ (2МИГ); каталог вимірювальних приладів чи відповідні інструкції до них; гідравлічний прес П-250; дослідні зразки матеріалів для випробувань (бетонні куби $15 \times 15 \times 15$ см та призми $15 \times 15 \times 60$ см).

Порядок виконання роботи

1. За допомогою нормативної, методичної та навчальної літератури ознайомитися з основними неруйнівними та руйнівними методами випробування матеріалів для будівельних конструкцій.

2. Використовуючи каталоги чи відповідні інструкції, ознайомитися з роботою та порядком підготовки до вимірювань механічного приладу молоток Кашкарова.

3. Визначити міцність матеріалу (бетону) за допомогою молотка Кашкарова. Результати вимірювань занести до табл. 3.1.

4. Використовуючи каталоги чи відповідні інструкції, ознайомитися з роботою та порядком підготовки до вимірювань приладу ОНИКС-2.5.

3. Визначити міцність матеріалу (бетону) за допомогою приладу ОНИКС-2.5. Результати вимірювань занести до табл. 3.2.

4. Визначити фактичну міцність матеріалу шляхом випробування у пресі зразків матеріалу (бетонних кубів та призм). Результати випробувань занести до табл. 3.3 і 3.4.

5. Визначити деформативність матеріалу шляхом випробування у пресі зразків матеріалу (бетонних призм) багатоступеневим завантаженням. Результати випробувань занести до табл. 3.4.



Результати дослідження міцності бетону неруйнівними методами за допомогою молотка Кашкарова

№ зони	№ удару	Діаметр відбитків		$\frac{\Sigma d_b}{\Sigma d_s}$	Міцність в зоні R_i , МПа	Розходження $R_i - R_m$	$(R_i - R_m)^2$
		на бетоні d_b , мм	на еталоні d_s , мм				
I	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
	6						
	Σ						
II	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
	6						
	Σ						

$$R_m = \Sigma R_i / n =$$

$$\Sigma (R_i - R_m)^2 =$$



Таблиця 3.2

Результати дослідження міцності бетону неруйнівними методами за допомогою приладу ОНИКС-2.5

№ зразка/зони	№ удару	Міцність R_i , МПа	Середнє значення міцності R_m , МПа	Розходження $R_i - R_m$
I	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
II	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			

Таблиця 3.3

Результати визначення фактичної міцності матеріалу

№ за п.	Розміри зразків $a \times b \times h$, см	Площа поперечного перерізу зразка A , см ²	Руйнівне навантаження P_R , кН	Міцність матеріалу $R_{f, i}$, МПа	Середня міцність $R_{f, m}$, МПа	Розходження $(R_m - R_{f, m})/R_{f, m}$
1						
2						
3						



Таблиця 3.4

Результати визначення напружень і деформацій матеріалу при
осьовому стиску

№ за п.	Навантаження $P, \text{кН}$	Напруження $\sigma = P / A, \text{МПа}$	Покази за приладами				Різниця показів					Абсолютна деформація, $\Delta l = c \cdot \Delta l_m, \text{мм}$	Відносна деформація, $\epsilon = \Delta l / l, \text{мм}$
			I_1	I_2	I_3	I_4	ΔI_1	ΔI_2	ΔI_3	ΔI_4	ΔI_m		
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													
11													
12													
13													
14													
15													

$a = \text{см}; b = \text{см}; A = a \times b = \times = \text{см}^2; c = 0,001 \text{ мм}; l = \text{мм}$



6. Провести обробку результатів відповідних вимірювань. Відносні деформації на кожному ступені завантаження, які визначені за допомогою індикаторів, обчислюють за формулою (10.3)

$$\varepsilon_i = \Delta N_i \cdot c / a, \quad (3.1)$$

де ΔN_i – приріст відліків за шкалою приладів на i -му ступені завантаження;

c – ціна поділки шкали приладів;

a – база вимірювань, мм.

Результати обробки необхідно занести до табл. 3.3

7. Побудувати графік розвитку відносних деформацій матеріалу (бетону) залежно від напружень, тобто $\varepsilon_b = f(\sigma)$.

Контрольні запитання

1. Класифікація неруйнівних та руйнівних методів випробувань матеріалів для будівельних конструкцій.

2. Дайте класифікацію неруйнівних механічних методів випробувань.

3. Суть випробувань за методом пластичних деформацій.

4. Будова, порядок підготовки до вимірювань та принцип дії механічного приладу молоток Кашкарова.

5. Будова, порядок підготовки до вимірювань та принцип дії механічного приладу ОНИКС-2.5.

6. Назвіть основні переваги та недоліки неруйнівних та руйнівних методів випробувань.

7. Наведіть порядок завантаження дослідних зразків при осьовому стиску, зняття відліків за вимірювальними приладами та обробки результатів випробувань для визначення фактичних значень напружень і відносних деформацій матеріалів (бетону).

Лабораторна робота №4

Аналіз і обробка результатів вимірювань швидкості ультразвуку в бетоні різної міцності.

Мета роботи: набуття навичок з обробітку експериментальних даних на основі попередніх вимірювань та виконання необхідних розрахунків для узагальнення результатів досліджень у вигляді обґрунтованих висновків.



4.1. Теоретична частина. Визначення середніх величин, характеристики варіації та основи кореляційного аналізу.

Сукупність значень, що отримані при вимірюванні фізичної величини, називають *варіаційним рядом* ($x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_i, \dots, x_n$).

Середнє арифметичне є найбільш поширеною характеристикою варіаційних рядів і воно визначається за формулою

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}, \quad (4.1)$$

де $\sum x$ – сума значень фізичних величин – варіант; n – число цих значень.

На практиці при статистичному аналізі для характеристики варіації використовують поняття *відхилення індивідуальних значень варіанти від середнього значення* $x_i - \bar{x}$.

Середнє лінійне відхилення для не згрупованих варіаційних рядів визначається за формулою

$$l = \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{n}. \quad (4.2)$$

Середнє квадратичне відхилення

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}}. \quad (4.3)$$

Коефіцієнт варіації

$$V\% = \frac{\sigma}{\bar{x}}. \quad (4.4)$$

Залежність між фізичними величинами може бути функціональною чи кореляційною.

Функціональна залежність – це така залежність, коли кожній окремій величині відповідає строго визначена інша величина.

Кореляційна залежність – така залежність, коли одній незалежній величині відповідає декілька змінних величин, що варіюють навколо якоїсь середньої величини.

Кореляція буває прямолінійною та криволінійною, прямою та зворотною.

Прямолінійна кореляція – це така кореляція, коли рівним змінним однієї змінної величини в середньому відповідають рівні змінні другої фізичної величини.



Криволінійною називається така кореляція, коли рівним змінним однієї фізичної величини можуть відповідати будь-які, як рівні, так і нерівні середні значення другої фізичної величини.

При прямій кореляції зі збільшенням однієї фізичної величини середні значення другої фізичної величини систематично та неухильно збільшуються, а при зворотній кореляції зі збільшенням однієї фізичної величини середні значення іншої фізичної величини зменшуються.

Встановлюючи залежності між двома властивостями при проведенні експерименту, необхідно спостерігати за ними одночасно, таким чином повинні бути взаємно пов'язані пари результатів спостережень.

Аналітичну оцінку прямолінійної залежності між двома фізичними величинами здійснюють, використовуючи коефіцієнт кореляції r .

Коефіцієнт кореляції визначають за формулою

$$r_{xy} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sigma_x \sigma_y}, \quad (4.5)$$

де \bar{x} , \bar{y} – середнє арифметичне значення змінних x , y ;

σ_x , σ_y – середнє квадратичне відхилення змінних x , y .

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}}; \quad (4.6) \quad \sigma_y = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n}}. \quad (4.7)$$

Помилку коефіцієнта кореляції знаходять за формулою

$$m_r = \frac{1 - r^2}{\sqrt{n}}, \quad (4.8)$$

де m_r – середня помилка коефіцієнта кореляції; n – кількість спостережень.

Якщо відношення коефіцієнта кореляції до його середньої помилки не менше чотирьох $\frac{r}{m} \geq 4$, то лінійний зв'язок між двома фізичними величинами доведений, а коефіцієнт кореляції вважають достовірним.

Апроксимують у такому випадку кореляційну залежність між двома змінними рівнянням прямої лінії

$$y = a \pm bx, \quad (4.9)$$



де a і b – коефіцієнти рівняння регресії, що визначаються методом найменших квадратів за формулами

$$b = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}; \quad (4.10)$$

$$a = \frac{\sum y_i}{n} - b \frac{\sum x_i}{n}. \quad (4.11)$$

Для оцінки криволінійних зв'язків використовують кореляційне відношення, яке позначають літерою η та визначають за відповідною методикою.

Також визначається помилка кореляційного відношення m_η за формулою:

$$m_\eta = \frac{1 - \eta^2}{\sqrt{n}}. \quad (4.12)$$

Оцінку достовірності коефіцієнта кореляції та кореляційного відношення можна здійснити за формулою:

$$\frac{n}{m_\eta} \geq 4. \quad (4.13)$$

4.2. Завдання до виконання лабораторної роботи

Кожний студент індивідуально виконує завдання, варіант якого він вибирає за двома останніми цифрами шифру студентського квитка за таблицею 4.1.

Завдання. Варіанти 1...100. Для 9 кубів, виготовлених із важкого бетону однакового складу, але з різними водоцементними відношеннями, визначена швидкість проходження ультразвуку V (км/с) і кубова міцність бетону при стисканні R (МПа). Дані до виконання завдання наведені в таблиці 4.2. Потрібно вивести лінію рівняння регресії $R = f(V)$; встановити сходиність значень міцності бетону, отриманих за рівнянням регресії, з дослідними даними. Побудувати тарувальну пряму $R = f(V)$.

4.3. Приклад розрахунку завдання

Задача: Для 9 кубів, виготовлених з важкого бетону однакового складу, але з різними водоцементними відношеннями, визначена швидкість проходження ультразвуку V (км/с); кубова міцність бетону при стисканні R (МПа). Дані наведені в таблиці 4.3.



Таблиця 4.1

Таблиця до вибору номера індивідуального завдання

Остання цифра суми останньої та передостанньої цифри шифру	Остання цифра шифру									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
2	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
3	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
4	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
5	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
6	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
7	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
8	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
9	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100

Таблиця 4.2

Дані до виконання індивідуального завдання

1	$V(\text{км/с})$	3,41	3,52	3,64	3,70	3,85	3,92	4,01	4,15	4,22
	$R(\text{МПа})$	7,18	8,99	12,27	13,15	17,32	17,97	21,03	22,19	25,04
2	$V(\text{км/с})$	3,59	3,61	3,72	3,84	3,91	4,03	4,17	4,24	4,32
	$R(\text{МПа})$	9,31	11,03	13,99	16,38	18,24	20,61	24,59	24,81	27,23
3	$V(\text{км/с})$	3,62	3,74	3,81	3,90	3,99	4,10	4,24	4,33	4,45
	$R(\text{МПа})$	12,00	13,95	16,03	17,67	20,63	21,46	25,40	25,99	30,38
4	$V(\text{км/с})$	4,25	4,37	4,46	4,58	4,67	4,76	4,89	4,98	5,09
	$R(\text{МПа})$	26,32	26,91	30,08	32,03	35,14	36,21	41,31	41,05	44,50
5	$V(\text{км/с})$	4,36	4,47	4,59	4,66	4,77	4,85	4,98	5,06	5,16
	$R(\text{МПа})$	28,13	29,69	33,93	33,08	37,10	38,56	42,55	41,87	46,85
6	$V(\text{км/с})$	4,49	4,57	4,66	4,79	4,87	5,00	5,09	5,16	5,28
	$R(\text{МПа})$	32,45	32,86	35,74	37,53	41,16	40,89	46,07	44,82	49,90
7	$V(\text{км/с})$	4,56	4,69	4,77	4,88	4,99	5,06	5,18	5,29	5,37
	$R(\text{МПа})$	34,45	35,21	38,08	39,59	43,74	44,30	46,88	47,34	51,97
8	$V(\text{км/с})$	4,65	4,73	4,86	4,94	5,06	5,13	5,24	5,35	5,47
	$R(\text{МПа})$	36,08	36,19	40,93	40,55	44,41	44,28	47,51	48,19	53,06
9	$V(\text{км/с})$	4,75	4,84	4,96	5,05	5,16	5,24	5,34	5,45	5,56
	$R(\text{МПа})$	37,29	37,99	42,44	42,02	46,33	46,92	51,29	51,73	55,09
10	$V(\text{км/с})$	4,87	4,96	5,07	5,16	5,25	5,36	5,49	5,58	5,67
	$R(\text{МПа})$	41,14	40,84	44,48	44,59	49,17	49,24	54,94	53,85	60,14
11	$V(\text{км/с})$	4,87	4,96	5,08	5,16	5,27	5,35	5,49	5,56	5,64
	$R(\text{МПа})$	41,98	40,63	46,90	44,39	49,08	50,35	54,25	54,17	57,95
12	$V(\text{км/с})$	4,92	5,03	5,14	5,22	5,35	5,43	5,51	5,64	5,73
	$R(\text{МПа})$	42,28	42,48	45,93	45,80	52,04	52,55	54,37	55,64	59,61



Продовження таблиці 4.2

13	V (км/с)	4,94	5,05	5,14	5,24	5,32	5,46	5,54	5,63	5,75
	R (МПа)	41,26	42,40	46,28	46,72	49,38	50,11	55,34	54,63	60,87
14	V (км/с)	5,05	5,14	5,25	5,35	5,45	5,56	5,65	5,74	5,85
	R (МПа)	43,30	42,96	48,83	48,68	53,59	53,82	58,44	57,38	63,03
15	V (км/с)	5,00	5,10	5,20	5,30	5,40	5,50	5,60	5,70	5,80
	R (МПа)	43,30	42,68	47,00	47,33	51,53	52,84	55,69	54,46	62,65
16	V (км/с)	4,17	4,25	4,33	4,46	4,55	4,64	4,77	4,89	4,95
	R (МПа)	24,71	24,93	28,61	30,09	33,23	33,55	37,17	38,46	41,27
17	V (км/с)	3,71	3,82	3,90	4,02	4,11	4,24	4,31	4,42	4,50
	R (МПа)	14,09	15,23	18,54	19,62	22,92	25,04	27,43	28,60	31,90
18	V (км/с)	3,84	3,92	4,03	4,12	4,21	4,33	4,41	4,52	4,61
	R (МПа)	16,63	17,72	20,88	22,37	25,18	26,01	29,14	30,14	33,44
19	V (км/с)	3,91	4,01	4,12	4,24	4,31	4,43	4,51	4,62	4,71
	R (МПа)	18,86	19,95	23,45	24,41	27,83	28,01	32,60	33,37	37,16
20	V (км/с)	4,02	4,11	4,23	4,30	4,41	4,54	4,61	4,72	4,84
	R (МПа)	20,52	21,80	25,96	25,89	29,00	30,87	34,27	34,34	39,90
21	V (км/с)	4,13	4,21	4,29	4,42	4,51	4,60	4,73	4,85	4,91
	R (МПа)	23,71	23,93	27,61	29,09	32,23	31,55	36,17	37,46	40,27
22	V (км/с)	4,20	4,32	4,41	4,53	4,62	4,71	4,84	4,93	5,04
	R (МПа)	25,31	25,90	29,07	31,02	34,13	35,20	40,30	40,04	43,49
23	V (км/с)	4,31	4,42	4,54	4,61	4,72	4,80	4,93	5,01	5,12
	R (МПа)	27,03	28,59	32,83	31,98	36,00	37,46	41,45	40,77	45,75
24	V (км/с)	4,43	4,51	4,60	4,73	4,81	4,94	5,03	5,10	5,22
	R (МПа)	30,45	30,86	33,74	35,53	39,16	38,89	44,07	42,82	47,90
25	V (км/с)	4,50	4,63	4,71	4,82	4,93	5,00	5,12	5,23	5,31
	R (МПа)	32,45	33,21	36,08	36,59	41,74	41,30	44,88	45,34	49,97
26	V (км/с)	4,62	4,70	4,83	4,91	5,03	5,10	5,21	5,32	5,44
	R (МПа)	35,08	35,19	39,93	38,55	43,41	43,28	46,51	47,19	53,06
27	V (км/с)	4,71	4,80	4,92	5,01	5,12	5,22	5,30	5,41	5,52
	R (МПа)	36,29	35,99	41,44	41,02	45,33	45,92	50,28	50,73	55,09
28	V (км/с)	4,82	4,91	5,01	5,11	5,20	5,31	5,44	5,53	5,62
	R (МПа)	39,14	38,84	42,48	42,59	47,17	47,24	52,93	51,85	58,14
29	V (км/с)	4,83	4,92	5,04	5,12	5,23	5,31	5,45	5,52	5,60
	R (МПа)	39,98	38,63	41,90	42,39	47,08	47,35	52,25	51,17	55,95
30	V (км/с)	4,91	5,02	5,13	5,21	5,34	5,42	5,50	5,63	5,72
	R (МПа)	41,28	40,48	44,93	44,80	51,04	48,55	53,37	54,64	58,61
31	V (км/с)	4,92	5,03	5,12	5,22	5,30	5,44	5,52	5,61	5,73
	R (МПа)	40,74	41,90	45,78	46,22	48,88	49,61	54,84	54,13	60,37
32	V (км/с)	5,02	5,11	5,23	5,31	5,42	5,53	5,62	5,71	5,82
	R (МПа)	43,80	42,46	48,23	48,18	53,09	53,32	57,94	56,78	62,53
33	V (км/с)	4,93	5,10	5,21	5,33	5,41	5,52	5,63	5,70	5,84
	R (МПа)	43,70	42,68	47,07	47,63	51,63	53,04	55,89	54,46	63,05
34	V (км/с)	3,41	3,52	3,64	3,70	3,85	3,92	4,01	4,15	4,22
	R (МПа)	7,18	8,99	12,27	13,15	17,32	17,97	21,03	22,19	25,04

35	V (км/с)	3,50	3,61	3,72	3,84	3,91	4,03	4,17	4,24	4,32
	R (МПа)	9,31	11,03	13,99	16,38	18,24	20,61	24,59	24,81	27,23
36	V (км/с)	3,62	3,74	3,81	3,90	3,99	4,10	4,24	4,33	4,45
	R (МПа)	12,00	13,95	16,03	17,67	20,63	21,46	25,40	25,99	30,38
37	V (км/с)	3,71	3,82	3,90	4,02	4,11	4,24	4,31	4,42	4,50
	R (МПа)	14,09	15,23	18,54	19,62	22,92	25,04	27,43	28,60	31,90
38	V (км/с)	3,84	3,92	4,03	4,12	4,21	4,33	4,41	4,52	4,61
	R (МПа)	16,63	17,72	20,88	22,37	25,18	26,01	29,14	30,14	33,44
39	V (км/с)	3,91	4,01	4,12	4,24	4,31	4,43	4,51	4,62	4,71
	R (МПа)	18,86	19,95	23,45	24,41	27,83	28,01	32,60	33,37	37,16
40	V (км/с)	4,02	4,11	4,23	4,30	4,41	4,54	4,61	4,72	4,84
	R (МПа)	20,52	21,80	25,96	25,89	29,00	30,87	34,27	34,34	39,90
41	V (км/с)	4,13	4,21	4,29	4,42	4,51	4,60	4,73	4,85	4,91
	R (МПа)	23,71	23,93	27,61	29,09	32,23	31,55	36,17	37,46	40,27
42	V (км/с)	4,20	4,32	4,41	4,53	4,62	4,71	4,84	4,93	5,04
	R (МПа)	25,31	25,90	29,07	31,02	34,13	35,20	40,30	40,04	43,49
43	V (км/с)	4,31	4,42	4,54	4,61	4,72	4,80	4,93	5,01	5,12
	R (МПа)	27,03	28,59	32,83	31,98	36,00	37,46	41,45	40,77	45,75
44	V (км/с)	4,43	4,51	4,60	4,73	4,81	4,94	5,03	5,10	5,22
	R (МПа)	30,45	30,86	33,74	35,53	39,16	38,89	44,07	42,82	47,90
45	V (км/с)	4,50	4,63	4,71	4,82	4,93	5,00	5,12	5,23	5,31
	R (МПа)	32,45	33,21	36,08	36,59	41,74	41,30	44,88	45,34	49,97
46	V (км/с)	4,62	4,70	4,83	4,91	5,03	5,10	5,21	5,32	5,44
	R (МПа)	35,08	35,19	39,93	38,55	43,41	43,28	46,51	47,19	53,06
47	V (км/с)	4,71	4,80	4,92	5,01	5,12	5,22	5,30	5,41	5,52
	R (МПа)	36,29	35,99	41,44	41,02	45,33	45,92	50,28	50,73	55,09
48	V (км/с)	4,82	4,91	5,02	5,11	5,20	5,31	5,44	5,53	5,62
	R (МПа)	39,14	38,83	42,48	42,59	47,17	47,24	52,93	51,85	58,14
49	V (км/с)	4,83	4,92	5,04	5,12	5,23	5,31	5,45	5,52	5,60
	R (МПа)	39,98	38,63	41,90	45,39	47,08	47,35	52,25	51,17	55,95
50	V (км/с)	4,91	5,02	5,13	5,21	5,34	5,42	5,50	5,63	5,72
	R (МПа)	41,28	40,48	44,93	44,80	51,04	48,55	53,37	54,64	58,61
51	V (км/с)	4,92	5,03	5,12	5,22	5,30	5,44	5,52	5,61	5,73
	R (МПа)	40,76	41,90	45,78	46,22	48,88	49,61	54,84	54,13	60,37
52	V (км/с)	5,02	5,11	5,23	5,31	5,42	5,53	5,62	5,71	5,82
	R (МПа)	43,80	42,46	48,18	48,23	53,09	53,32	57,97	56,78	62,53
53	V (км/с)	5,03	5,10	5,21	5,33	5,41	5,52	5,63	5,70	5,84
	R (МПа)	43,70	42,68	47,07	47,63	52,63	53,04	55,89	54,46	63,05
54	V (км/с)	3,41	3,52	3,64	3,70	3,85	3,93	4,01	4,15	4,22
	R (МПа)	6,98	8,79	12,07	12,95	17,12	17,67	20,93	21,99	24,84
55	V (км/с)	3,50	3,61	3,72	3,84	3,91	4,03	4,17	4,24	4,32
	R (МПа)	9,11	11,00	13,79	16,18	18,01	20,31	24,49	24,61	27,02
56	V (км/с)	3,62	3,74	3,81	3,90	3,99	4,10	4,24	4,33	4,45
	R (МПа)	11,70	13,65	15,73	17,47	20,23	21,16	25,11	25,65	29,98



57	V (км/с)	3,71	3,82	3,90	4,02	4,10	4,23	4,31	4,42	4,49
	R (МПа)	13,59	15,00	18,04	19,12	22,43	24,55	27,00	28,18	31,40
58	V (км/с)	3,84	3,92	4,03	4,12	4,21	4,33	4,41	4,52	4,61
	R (МПа)	16,63	17,62	20,98	22,37	25,08	26,13	29,04	30,04	33,34
59	V (км/с)	3,92	4,01	4,12	4,24	4,31	4,43	4,51	4,62	4,71
	R (МПа)	18,96	20,15	23,35	24,55	27,99	28,01	32,60	33,33	37,00
60	V (км/с)	4,02	4,11	4,23	4,30	4,41	4,54	4,61	4,72	4,84
	R (МПа)	20,71	21,89	26,02	26,05	29,13	29,99	34,26	37,26	39,85
61	V (км/с)	4,13	4,21	4,29	4,42	4,51	4,60	4,73	4,85	4,91
	R (МПа)	23,95	24,07	27,51	29,13	33,51	32,55	36,14	37,66	40,01
62	V (км/с)	4,20	4,32	4,41	4,53	4,62	4,71	4,84	4,93	5,04
	R (МПа)	25,31	25,90	29,03	31,15	34,13	35,61	40,15	40,55	43,00
63	V (км/с)	4,31	4,42	4,54	4,61	4,72	4,80	4,93	5,01	5,12
	R (МПа)	27,13	28,59	31,50	31,95	34,20	37,33	40,95	40,98	49,75
64	V (км/с)	4,43	4,51	4,60	4,73	4,81	4,94	5,03	5,10	5,21
	R (МПа)	30,44	30,85	34,82	35,52	39,15	39,99	44,06	43,82	47,90
65	V (км/с)	4,49	4,62	4,70	4,81	4,92	4,99	5,11	5,22	5,30
	R (МПа)	32,45	33,20	36,06	36,57	41,72	41,95	44,86	46,72	49,97
66	V (км/с)	4,61	4,70	4,82	4,90	5,02	5,10	5,20	5,31	5,43
	R (МПа)	35,08	35,62	39,93	39,99	43,41	43,58	46,51	47,19	53,06
67	V (км/с)	4,71	4,80	4,92	5,01	5,12	5,22	5,30	5,41	5,52
	R (МПа)	36,29	37,02	41,44	42,42	45,33	45,92	50,28	52,07	55,09
68	V (км/с)	4,82	4,91	5,02	5,11	5,20	5,31	5,44	5,53	5,62
	R (МПа)	39,14	40,42	42,48	44,02	47,17	48,01	52,93	55,03	58,14
69	V (км/с)	4,82	4,91	4,03	5,11	5,22	5,31	5,44	5,51	5,60
	R (МПа)	39,98	40,13	44,90	45,33	47,08	48,12	52,25	53,02	55,95
70	V (км/с)	4,91	5,02	5,13	5,21	5,34	5,42	5,50	5,63	5,72
	R (МПа)	41,28	43,07	44,93	45,20	51,04	52,00	53,37	54,64	58,61
71	V (км/с)	4,92	5,03	5,12	5,22	5,30	5,43	5,51	5,60	5,72
	R (МПа)	40,76	42,53	45,78	47,00	48,88	49,61	54,84	58,61	60,37
72	V (км/с)	5,02	5,11	5,23	5,31	5,42	5,53	5,62	5,70	5,81
	R (МПа)	43,80	45,04	48,23	49,99	53,09	55,61	57,94	56,93	62,53
73	V (км/с)	5,03	5,10	5,20	5,32	5,40	5,51	5,62	5,69	5,83
	R (МПа)	43,70	44,68	47,07	48,93	51,63	53,04	55,89	56,07	63,05
74	V (км/с)	3,41	3,51	3,63	3,69	3,84	3,91	4,00	4,14	4,21
	R (МПа)	8,99	9,07	12,27	14,17	17,32	17,97	21,03	22,19	24,04
75	V (км/с)	3,49	3,60	3,71	3,83	3,90	4,02	4,16	4,23	4,31
	R (МПа)	10,31	11,03	13,99	16,38	18,24	20,61	24,59	25,14	27,23
76	V (км/с)	3,61	3,73	3,81	3,90	3,98	4,09	4,23	4,32	4,44
	R (МПа)	12,00	13,95	16,03	18,67	20,63	21,46	25,40	26,99	30,38
77	V (км/с)	3,70	3,81	3,89	4,01	4,10	4,23	4,30	4,41	4,49
	R (МПа)	14,09	16,23	18,54	20,62	22,92	25,04	27,43	29,60	31,90
78	V (км/с)	3,83	3,91	4,02	4,11	4,20	4,32	4,40	4,51	4,60
	R (МПа)	16,63	18,72	20,88	22,87	25,18	27,28	29,14	31,14	33,42



Закінчення таблиці 4.2

79	V (км/с)	3,91	4,01	4,12	4,24	4,31	4,43	4,51	4,62	4,71
	R (МПа)	18,86	21,13	23,45	25,14	27,83	29,09	32,60	34,17	37,16
80	V (км/с)	4,01	4,11	4,22	4,30	4,40	4,53	4,60	4,71	4,83
	R (МПа)	21,52	22,80	24,96	25,89	28,00	30,87	34,34	37,90	38,94
81	V (км/с)	4,13	4,21	4,29	4,41	4,50	4,60	4,72	4,84	4,90
	R (МПа)	23,71	24,93	27,61	29,09	32,23	33,55	36,17	37,46	40,27
82	V (км/с)	4,20	4,31	4,40	4,53	4,62	4,71	4,84	4,93	5,03
	R (МПа)	25,31	26,90	29,07	32,02	34,13	36,20	39,30	40,04	43,49
83	V (км/с)	4,31	4,42	4,54	4,61	4,72	4,80	4,93	5,01	5,11
	R (МПа)	27,03	28,59	32,83	34,98	36,00	37,46	40,77	41,45	44,74
84	V (км/с)	4,42	4,51	4,60	4,72	4,81	4,93	5,02	5,10	5,22
	R (МПа)	30,45	31,86	33,74	35,53	38,90	39,16	42,82	44,07	47,90
85	V (км/с)	4,50	4,62	4,71	4,82	4,92	5,00	5,12	5,22	5,31
	R (МПа)	32,21	33,45	36,08	36,59	41,30	41,86	44,88	45,34	49,07
86	V (км/с)	4,62	4,70	4,82	4,91	5,02	5,10	5,21	5,32	5,43
	R (МПа)	35,08	36,19	38,55	39,93	41,41	43,28	46,51	48,19	51,06
87	V (км/с)	4,71	4,80	4,92	5,01	5,12	5,22	5,30	5,41	5,51
	R (МПа)	35,99	36,29	41,02	42,44	45,33	45,92	50,28	50,73	55,09
88	V (км/с)	4,82	4,91	5,02	5,11	5,20	5,31	5,44	5,53	5,62
	R (МПа)	39,14	40,17	42,48	45,73	47,17	49,13	52,93	54,14	58,14
89	V (км/с)	4,82	4,92	5,03	5,12	5,22	5,31	5,44	5,52	5,60
	R (МПа)	38,63	39,98	42,39	44,90	47,08	47,35	51,17	52,25	55,45
90	V (км/с)	4,91	5,02	5,12	5,22	5,33	5,42	5,50	5,62	5,72
	R (МПа)	40,48	41,28	44,80	44,93	48,55	51,04	53,37	54,64	57,61
91	V (км/с)	4,92	5,02	5,12	5,22	5,33	5,42	5,50	5,62	5,72
	R (МПа)	40,76	42,90	45,78	46,22	48,88	49,61	54,13	54,84	56,67
92	V (км/с)	5,02	5,11	5,22	5,31	5,42	5,52	5,62	5,71	5,82
	R (МПа)	42,46	43,80	48,18	49,23	53,09	54,32	56,78	57,94	62,50
93	V (км/с)	5,02	5,10	5,21	5,33	5,41	5,52	5,62	5,70	5,83
	R (МПа)	43,70	43,93	47,07	47,63	51,63	51,96	55,89	57,13	63,05
94	V (км/с)	4,43	3,55	3,66	3,72	3,87	3,94	4,03	4,17	4,24
	R (МПа)	8,18	9,99	13,27	14,15	18,37	18,93	22,19	24,04	25,04
95	V (км/с)	3,53	3,64	3,75	3,87	3,94	4,06	4,20	4,27	4,35
	R (МПа)	10,31	12,03	14,99	17,38	19,24	21,61	25,59	25,81	28,23
96	V (км/с)	3,64	3,76	3,83	3,92	4,01	4,12	4,26	4,35	4,47
	R (МПа)	13,00	14,95	17,03	18,67	21,63	22,46	26,40	26,99	31,38
97	V (км/с)	3,72	3,83	3,91	4,03	4,13	4,25	4,32	4,43	4,51
	R (МПа)	15,09	16,23	19,54	20,62	23,92	26,04	28,43	29,60	32,90
98	V (км/с)	3,86	3,94	4,05	4,14	4,23	4,35	4,43	5,54	4,63
	R (МПа)	17,63	18,72	21,88	23,37	26,18	27,01	30,14	31,14	34,44
99	V (км/с)	3,94	4,04	4,15	4,27	4,34	4,46	4,54	4,65	4,74
	R (МПа)	19,86	20,95	24,45	25,41	28,83	29,01	33,60	34,37	38,16
100	V (км/с)	4,06	4,15	4,27	4,34	4,45	4,58	4,65	4,76	4,88
	R (МПа)	21,52	22,80	26,96	26,89	30,00	31,87	35,27	35,34	40,90



Дані для виконання завдання

$V(\text{км/с})$	x_i	4,83	4,92	5,04	5,12	5,23	5,31	5,45	5,52	5,60
$R(\text{МПа})$	y_i	39,98	38,63	41,90	44,90	47,08	48,99	52,25	51,17	55,95

Розв'язок: для визначення коефіцієнта кореляції складемо таблицю 4.4. За даними таблиці визначимо середні значення:

$$\bar{y} = \frac{\sum y_i}{n} = \frac{420,85}{9} = 46,76; \bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{47,02}{9} = 5,22.$$

Таблиця 4.4

До визначення коефіцієнта кореляції

y_i	x_i	$y_i - \bar{y}$	$x_i - \bar{x}$	$(y_i - \bar{y})^2$	$(x_i - \bar{x})^2$	y_i^2	x_i^2	$x_i \cdot y_i$	$(-\bar{x})$ $(-\bar{y})$
39,98	4,83	-6,78	0,39	45,97	0,15	1598,40	23,33	193,10	2,644
38,63	4,92	-8,13	0,30	66,10	0,09	1492,28	24,21	190,06	2,439
41,90	5,04	-4,86	0,18	23,62	0,03	1755,61	25,40	211,18	0,875
44,90	5,12	-1,86	0,10	3,45	0,01	2016,01	26,21	229,89	0,186
47,08	5,23	0,32	0,01	0,10	0,000	2216,53	27,35	246,23	0,003
48,99	5,31	2,23	0,09	4,97	0,008	2400,02	28,20	260,14	0,201
52,25	5,45	5,49	0,23	30,14	0,05	2730,06	29,70	284,76	1,263
51,17	5,52	4,41	0,30	19,45	0,09	2618,37	30,47	282,46	1,323
55,95	5,60	9,19	0,38	84,46	0,14	3130,40	31,36	313,32	3,492
Σ	Σ	-	-	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ
420,8	47,0	-	-	278,26	0,568	19957,6	246,2	2211,1	11,103
5	2	-	-	-	-	8	3	4	-



Середнє квадратичне

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n}} = \sqrt{\frac{278,26}{9}} = 5,56;$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}} = \sqrt{\frac{0,568}{9}} = 0,251.$$

Коефіцієнт кореляції визначимо за формулою:

$$r_{xy} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n\sigma_x\sigma_y} = \frac{11,103}{9 \cdot 5,56 \cdot 0,251} = 0,883.$$

Помилка коефіцієнта кореляції

$$m_r = \frac{1 - r^2}{\sqrt{n}} = \frac{1 - 0,883^2}{\sqrt{9}} = 0,073.$$

Визначаємо відношення

$$\frac{r}{m_r} = \frac{0,883}{0,073} \approx 12.$$

Оскільки $\frac{r}{m_r} = \frac{0,883}{0,073} > 4$, коефіцієнт кореляції достовірний, а

лінійний зв'язок між міцністю бетону та швидкістю ультразвуку доведений.

Кореляційну залежність швидкості ультразвуку від міцності бетону апроксимуємо рівнянням прямої лінії:

$$y = a + bx.$$

Знаходимо коефіцієнт даного рівняння:

$$b = \frac{n\sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} = \frac{9 \cdot 2211,14 - 420,85 \cdot 47,02}{9 \cdot 246,23 - 47,02^2} = 21,56;$$

$$a = \frac{\sum y_i}{n} - b \frac{\sum x_i}{n} = \frac{420,85}{9} - 21,56 \cdot \frac{47,02}{9} = -65,88.$$

Отже, отримуємо рівняння регресії:

$$y = a + bx = -65,88 + 21,56x, \text{ або}$$

$$R = -65,88 + 21,56x.$$

Дослідні дані та пряма регресії наведені на рис. 4.1.

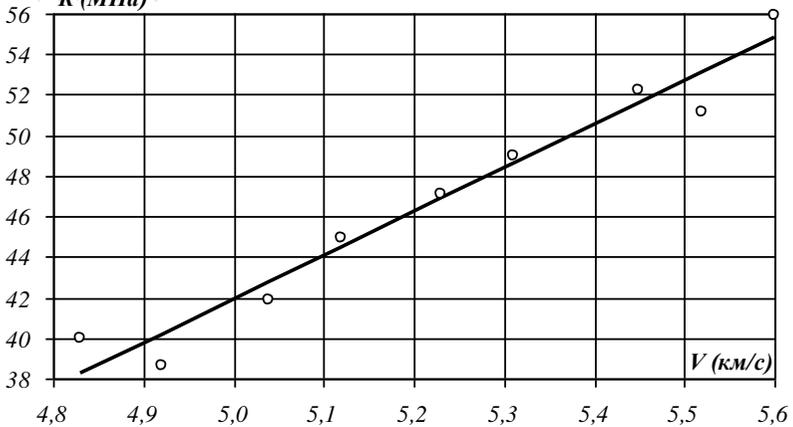


Рис. 4.1. Дослідні дані та пряма за рівнянням регресії

Перевіряємо збіжність дослідних даних (R_d) з даними, отриманими за рівнянням регресії (R_p),

$$\Delta\% = \frac{R_d - R_p}{R_d} \cdot 100\%,$$

де R_d – за табл. 4.3; R_p – за отриманою формулою регресії при $x_i = V_i$; V_i – за табл. 4.3. а результати заносимо в таблицю 4.5.

Для отримання узагальненої характеристики збіжності дослідних і розрахункових даних створюємо новий, умовний варіаційний ряд із відношень дослідних і розрахункових даних за формулою:

$$X_i = \frac{R_{di}}{R_{pi}}.$$

Отримані результати заносимо в таблицю 4.6.

$$\sum (x_i - 1)^2 = 0,00605. \sigma_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - 1)^2}{n}} = \sqrt{\frac{0,00605}{9}} = 0,026.$$

$$\text{Коефіцієнт варіації: } V = \frac{\sigma_x}{\bar{X}} \cdot 100\% = \frac{0,026}{1} \cdot 100\% = 2,6\%,$$



Таблиця 4.5

Перевірка збіжності дослідних даних та даних за рівнянням

V (км/с)	4,83	4,92	5,04	5,12	5,23	5,31	5,45	5,52	5,60
R_o (МПа)	39,98	38,63	41,90	44,90	47,08	48,99	52,25	51,17	55,95
R_p (МПа)	38,25	40,20	42,78	44,51	46,88	48,60	51,62	53,13	54,86
$\Delta\%$	4,33	-4,06	-2,10	0,87	0,42	0,80	1,21	-3,83	1,94

Таблиця 4.6

Розрахункові дані

$X_i = R_{oi} / R_{pi}$	$X_i - 1$	$(X_i - 1)^2$
1,045	0,045	0,00202
0,961	-0,039	0,00152
0,979	-0,021	0,00044
1,009	0,009	0,00008
1,004	0,004	0,00002
1,008	0,008	0,00006
1,012	0,012	0,00014
0,963	-0,037	0,00137
1,020	0,020	0,00040

де $\bar{X} = 1$, тому що середнє арифметичне є математичним очікуванням, а в даному випадку воно відоме і дорівнює одиниці:

$$V = 2,6\% < 10\%.$$

Збіжність між дослідними і розрахунковими даними задовільна, а отримане рівняння регресії добре відображає зв'язок між фізичними величинами, що досліджувалися.



Додаток

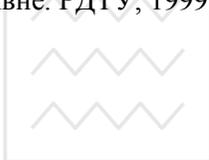
Міцність бетону за молотком Кашкарова

d_b/d_s	R , МПа								
3,00	3,5	2,60	8,0	2,20	13,0	1,8	18,3	1,4	33,0
2,99	3,6	2,59	8,12	2,19	13,1	1,79	18,55	1,39	33,8
2,98	3,7	2,58	8,24	2,18	13,2	1,78	18,8	1,38	34,6
2,97	3,8	2,57	8,36	2,17	13,3	1,77	19,05	1,37	35,4
2,96	3,9	2,56	8,48	2,16	13,4	1,76	19,3	1,36	36,2
2,95	4,0	2,55	8,6	2,15	13,5	1,75	19,55	1,35	37,0
2,94	4,1	2,54	8,72	2,14	13,6	1,74	19,8	1,34	37,8
2,93	4,2	2,53	8,84	2,13	13,7	1,73	20,05	1,33	38,6
2,92	4,3	2,52	8,96	2,12	13,8	1,72	20,3	1,32	39,4
2,91	4,4	2,51	9,08	2,11	13,9	1,71	20,55	1,31	40,2
2,90	4,5	2,50	9,2	2,10	14,0	1,70	20,8	1,30	41,0
2,89	4,65	2,49	9,35	2,09	14,12	1,69	21,12	1,29	42,0
2,88	4,8	2,48	9,5	2,08	14,24	1,68	21,44	1,28	43,0
2,87	4,95	2,47	9,65	2,07	14,36	1,67	21,76	1,27	44,0
2,86	5,1	2,46	9,8	2,06	14,48	1,66	22,08	1,26	45,0
2,85	5,25	2,45	9,95	2,05	14,6	1,65	22,4	1,25	46,0
2,84	5,4	2,44	10,1	2,04	14,72	1,64	22,72	1,24	47,0
2,83	5,55	2,43	10,25	2,03	14,84	1,63	23,04	1,23	48,0
2,82	5,7	2,42	10,4	2,02	14,96	1,62	23,36	1,22	49,0
2,81	5,85	2,41	10,55	2,01	15,08	1,61	23,68	1,21	50,0
2,80	6,0	2,40	10,7	2,00	15,2	1,60	24,0	1,20	51,0
2,79	6,1	2,39	10,8	1,99	15,36	1,59	24,35	1,19	51,9
2,78	6,2	2,38	10,9	1,98	15,52	1,58	24,7	1,18	52,8
2,77	6,3	2,37	11,03	1,97	15,68	1,57	25,05	1,17	53,7
2,76	6,4	2,36	11,14	1,96	15,84	1,56	25,1	1,16	54,6
2,75	6,5	2,35	11,25	1,95	16,0	1,55	25,75	1,15	55,5
2,74	6,6	2,34	11,36	1,94	16,16	1,54	26,1	1,14	56,4
2,73	6,7	2,33	11,47	1,93	16,32	1,53	26,45	1,13	57,3
2,72	6,8	2,32	11,58	1,92	16,48	1,52	26,8	1,12	58,2
2,71	6,9	2,31	11,69	1,91	16,64	1,51	27,15	1,11	59,1
2,70	7,0	2,30	11,8	1,90	16,8	1,50	27,5	1,1	60,0
2,69	7,1	2,29	11,92	1,89	16,95	1,49	28,05		
2,68	7,2	2,28	12,04	1,88	17,1	1,48	28,6		
2,67	7,3	2,27	12,16	1,87	17,25	1,47	29,15		
2,66	7,4	2,26	12,28	1,86	17,4	1,46	29,7		
2,65	7,5	2,25	12,4	1,85	17,55	1,45	30,25		
2,64	7,6	2,24	12,52	1,84	17,7	1,44	30,8		
2,63	7,7	2,23	12,64	1,83	17,85	1,43	31,35		
2,62	7,8	2,22	12,76	1,82	18,0	1,42	31,9		
2,61	7,9	2,21	12,88	1,81	18,15	1,41	32,45		



Література

1. Караван В. В. Метрологія і стандартизація : навчальний посібник. Рівне: НУВГП, 2011. 101 с.
2. Васильев А. С. Основы метрологии и технические измерения. М. : Машиностроение, 1988. 240 с.
3. Гончаров В. И., Соколов А. М. Метрология, стандартизация, обследование и испытание сооружений. Киев : УМК ВО, 1989. 88с.
4. Золотухин Ю.Д. Испытание строительных конструкций. Минск : Высшая школа, 1988. 208с.
5. Общая теория статистики / Под ред. Боярского А. Я. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1977.
6. Леонтьев Н. Л. Техника статистических вычислений. М. : Лесная промышленность, 1966. 252 с.
7. Лужин О. В. и др. Обследование и испытание сооружений. М. : Стройиздат, 1987. 264 с.
8. Ромашко В. В. Обстеження та випробування споруд : практикум. Рівне: РДТУ, 1999. 117 с.



Зміст

Вступ.....	3
Лабораторна робота №1.....	4
Лабораторна робота №2.....	20
Лабораторна робота №3.....	21
Лабораторна робота №4.....	28
Додаток.....	41
Література.....	42