



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет водного господарства та  
природокористування

**В.В. Караван**

# **МЕТРОЛОГІЯ І СТАНДАРТИЗАЦІЯ**



**Навчальний посібник**

*Європейська кредитно-трансферна система*

Для студентів напрямку підготовки  
6.060101 „Будівництво”

Рівне – 2011



Національний університет

**УДК 006.91: 006.1(075)**

**ББК 30.10: Ц я 7**

**К 21**

*Затверджено вченою радою Національного університету водного господарства та природокористування.  
(Протокол № 11 від 30 жовтня 2009 р.)*

**Рецензенти:**

**Макаренко Р.М.**, канд. техн. наук, доцент кафедри водогосподарського, промислового та цивільного будівництва НУВГП;

**Гомон С.С.**, канд. техн. наук, доцент кафедри інженерних конструкцій НУВГП.

**Караван В.В.**

**К21** Метрологія і стандартизація. Навчальний посібник. – Рівне: НУВГП, 2011. – 101 с.

Навчальний посібник "Метрологія і стандартизація" містить робочу програму дисципліни, стисло викладений навчальний матеріал, який поділений на змістові модулі, питання для самоперевірки та контролю засвоєних знань, методичні вказівки до виконання лабораторних робіт, методичні рекомендації до оформлення та виконання звіту з лабораторних робіт та контрольної роботи, список рекомендованої літератури.

Посібник призначений для самостійного вивчення дисципліни в умовах європейської кредитно-трансферної системи організації навчального процесу студентами вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямом підготовки 6.060101 "Будівництво".

**УДК 006.91: 006.1(075)**

**ББК 30.10: Ц я 7**

© Караван В.В., 2011

© НУВГП, 2011



## ЗМІСТ

Передмова .....	6
1. Робоча програма дисципліни .....	7
1.1. Опис навчальної дисципліни .....	7
1.2. Мета викладання дисципліни .....	8
1.3. Програма навчальної дисципліни .....	9
1.4. Структура навчальної дисципліни .....	11
1.5. Теми та зміст лабораторних робіт .....	12
1.6. Самостійна робота студентів .....	14
1.6.1. Завдання для самостійної роботи .....	14
1.6.2. Оформлення звіту про самостійну роботу .....	15
1.7. Індивідуальне навчально-дослідне завдання.....	15
1.8. Методи навчання .....	15
1.9. Методи контролю .....	16
1.10. Розподіл балів, що присвоюються студентам.....	17
1.11. Методичне забезпечення.....	18
1.12. Інформаційні ресурси .....	19
2. Короткий зміст модулів та рекомендована література до їх вивчення .....	20
2.1. Метрологічне забезпечення виробництва.....	20
2.1.1. Визначення метрології як науки. Задачі та аспекти метрології. Метрологічне забезпечення. Єдність і точність вимірювань .....	20
2.1.2. Вимірювання фізичної величини, одиниці фізичних величин. Міжнародна система одиниць SI. Правила написання позначень одиниць. Поняття еталону, еталони одиниць фізичних величин .....	22
2.1.3. Засоби та методи вимірювань. Основні метрологічні характеристики вимірювальних приладів. Метрологічна перевірка засобів вимірювальної техніки .....	26



2.1.4.	Методи та засоби вимірювань лінійних, кутових переміщень та деформацій матеріалів за допомогою механічних і електромеханічних приладів .....	31
2.1.5.	Основи тензорезисторних перетворювань та вимірювань .....	37
2.1.6.	Неруйнівні методи контролю якості виготовлення та випробувань конструкцій будівель і споруд .....	39
2.1.6.1.	Механічні методи дослідження .....	40
2.1.6.2.	Фізичні методи дослідження .....	46
2.2.	Законодавча база метрології .....	58
2.2.1.	Метрологічна служба України. Законодавчі акти, що є базою метрології .....	58
2.2.2.	Міжнародні організації з метрології .....	60
2.3.	Статистичний аналіз і оцінка похибок вимірювання .....	61
2.3.1.	Статистична обробка результатів випробувань будівельних конструкцій .....	61
2.3.2.	Похибки вимірювань та їх види .....	65
2.4.	Елементи системи якості, система розробки і постановки продукції на виробництво .....	67
2.4.1.	Фактори, що зумовлюють якість продукції, елементи системи якості .....	67
2.4.2.	Види контролю якості .....	68
2.4.3.	Система розробки і впровадження продукції на виробництво .....	69
2.5.	Правове регулювання стандартизації .....	70
2.5.1.	Організаційна система стандартизації .....	70
2.5.2.	Категорії та види стандартів .....	71
2.5.3.	Порядок розроблення стандартів, упровадження, нагляд за їх додержанням .....	73
2.6.	Економічна ефективність стандартизації .....	73
3.	Питання для самоперевірки та контролю засвоєних знань .....	74
4.	Методичні рекомендації до самостійної роботи .....	77



5.	Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт .....	78
5.1.	Лабораторна робота №1. Прилади для вимірювання лінійних переміщень і деформацій матеріалів та контролю якості будівельної продукції .....	78
5.2.	Лабораторна робота №2. Неруйнівні методи контролю якості будівельних матеріалів, виробів та конструкцій .....	79
5.3.	Лабораторна робота №3. Визначення фізико-механічних характеристик матеріалів неруйнівними та руйнівними методами .....	82
5.4.	Лабораторна робота №4. Аналіз і обробка результатів вимірювань швидкості ультразвуку в бетоні різної міцності .....	85
6.	Завдання та методичні рекомендації до виконання контрольної роботи .....	85
7.	Список літературних джерел .....	98
	Додаток 1. Міцність бетону за молотком Кашкарова .....	100



## ПЕРЕДМОВА

Навчальна дисципліна "Метрологія і стандартизація" містить сукупні знання щодо метрологічного забезпечення будівництва, включаючи методи та засоби вимірювань в інженерній практиці, а також неруйнівні методи контролю якості виготовлення та випробувань конструкцій будівель і споруд; законодавчої бази метрології; статичного аналізу і оцінки похибок вимірювань; елементів системи якості та системи розробки і постановки продукції на виробництво; екологічної ефективності та правового регулювання стандартизації тощо. Курс ґрунтується на основі знань отриманих з дисциплін: будівельне матеріалознавство, хімії, фізики, електротехніки, математики, інженерної геодезії.

Навчальна дисципліна "Метрологія і стандартизація" є нормативною, зміст якої диктується освітньо-професійною програмою бакалавра за напрямом 6.060101 „Будівництво”. Освітньо кваліфікаційна характеристика обумовлює наступний зміст умінь, яких мають набути студенти в результаті вивчення даної дисципліни: враховуючи прийняті проектні рішення, використовуючи чинні еталони, отримувати метрологічну інформацію щодо об’єкта будівництва, зовнішніх мереж і внутрішніх інженерних систем; керуючись технологічними вимогами до об’єкта будівництва та завданням на проектування, підбирати і використовувати чинні стандарти та іншу метрологічну документацію для об’єкта будівництва.

При складанні інтерактивного комплексу використаний багаторічний досвід проведення навчально-методичної та науково-дослідницької роботи кафедрою інженерних конструкцій. Даний комплекс базується на навчально-методичних матеріалах, представлених підручниками, посібниками, конспектами лекцій, методичними вказівками, підготовлених як співробітниками кафедри інженерних конструкцій, так і роботами провідних вчених України і близького зарубіжжя.



## 1. РОБОЧА ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри інженерних конструкцій, протокол № 1 від 08 вересня 2009 р. та методичною комісією за напрямком „Будівництво”, протокол №1 від 16 вересня 2009 р.

### 1.1. Опис навчальної дисципліни

Таблиця 1

#### Денна форма навчання

Курс: підготовка бакалаврів, підвищення кваліфікації, післядипломна освіта	Напрямок, спеціальність, освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Кількість кредитів, відповідних ECTS – 1,5</b>	<b>Напрямок 6.060101 „Будівництво”</b>	<b>Нормативна</b>
<b>Модулів – 1</b>	<b>Професійні спрямування:</b>	<b>Рік підготовки: 2, семестр: 4</b>
<b>Змістових модулів – 2</b>	„Промислове та цивільне будівництво” „Технологія будівельних конструкцій, виробів і матеріалів” „Міське будівництво і господарство” „Гідротехнічне будівництво” „Автомобільні дороги і аеродроми”	<b>Лекції – 14 год. Лабораторні – 10 год.</b>
<b>Загальна кількість годин – 54</b>		<b>Самостійна робота – 30 год.</b>
<b>Тижневих годин: аудиторних – 1,5, СРС – 1,5</b>	<b>Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр</b>	<b>Вид контролю: залік</b>

*Примітка: співвідношення кількості аудиторних годин та самостійної роботи становить 44% до 56%.*



### Заочна форма навчання

1	2	3
<b>Кількість кредитів, відповідних ECTS – 1,5</b>	<b>Напрямок 6.060101 „Будівництво”</b>	<b>Нормативна</b>
<b>Модулів – 1</b>	<b>Професійні спрямування:</b> „Промислове та цивільне будівництво” „Технологія будівельних конструкцій, виробів і матеріалів” „Міське будівництво і господарство” „Гідротехнічне будівництво” „Автомобільні дороги і аеродроми”	<b>Рік підготовки: 3, семестри: 5 та 6</b>
<b>Змістових модулів – 2</b>		<b>Лекції – 4 год. Лабораторні – 2 год.</b>
<b>Загальна кількість годин – 54</b>		<b>Самостійна робота – 48 год, у. т. ч. індивідуальна робота – 12 год.</b>
		<b>Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр</b>
		<b>Вид контролю: залік</b>

*Примітка: співвідношення кількості аудиторних годин та самостійної роботи становить 11% до 89%.*

## 1.2. Мета викладання дисципліни

Метою вивчення навчальної дисципліни є підготовка бакалавра-будівельника, який повинен знати та вміти: враховуючи прийняті проектні рішення, використовуючи чинні еталони, отримувати метрологічну інформацію щодо об'єкта будівництва, зовнішніх мереж і внутрішніх інженерних систем; вміти вибирати і застосовувати основні методи та засоби вимірювань в інженерній практиці та ознайомитися з методами вимірювань лінійних, кутових переміщень і деформацій за допомогою механічних, електричних та електромеханічних приладів; ознайомитися і знати методи неруйнівного контролю якості та випробувань конструкцій будівель і споруд; знати законодавчу базу метрології, а також як проводиться статистичний аналіз і оцінка похибок вимірювань; .

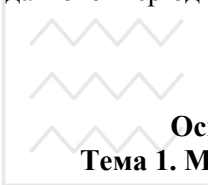




### 1.3. Програма навчальної дисципліни

Приєднання України до Болонського процесу передбачає впровадження кредитно-модульної системи організації навчального процесу, яка є українським варіантом ECTS.

Програма вивчення курсу передбачає наступні основні види занять – лекції, лабораторні роботи, самостійна робота студентів. Запорукою успішного засвоєння матеріалу студентом є аудиторна робота під керівництвом викладача, при цьому необхідно дотримуватись правила: переходити до вивчення нового матеріалу, тільки після засвоєння попереднього. Це можливо лише при зацікавленні студента в отриманні знань. Для отримання ґрунтовних знань з курсу „Метрологія і стандартизація” обов’язковою умовою є самостійна робота. Вона виконується в межах часу, визначеного навчальною програмою, з використанням додаткової періодичної літератури та консультацій викладача.



#### ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1

#### Основи стандартизації. Метрологія

#### Тема 1. Метрологічне забезпечення виробництва

Визначення метрології як науки. Задачі та аспекти метрології. Метрологічне забезпечення. Єдність і точність вимірювань. Вимірювання фізичної величини, одиниці фізичних величин. Міжнародна система одиниць СІ. Правила написання позначень одиниць. Поняття еталону, еталони одиниць фізичних величин.

Засоби та методи вимірювань, їх класифікація. Основні метрологічні характеристики вимірювальних приладів. Метрологічна перевірка засобів вимірювальної техніки.

Методи та засоби вимірювань лінійних, кутових переміщень та деформацій матеріалів за допомогою механічних і електромеханічних приладів. Переваги та недоліки приладів, їх кінематичні схеми, принцип роботи, метрологічні характеристики.

Основи тензорезисторних перетворювань та вимірювань. Конструкція тензорезисторів. Мостова вимірювальна схема.

Неруйнівні методи контролю якості виготовлення та випробувань конструкцій будівель і споруд. Переваги та недоліки,

класифікація неруйнівних методів. Механічні методи визначення міцності матеріалів, будова приладів та пристосувань і порядок роботи. Фізичні методи неруйнівного контролю якості конструкцій будівель і споруд: акустичні, радіаційні, магнітні, електричні, методи проникаючих середовищ в дефектоскопії будівельних матеріалів і конструкцій. Будова приладів і порядок роботи.

### **Тема 2. Законодавча база метрології**

Метрологічна служба України. Законодавчі акти і стандарти, що є базою метрології. Міжнародні організації з метрології.

### **Тема 3. Статистичний аналіз і оцінка похибок вимірювання**

Статистична обробка результатів випробувань будівельних конструкцій. Похибки вимірювань та їх види.

## **ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2**

### **Управління якістю продукції та ефективність стандартизації**

#### **Тема 4. Елементи системи якості, система розробки і постановки продукції на виробництво**

Фактори, що зумовлюють якість продукції, елементи системи якості. Види контролю якості. Виконання функцій забезпечення якості на етапі „Проектування та розроблення продукції”. Виконання функцій забезпечення якості на етапі „Виробництво”.

#### **Тема 5. Правове регулювання стандартизації**

Визначення стандартизації та стандарту, об’єкти стандартизації. Організація роботи зі стандартизації в Україні. Системи стандартів. Категорії та види стандартів. Порядок розроблення стандартів, упровадження, нагляд за їх додержанням.

#### **Тема 6. Економічна ефективність стандартизації**

Техніко-економічна ефективність стандартизації.



## 1.4. Структура навчальної дисципліни

Таблиця 3

Структура навчальної дисципліни „Метрологія і стандартизація”

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин									
	Денна форма навчання					Заочна форма навчання				
	Лекції	Лабораторні	Самостійна робота	Індивід. робота	Усього	Лекції	Лабораторні	Самостійна робота	Індивід. робота	Усього
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<b>Модуль 1</b>										
<b>Змістовий модуль 1 Основи стандартизації. Метрологія</b>										
<b>Тема 1.</b> Метрологічне забезпечення виробництва.	8	8	12	-	28	3	2	10	4	19
<b>Тема 2.</b> Законодавча база метрології.	1	-	2	-	3	-	-	4	-	4
<b>Тема 3.</b> Статистичний аналіз і оцінка похибок вимірювання.	2	2	6	-	10	0,5	-	6	8	14,5
<b>Разом – змістовий модуль 1</b>	<b>11</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>-</b>	<b>41</b>	<b>3,5</b>	<b>2</b>	<b>20</b>	<b>12</b>	<b>37,5</b>
<b>Змістовий модуль 2 Управління якістю продукції та ефективність стандартизації</b>										
<b>Тема 4.</b> Елементи системи якості, система розробки і постановки продукції на вир-во.	1	-	4	-	5	-	-	6	-	6



продовження табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<b>Тема 5.</b> Правове регулювання стандартизації.	1	-	4	-	5	0,5	-	6	-	6,5
<b>Тема 6.</b> Економічна ефективність стандартизації.	1	-	2	-	3	-	-	4	-	4
<b>Разом – змістовий модуль 2</b>	3	-	10	-	13	0,5	-	16	-	16,5
<b>Усього годин</b>	14	10	30	-	54	4	2	36	12	54

### 1.5. Теми та зміст лабораторних робіт

Таблиця 4

Теми та зміст лабораторних робіт дисципліни  
„Метрологія і стандартизація”

№ л. р.	Назва теми лабораторної роботи	Зміст роботи	Кі-ть годин	
			д.ф.	з.ф.
1	2	3	4	5
1	Прилади для вимірювання лінійних переміщень і деформацій матеріалів та контролю якості будівельної продукції.	Вивчити призначення, принцип дії та роботу прогиномірів, індикаторів, тензоμεтрів, тензорезисторів, а також приладів для визначення міцнісних характеристик матеріалів, величини напруження арматури, захисного шару бетону та положення і діаметра арматури. Вивчити методику обробки результатів вимірювання.	4	1



1	2	3	4	5
2	Неруйнівні методи контролю якості будівельних матеріалів, виробів та конструкцій.	Визначити експериментальним шляхом положення та діаметр арматури в залізобетонній конструкції, а також захисний шар бетону приладом ИЗС-10Н; величину попереднього напруження арматури приладом ЭИН-МГ2.	2	0,5
3	Визначення фізико-механічних характеристик матеріалів неруйнівними та руйнівними методами.	Визначити міцність бетону еталонним молотком Кашкарова. Визначити міцність бетону за результатами випробування бетонних кубових та призмових зразків на осьовий стиск. Виконати обробку та порівняння результатів вимірювань.	2	0,5
4	Аналіз і обробка результатів вимірювань швидкості ультразвуку в бетоні різної міцності.	Вивести аналітичного рівняння зв'язку між міцністю бетону і швидкістю ультразвуку за дослідними даними. Визначити статистичні характеристики збіжності результатів дослідження. Побудувати графік з дослідними даними і прямою за рівнянням регресії.	2	-
<b>Усього годин</b>			<b>10</b>	<b>2</b>



## 1.6. Самостійна робота студентів

Розподіл годин самостійної роботи студентів денної форми навчання:

- 1) підготовка до аудиторних занять – 12 годин;
- 2) підготовка до контрольних заходів – 9 годин;
- 3) підготовка питань, які не розглядаються під час аудиторних занять, оформлення звіту з лабораторних робіт – 9 годин.

### 1.6.1. Завдання для самостійної роботи

Таблиця 5

Завдання для самостійної роботи студентів з дисципліни  
„Метрологія і стандартизація”

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна форма	заочна форма
1	Метрологічне забезпечення виробництва	12	10
2	Законодавча база метрології	2	4
3	Статистичний аналіз і оцінка похибок вимірювання	6	6
4	Елементи системи якості, система розробки і постановки продукції на виробництво	4	6
5	Правове регулювання стандартизації	4	6
6	Економічна ефективність стандартизації	2	4
<b>Усього годин</b>		<b>30</b>	<b>36</b>



## 1.6.2. Оформлення звіту про самостійну роботу

Студенти денної та заочної форми навчання готують звіт за результатами проведених лабораторних робіт. Робота оформлюється на папері формату А-4 у вигляді рукописного або друкованого тексту з відповідними схемами, таблицями, рисунками і графіками.

## 1.7. Індивідуальне навчально-дослідне завдання

Студенти заочної форми навчання виконують контрольну роботу з курсу „Метрологія та стандартизація”. Дані для виконання роботи приймаються за шифром залікової книжки студента по МВ 051-115, або ж інтерактивного комплексу. Робота оформлюється на папері формату А-4 у вигляді рукописного або друкованого тексту з відповідними— схемами, таблицями, рисунками і графіками. Контрольна робота складається:

**Завдання №1.** Аналіз і обробка результатів вимірювань швидкості ультразвуку в бетоні різної міцності. Вивід аналітичного рівняння зв'язку між міцністю бетону і швидкістю ультразвуку за дослідними даними. Визначення статистичних характеристик збіжності. Побудова графіку з дослідними даними і прямою за рівнянням регресії.

**Завдання №2.** Описати принцип дії приладу чи методу визначення фізико-механічних характеристик будівельних матеріалів, виробів та конструкцій.

## 1.8. Методи навчання

При викладанні навчальної дисципліни „Метрологія та стандартизація” використовується інформаційно-ілюстративний метод навчання з застосуванням лекцій у супроводі: прозірок та плакатів; відеофільмів та CDR; слайдових презентацій; роздаткових графічних матеріалів. Під час лекційних і лабораторних занять дискусійно обговорюються проблемні питання та розв'язуються інженерні задачі. Студенти складають звіт з лабораторних робіт та виконують контрольну роботу. На лабораторних заняттях з



дисципліни широко використовуються інженерно-технічні прилади та засоби навчання (табл. 6).

Таблиця 6

№ лаборат. роботи	Прилади та зразки	Випробувальні машини, устаткування
1	2	3
1	Прогиноміри 6ПАО, Максимова. Індикатори 1МИГ, 2МИГ, ИЧ-10м. Тензометри Гугенбергера та Аістова. Тензорезистори та система СИИТ-3. Еталонний молоток Кашкарова. Прилади ИЗС-10Н, ЭИН-МГ2, ГПНВ-5.	Прес П-250, тимчасовий стенд.
2	Прилади ИЗС-10Н та ЭИН-МГ2. Бетонні куби 15х15х15 см та призми 15х15х60 см, залізобетонна балка 10х16х200 см.	Тимчасовий стенд. Металева опалубка з попередньо напруженим стержнем Ø12 А-Шв.
3	Еталонний молоток Кашкарова. Індикатори 1МИГ, 2МИГ. Бетонні куби 15х15х15 см та призми 15х15х60 см.	Прес П-250.

### 1.9. Методи контролю

Поточний контроль знань студентів з навчальної дисципліни проводиться у письмовій формі, студенти за одну академічну годину мають дати відповіді на контрольні запитання. Контроль самостійної роботи проводиться: з лекційного матеріалу – шляхом перевірки конспектів; з лабораторних занять – з допомогою перевірки виконаних завдань та шляхом усного опитування; за індивідуальною роботою – з допомогою перевірки та захисту контрольної роботи, виконаної за шифром залікової книжки.





Для діагностики знань використовується модульно-рейтингова система зі 100-бальною шкалою оцінювання. Усі форми контролю включено до шкали оцінювання.

### 1.10. Розподіл балів, що присвоюються студентам

Таблиця 7

Розподіл балів, що присвоюються студентам з дисципліни  
„Метрологія і стандартизація”

Модуль 1. Поточне тестування та самостійна робота студентів						Сума
Змістовий модуль 1			Змістовий модуль 2			
60			40			
T1	T2	T3	T4	T5	T6	
30	10	20	15	15	10	100

Таблиця 8

Шкала оцінювання в КМСОНП та ECTS

Сума балів за всі форми навчальної діяльності	Оцінка в ECTS	Для заліку
90-100	<b>A</b>	зараховано
82-89	<b>B</b>	
74-81	<b>C</b>	
64-73	<b>D</b>	
60-63	<b>E</b>	
35-59	<b>FX</b>	не зараховано з можливістю повторного складання
0-34	<b>F</b>	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни



## **1.11. Методичне забезпечення**

### **Рекомендована література**

#### **Базова**

1. Бичківський Р.В. та ін. Метрологія, стандартизація, управління якістю і сертифікація. – Львів: НУ „Львівська політехніка”, 2002. – 560 с.
2. Вахненко П.Ф. та ін. Метрологія, стандартизація, контроль якості та випробування в будівництві. – Полтава: ПДТУ ім. Ю.Кондратюка, 2000. – 224 с.
3. Лужин О.В. и др. Обследование и испытание сооружений. – М.: Стройиздат, 1987. – 126 с.
4. Ромашко В.М. Обстеження та випробування споруд: Практикум. – Рівне: РДТУ, 1999. – 117 с.

#### **Допоміжна**

1. Васильев А.С. Основы метрологии и технические измерения. – М.: Машиностроение, 1988. – 240 с.
2. Гончаров В.И., Соколов А.М. Метрология, стандартизация, обследование и испытание сооружений. – Киев: УМК ВО, 1989. – 88 с.
3. ДСТУ Б В.2.6-7-95. Конструкції будинків і споруд. Вироби бетонні та залізобетонні збірні. Методи випробувань навантаженням. Правила оцінки міцності, жорсткості та тріщиностійкості.
4. Золотухин Ю.Д. Испытание строительных конструкций. – Минск: Высшая школа, 1983. – 176 с.
5. Золотухин Ю.Д. Испытание сооружений. – Мн.: Выш. шк., 1992. – 271 с.
6. Крылов Г.Д. Основы стандартизации, сертификации, метрологии. – М.: Юнити, 1999. – 711 с.
7. Семенов В.Н. Унификация и стандартизация проектной документации для строительства. – Л.: Стройиздат, Ленинградское отделение, 1985. – 224 с.
8. Сергеев А.Г. Метрология, стандартизация, сертификация. – М.: Логос, 2001. – 386 с.
9. Тетиор А.Н., Померанец В.Н. Обследование и испытание сооружений: Учеб. пособие для вузов. – К.: Вища школа, 1988. – 206 с.



## Інструктивно-методична

1. Методичні вказівки до вивчення курсу “Метрологія, контроль якості та випробування в будівництві” для студентів всіх форм навчання спец. 29.03. – Промислове та цивільне будівництво / Ромашко В.М. – Рівне, 1992. – 22 с. /МВ 051-25/.
2. Методичні вказівки до виконання контрольної роботи з дисципліни „Метрологія і стандартизація” для студентів спеціальності ПЦБ, ТБК ВіМ, ГТБ заочної форми навчання / Гомон С.С., Рівне: УДАВГ, 1996. – 16 с. /МВ 051-115/.
3. Метрологія і стандартизація: Конспект лекцій для студентів спеціальності 7.092101, 7.092102, 7.092104 УДАВГ / О.В. Голуб.– Рівне: УДАВГ, 1996.–70 с.

### 1.12. Інформаційні ресурси

До складу інформаційних ресурсів навчальної дисципліни входять:

1. [www.nuwm.rv.ua](http://www.nuwm.rv.ua) - сайт НУВГП;
2. [www.nirs.pstu.ac.ru](http://www.nirs.pstu.ac.ru) - праці студентів з науково-дослідницької роботи;
3. [www.tspu.edu.ua](http://www.tspu.edu.ua) - кредитно-модульна система.
4. Бібліотеки: НУВГП – 33000 м. Рівне, вул. Приходька, навчальний корпус №2;
  - обласна наукова – 33000 м. Рівне, майдан Короленка, 6, тел. 221063, 221174;
  - міська бібліотека – 33000 м. Рівне, вул. Гагаріна, 67, тел. 241247;
5. Рівненський ЦНТЕІ – 33028 м. Рівне, вул. Замкова, 22, к.401, тел. 222344, 620449;
6. Рівненський будинок вчених – 33028 м. Рівне, вул. С.Петлюри, 17, тел. 222582, 265770.
7. Інтернет бібліотеки:
  - [www.alledu.eup.ru](http://www.alledu.eup.ru) - бібліотека наукової літератури;
  - [www.eref.ilid.com.ua](http://www.eref.ilid.com.ua) - каталог авторефератів та дисертацій.
8. Пошукові сайти:
  - [www.students.ru](http://www.students.ru);
  - [www.mavicanet.ru](http://www.mavicanet.ru);
  - [www.usuce.dp.ua](http://www.usuce.dp.ua).



## **2. КОРОТКИЙ ЗМІСТ МОДУЛІВ ТА РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА ДО ЇХ ВИВЧЕННЯ**

### **МОДУЛЬ 1 ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1**

#### **2.1. Метрологічне забезпечення виробництва**

##### **2.1.1. Визначення метрології як науки. Задачі та аспекти метрології. Метрологічне забезпечення. Єдність і точність вимірювань**

*[2, 8, 14, 19]*

Якість продукції в будь-якій галузі виробництва, у тому числі і в будівництві, в значній мірі залежить від кількості і якості вимірювань. За допомогою вимірювання контролюються як технологічні параметри виробничих процесів, так і параметри, характеристики і властивості виробів, деталей, будівель і споруд.

Теорією та практикою вимірювань займається метрологія – наука про вимірювання, методи та засоби забезпечення їх єдності та способи досягнення необхідної точності. Слово „метрологія” походить від грецького: metron – міра, logos – поняття.

Метрологія як наука вирішує наступні основні задачі:

- розвиває загальну теорію вимірювань;
- встановлює одиниці фізичних величин;
- розробляє методи та засоби вимірювань;
- розробляє способи визначення точності вимірювань;
- забезпечує єдність вимірювань та одноманітність засобів вимірювання;
- встановлює еталони та зразкові засоби вимірювання;
- розробляє та впроваджує в метрологічну практику норми і правила законодавчої метрології.

Метрологія, як наука, має два основних аспекти: науково-технічний та законодавчий. В науково-технічному аспекті метрологія вирішує наукові і технічні задачі, що забезпечують створення досконалих еталонів, засобів та методів вимірювань, методів оцінки точності вимірювань тощо. В законодавчому аспекті метрологія створює державні загальні правила, вимоги і норми, що забезпечують високий рівень вимірювань.



Метрологічне забезпечення – установлення та застосування метрологічних норм і правил, а також розроблення, виготовлення та застосування технічних засобів, необхідних для досягнення єдності і потрібної точності вимірювань. Метрологічне забезпечення складається із наукової, законодавчої, нормативної, технічної та організаційної основ. Науковою основою метрологічного забезпечення є наука метрологія.

Законодавчою основою метрологічного забезпечення є Закони України, Декрети і постанови Кабінету Міністрів України, які спрямовані на забезпечення єдності вимірювань.

Нормативною основою метрологічного забезпечення є державні стандарти та документи державної системи забезпечення єдності вимірювань, відповідні нормативні документи Держстандарту України, правила стандартизації і атестації засобів вимірювальної техніки, вимоги до проведення державних випробувань і перевірок.

Технічною основою метрологічного забезпечення є: система державних еталонів одиниць фізичних величин, робочих еталонів і зразкових засобів вимірювальної техніки; система стандартних зразків складу та властивостей речовин і матеріалів; система робочих засобів вимірювальної техніки.

Організаційною основою метрологічного забезпечення є метрологічна служба України, яка складається з державної та відомчих служб.

Під єдністю вимірювань прийнято вважати такий стан вимірювань, при якому їх результати виражені в узаконених одиницях і похибки вимірів відомі із заданою ймовірністю. Точністю вимірювання називають ступінь наближення результатів вимірювання до істинного значення величини, що вимірюється.

Поняття єдності і точності вимірювань є визначальним для теоретичної метрології і метрологічної практики. Ці поняття визначають характер, зміст, направленість і форми організації метрологічного забезпечення.

Практичну діяльність з оцінки точності результатів вимірювань здійснюють колективи спеціалістів, які планують і безпосередньо виконують вимірювання. Органи ж метрологічної служби створюють необхідні умови для правильних і однотипних оцінок точності вимірювальної інформації.



## 2.1.2. Вимірювання фізичної величини, одиниці фізичних

### величин. Міжнародна система одиниць SI. Правила написання позначень одиниць. Поняття еталону, еталони одиниць фізичних величин [2, 11, 19]

Вимірювання – це знаходження значень фізичної величини об'єкта за допомогою технічних засобів. Результатом вимірювання є фізична величина – якісна властивість фізичних об'єктів, яка може мати певний розмір (довжина, маса, швидкість, напруга тощо). Для кількісної оцінки властивостей матеріальних об'єктів прийняті одиниці фізичних величин.

Одиниця фізичної величини – фізична величина, що прийнята за основу для кількісної оцінки величин, однорідних з нею в якісному відношенні. Тобто це величина такого розміру, при якому її за визначенням присвоєно істинне числове значення.

Будь яке вимірювання характеризується похибкою – міра наближення результатів вимірювання до істинного значення. Відрізняють істинне та дійсне значення фізичної величини. Істинне значення фізичної величини – це таке її значення, яке ідеально відображає певну властивість об'єкта. Дійсне значення – визначається експериментальним шляхом і має наближене значення по відношенню до істинного. Значення фізичної величини, що знайдено з допустимою похибкою, приймається за дійсне.

У природі фізичні величини зв'язані між собою залежностями, які виражають одні величини через інші і називаються рівняннями зв'язку між величинами. Сукупність зв'язаних такими залежностями величин, серед яких одні вважаються незалежними, а інші виражаються через них, називають системою величин. Незалежні величини цієї системи називаються основними, а всі інші – похідними величинами. Отже основні одиниці – це одиниці вимірювання фізичних величин, які встановлюються незалежно від інших і на яких базується вся система одиниць. Похідні одиниці – це одиниці вимірювання фізичних величин, що визначаються за допомогою формул та рівнянь, і пов'язують ці величини між собою.

Спільними зусиллями вчених різних країн була розроблена найбільш універсальна та досконала на сьогодні форма метричної системи одиниць фізичних величин – Міжнародна система одиниць (System International) зі скороченим позначенням „SI”. Ця система була прийнята в 1960 р. на XI Генеральній конференції з мір та ваг.



Міжнародна система одиниць SI включає основні, додаткові та похідні одиниці фізичних величин (див. табл. 9).

Таблиця 9

Основні та додаткові одиниці системи SI

Величина	Розмірність	Позначення	Найменування	
			міжнародне	українське
Основні одиниці				
Довжина	$L$	метр	m	м
Маса	$M$	кілограм	kg	кг
Час	$T$	секунда	s	с
Сила електричного струму	$I$	ампер	A	А
Термодинамічна температура	$\theta$	кельвін	K	К
Сила світла	$J$	кандела	cd	кд
Кількість речовини	$N$	моль	mol	моль
Додаткові одиниці				
Плоский кут		радіан	rad	рад
Тілесний кут		стерадіан	sr	ср

В SI для позначення великих або малих значень фізичних величин прийняті кратні або дольні одиниці (табл. 10). Кратна одиниця – одиниця, яка в ціле число разів більша від системної або позасистемної одиниці, наприклад: кілоньютон, мегават тощо. Дольна одиниця – одиниця, яка в ціле число разів менша від системної або позасистемної одиниці, наприклад: міліметр, мікросекунда тощо. Позасистемна одиниця фізичної величина – це така одиниця, що не належить до даної системи одиниць, наприклад: одиниця потужності – кінська сила, одиниця тиску – міліметр ртутного стовпчика.

Одиниці фізичних величин, необхідні в будівельному проектуванні та при виконанні будівельно-монтажних робіт, а також найменування і позначення одиниць установлює СН 528-80 „Перечень единиц физических величин, подлежащих применению в строительстве”.



Множник	Приставка		
	Назва	Позначення	
		міжнародне	українське
$10^{18}$	екса	Е	Е
$10^{15}$	пета	Р	П
$10^{12}$	тера	Т	Т
$10^9$	гіга	Г	Г
$10^6$	мега	М	М
$10^3$	кіло	к	к
$10^2$	гекто	г	г
$10^1$	дека	да	да
$10^{-2}$	деци	д	д
$10^{-3}$	мілі	м	м
$10^{-6}$	мікро	μ	мк
$10^{-9}$	нано	н	н
$10^{-12}$	піко	р	п
$10^{-15}$	фемто	ф	ф
$10^{-18}$	атто	а	а

#### Правила написання позначень одиниць:

1. Одиниці позначаються буквами або спеціальними знаками. В позначеннях одиниць крапку як знак скорочення не ставлять. У позначеннях одиниць, назви яких походять від прізвищ, перша буква має бути велика, наприклад: Вт, Вб, Ом тощо.
2. Позначення одиниць ставлять після їх числових значень, без переносу. Між числом і позначенням залишають пробіл, але перед позначенням у вигляді знаку піднятого над строкою пробіл не залишають, наприклад  $35^0$ .
3. Якщо вказуються допустимі відхилення, то позначення одиниць розміщують після дужок, наприклад  $(10,0 \pm 0,1)$  кг, або ж проставляють позначення одиниць і після значення величин і після його допустимого відхилення, наприклад  $10,0$  кг  $\pm 0,1$  кг.
4. При визначенні інтервалу доцільно використовувати слова „від” і „до”, наприклад від 50 мм до 100 мм, або ж 50...100 мм.





5. Буквені позначення одиниць, що входять у добуток, відокремлюються крапками (знак множення), крапку можна замінити пробілом, якщо це не викликає непорозумінь.

6. У позначеннях відношень одиниць знаком ділення може служити тільки одна скісна або горизонтальна риска. Позначення зі скісною рискою записують в один рядок, а знаменник (добуток) беруть у круглі дужки. Позначення відношень можна записувати у вигляді добутку позначень одиниць, піднесених до степенів, але якщо хоча б одна із одиниць записана з від'ємним показником, то застосовувати скісну чи горизонтальну риску не дозволяється.

Еталон – засіб вимірювальної техніки, що забезпечує відтворення і (чи) зберігання одиниці вимірювань одного чи декількох значень, а також передачу розміру цієї одиниці іншим засобам вимірювальної техніки. Відповідно до поділу фізичних величин системи відрізняють еталони одиниць основних і похідних величин, а за точністю відтворення і призначенням – первинні і вторинні еталони.

Первинні еталони – еталони, що забезпечують відтворення та (або) зберігання одиниці фізичної величини з найвищою точністю в державі. Це унікальні засоби вимірювання, що представляють собою дуже складні вимірювальні комплекси, створенні за найновішими досягненнями науки і техніки. Первинні еталони є вихідними для країни (їх затверджують як державні) і є основою державної системи забезпечення єдності вимірювань. Еталони даної країни називають національними, а ті, що належать до певної групи країн – міжнародними. Для забезпечення єдності вимірювань у міжнародному масштабі державні еталони окремих країн періодично звіряють між собою і з міжнародними еталонами, що зберігаються в Міжнародному бюро мір і вагів у Парижі.

Найпростішим еталоном кілограма є гиря із платиноіридієвого сплаву циліндричної форми діаметром і висотою 39 мм, а також еталонні рівноплечі терези на 1 кг з дистанційним управлінням для передавання розміру одиниці маси вторинним еталонам. Первинний еталон одиниці довжини (метр) дорівнює довжині шляху, який проходить у вакуумі світло за  $1/299792458$  частину секунди. Первинний еталон одиниці часу (секунда) дорівнює  $9192631770$  періодам випромінювання, що відповідає переходу між двома надтонкими рівнями основного стану атома цезію-133.



Вторинний еталон одиниці вимірювання призначений для передачі одиниці вимірювання від первинного еталону до зразкових засобів вимірювання. Залежно від метрологічного призначення вторинні еталони поділяють на еталони-копії, еталони-порівняння, робочі еталони. Еталони-копії призначені для передачі розміру фізичної величини до робочих еталонів. Еталони-порівняння – це еталони, що використовуються для взаємного порівняння еталонів, які неможливо безпосередньо порівняти між собою. Робочі еталони призначені для перевірки зразкових і найбільш точних робочих засобів вимірювань.

### **2.1.3. Засоби та методи вимірювань. Основні метрологічні характеристики вимірювальних приладів. Метрологічна перевірка засобів вимірювальної техніки** *[2, 3, 4, 9, 10, 19, 22]*

Отримання необхідної інформації в галузі метрології пов'язане з вимірюванням фізичних величин за допомогою засобів вимірювальної техніки. Засіб вимірювальної техніки – технічний засіб, який застосовується під час вимірювань і має нормовані метрологічні характеристики. До засобів вимірювальної техніки належать засоби вимірювань та вимірювальні пристрої.

Засіб вимірювань – засіб вимірювальної техніки, який реалізує процедуру вимірювань. До засобів вимірювань належать кодові та реєструючі засоби вимірювань, вимірювальні прилади та системи.

Вимірювальний пристрій – засіб вимірювальної техніки, в якому виконується лише одна зі складових частин процедури вимірювань.

По функціональному призначенню засоби вимірювань поділяють на групи: міри; компаратори; вимірювальні перетворювачі; вимірювальні прилади; вимірювальні інформаційні системи. Міра – засіб вимірювань, що призначений для відтворення фізичної величини заданого розміру. У компараторах (приладах порівняння) вимірювальна величина безпосередньо порівнюється з величиною, значення якої відоме. До компараторів належать рівноплечі ваги. Вимірювальний перетворювач – засіб вимірювання, що використовується для утворення сигналу вимірювальної інформації в формі, зручній для передачі, подальшого перетворення, обробки та збереження. Вимірювальний прилад – засіб вимірювань, в якому створюється візуальний сигнал вимірювальної інформації.



**Вимірювальні інформаційні системи** – сукупність засобів вимірювання з'єднаних між собою каналами зв'язку та призначених для утворення сигналів вимірювальної інформації в формі, зручній для автоматичної обробки, передачі і використання в автоматичних системах керування (АСУ).

Залежно від метрологічного призначення засоби вимірювальної техніки поділяють на робочі, зразкові та еталони. Зразковий засіб вимірювання – пристрій, призначений для передачі розмірів одиниць фізичних величин від еталонів до робочих засобів вимірювальної техніки. До зразкових засобів вимірювальної техніки належать також зразкові речовини та стандартні зразки. Робочий засіб вимірювання призначений для практичних вимірювань.

Зразкова речовина – зразкова міра у вигляді речовини з відомими властивостями, які відтворюються при додержанні умов приготування. Наприклад: чиста вода, чисті гази (водень, кисень), чисті метали (цинк, срібло, золото), сплави. Стандартний зразок – міра для відтворення одиниць величин, що характеризують властивості або склад речовин та матеріалів. Стандартний зразок являє собою засіб вимірювання у вигляді речовини (матеріалу), склад або властивості якого достовірно визначені при атестації.

Не менш важливим за вибір засобів вимірювання у метрологічній практиці є вибір методу вимірювання. Розрізняють два основних методи вимірювань: метод безпосередньої оцінки та метод порівняння з мірою. Метод безпосередньої оцінки – це метод вимірювань, при якому значення фізичної величини знаходять безпосередньо по відліковому пристрою приладу. При використанні методу порівняння з мірою вимірювальну величину порівнюють з величиною міри.

Методи вимірювання можна реалізувати різними способами. По способу отримання результатів розрізняють: прямі, непрямі та сукупні вимірювання. Прямі вимірювання – це вимірювання, що проводяться над самою вимірювальною величиною, при цьому відразу отримуємо значення величини, що вимірюється. Наприклад: вимірювання довжини лінійкою, сили – динамометром, маси – вагами тощо.

Непрямі вимірювання – це вимірювання, що проводяться шляхом прямих вимірювань величин, пов'язаних певною залежністю з шуканою величиною, при цьому результати



вимірювань отримуються розрахунковим способом. Наприклад, при використанні динамометра з індикатором ИЧ-10М визначається навантаження.

Сукупні вимірювання – вимірювання, що проводяться одночасно для двох або більше неоднорідних величин, для знаходження залежності між ними. Наприклад, вимірювання пов'язані з отриманням залежності напруження – деформації матеріалу тощо.

Згадаємо, що вимірювальний прилад – це показуючий засіб вимірювань, що призначається для отримання візуального сигналу вимірювальної інформації у формі, доступній для безпосереднього сприйняття спостерігачем, тобто у формі значення вимірювальної фізичної величини. Вимірювальні прилади складаються: з чутливого елемента, вимірювального механізму та відрахункового пристрою. Відрахунковий пристрій має циферблат з шкалу і вказівник (стрілка, світловий промінь тощо). Вимірювальні прилади залежно від типу відрахункового пристрою діляться на показуючі та реєструючі. Показуючі прилади можуть бути аналоговими і цифровими. Реєструючі прилади відображають інформацію у формі діаграми (кардіограф) або друкують в цифровій формі (ЕОМ з пристроєм для друку показів).

Вимірювальний прилад, у якому візуальний сигнал подається за допомогою шкали і вказівника, називається аналоговим. У цифрових приладах візуальний сигнал автоматично відображається у вигляді цифр чи символів на цифровому табло.

За призначенням прилади поділяють на універсальні та спеціалізовані. Універсальні прилади – призначені для вимірювання однакових фізичних величин різних об'єктів. Спеціалізовані – вимірюють параметри однотипних виробів або одного параметру різних виробів. За принципом дії прилади поділяють: механічні, оптичні, оптико-механічні, електричні, рентгенівські, лазерні, пневматичні тощо.

Достовірність вимірів залежить від вибраних параметрів засобів вимірювань, від того, в якій мірі метрологічні характеристики засобів вимірювань відповідають вимогам самих вимірювань.

Означимо основні метрологічні характеристики вимірювальних приладів. Ціна поділки аналогового вимірювального приладу – різниця значень вимірюваної величини, що відповідає двом сусіднім позначкам шкали.



Діапазон показів засобу вимірювань – це інтервал значень вимірюваної величини, який обмежений кінцевим і початковим значенням.

Діапазон вимірювання – інтервал значень вимірюваної величини, в межах якого пронормовані похибки засобу вимірювання. Найбільше або найменше значення діапазону вимірювань називається границею вимірювань.

Довжина поділки шкали – відстань між осями двох сусідніх відміток шкали.

Точність засобу вимірювань – це характеристика якості вимірювань, яка показує, наскільки близька до нуля його похибка. Вважається, чим менша похибка вимірювання, тим більша його точність.

Клас точності – це узагальнена характеристика точності засобу вимірювання, що визначається межами допустимих похибок (абсолютної або відносної). Клас точності використовують для порівняння якості засобів вимірювання.

Чутливість засобу вимірювання – відношення зміни сигналу, що фіксується засобом вимірювання, до фактичної зміни сигналу. Поріг чутливості – це значення вимірюваної величини, яке відповідає сигналу на вході, що викликає найменший вихідний сигнал, який можна виявити засобом вимірювання.

При виборі засобів вимірювань враховують їх метрологічні параметри, експлуатаційні та економічні фактори. Необхідним є врахування наступних факторів: класу точності, діапазону вимірювань, умов використання приладу (температура, вологість, напруга в мережі тощо). При проведенні натурних випробувань і обстеженні будівель та споруд перевага надається приладам які: можуть бути швидко встановлені на об'єкті; мають автономне електричне живлення; мають достатньо широкий вимірювальний діапазон. При випробуванні на моделях перевага надається приладам які мають: високу чутливість; мінімальну масу і розміри; високу швидкість реєстрації показів.

Метрологічна перевірка засобів вимірювань – це встановлення їх придатності до використання на основі експериментально визначених метрологічних характеристик і контроль їх відповідності встановленим нормам. Головною метрологічною характеристикою, що визначається при перевірці, є його похибка.



Як правило, вона знаходиться шляхом порівняння засобу вимірювань із зразковим засобом або еталоном. Часто при перевірці виконують градування засобу – процес, що полягає в нанесенні позначок на шкалу, які відповідають показанням зразкового засобу вимірювань, або уточненні позначок на шкалі робочого засобу вимірювань за показами зразкового.

Перевірки можуть бути: державні і відомчі; первинні, періодичні та позачергові; інспекційні та експертні.

Державні перевірки виконуються органами державної метрологічної служби, які одержали дозвіл у Держстандарті України на право їх виконання. Відомчі перевірки виконують метрологічні служби підприємств і організацій, об'єднань підприємств міністерств тощо.

Первинній перевірці підлягають засоби вимірювань, що випускаються з виробництва або ремонту, а також при ввезенні з-за кордону. Періодичній перевірці підлягають засоби вимірювань, які знаходяться в експлуатації або призначені для продажу та прокату. Позачергова перевірка проводиться в процесі експлуатації засобів вимірювань до закінчення міжперевірочного інтервалу у таких випадках: за потреби пересвідчитись у придатності засобу до застосування; при пошкодженні відбитку перевірочного тавра або втраті свідоцтва, що засвідчує проходження засобом первинної або періодичної перевірки; у випадку продажу засобу споживачу.

Інспекційна перевірка проводиться з метою контролю придатності засобів вимірювань до застосування при здійсненні державного метрологічного нагляду. Експертна перевірка проводиться у випадку виникнення спірних питань щодо метрологічних характеристик та придатності засобів вимірювання до застосування.

Виконують перевірки метрологічні служби, які мають на це право, згідно з вимогами державних стандартів. Основні вимоги до організації і порядку проведення перевірки засобів вимірювань установлює ДСТУ 2708-94 „Метрологія. Перевірка засобів вимірювань. Організація і порядок проведення”. Результати перевірки засобів вимірювань, визнаних придатними до використання, оформляються видачею свідоцтва про перевірку та нанесенням перевірочного тавра.



## 2.1.4. Методи та засоби вимірювань лінійних, кутових переміщень та деформацій матеріалів за допомогою механічних і електромеханічних приладів

[5, 16, 18, 19, 20, 21, 23]

Прилади, які використовуються в інженерній практиці для вимірювань лінійних переміщень і деформацій матеріалів та конструкцій поділяють на три великі групи: механічні, оптичні, електричні. Механічні та оптичні прилади виконують вимірювання відносно переміщення фіксованих точок на поверхні конструкції або переміщення точок відносно нерухомої основи. В приладах механічного типу переміщення за допомогою системи важелів або шестерень перетворюється у відхилення стрілки на шкалі приладу. Це такі прилади, як прогиноміри, індикатори, клиноміри, тензометри тощо. Оптичні методи примінюються в основному при проведенні натурних випробувань, вимірюючи переміщення конструкцій або будівель і споруд в цілому. До оптичних приладів відносять мікроскопи, теодоліти, нівеліри, стереофотокомпаратори.

Прогиномір це прилад, який дозволяє вимірювати переміщення окремих точок конструкцій. У випадку, коли потрібна невелика точність вимірювань прогиномір можна виготовити на місці за допомогою двох дерев'яних рейок (лінійок), одну з яких закріплюють на нерухомій основі (рис. 1).

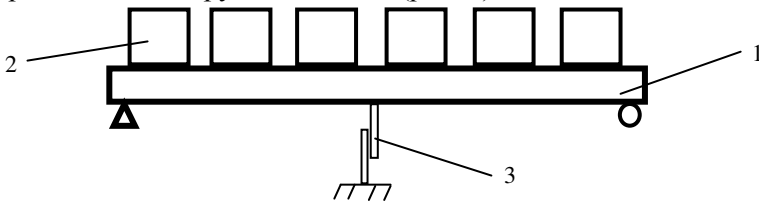


Рис. 1. Вимірювання прогину конструкцій за допомогою двох рейок:  
1 – дослідна конструкція, 2 – вантажі, 3 – рейки-лінійки

Дещо більшу точність можна забезпечити за допомогою прогиноміра важільної конструкції (рис. 2). Точність вимірювань цим прогиноміром залежить від співвідношення плеча „а” і „в”. Можливим є досягнення точності в 0,1...0,2 мм.

При випробуванні інженерних конструкцій та при проведенні наукових досліджень найбільше поширення отримали прогиноміри Максимова та Аістова-Овчиннікова (6ПАО). Прогиноміри складаються: корпус, барабан, система шестерень, циферблат зі

стрілкою (рис. 3). Корпус прикріплюється на нерухомій основі. Поворот барабана викликає переміщення дротини діаметром 0,2...0,4 мм, що його огинає і один кінець якої кріпиться до дослідної конструкції, а інший до вантажу (0,6...1 кг). Ціна поділки прогиномірів – 0,01 мм. Позитивна якість прогиномірів – відсутність обмежень на поворот стрілок, що дозволяє вимірювати дуже великі переміщення, а також їх використання запобігає пошкодженню самих приладів при руйнуванні об'єкта, що досліджується (прилади дистанційної дії).

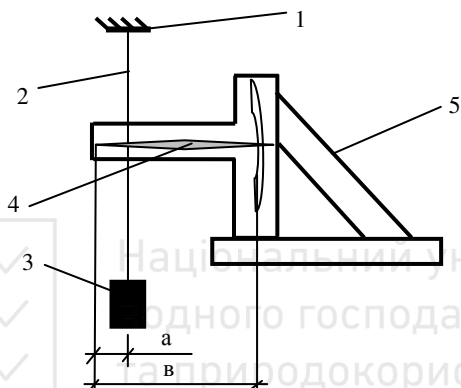


Рис. 2. Прогиномір важільної конструкції: 1 – поверхня конструкції, 2 – дріт, 3 – вага, 4 – стрілка, 5 – кронштейн

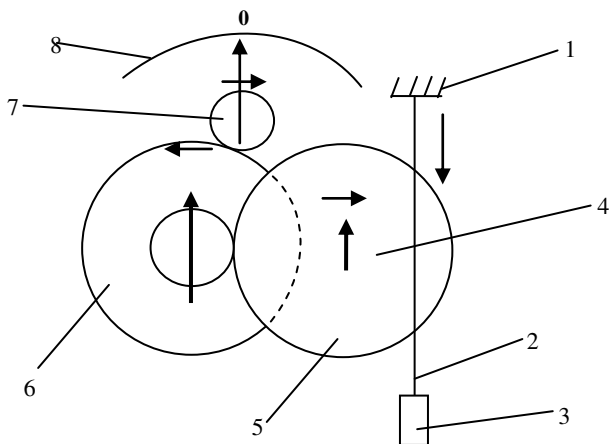


Рис. 3. Кінематична схема прогиномірів Максимова та БПАО:

1 – поверхня конструкції, 2 – дріт, 3 – вантаж, 4 – барабан, 5, 6, 7 – шестерні; 8 – шкала





Прогин конструкції визначають за виразом:  $f_i = \delta(N_i - N_0)$ , де

$\delta$  – ціна поділки приладу;  $N_i$  – відлік на ступені навантаження;  $N_0$  – початковий відлік за шкалою приладу при навантаженні  $F = 0$  кН.

Для вимірювання невеликих лінійних переміщень від 0,01 до 10 мм застосовують індикатори годинникового типу ИЧ-10М, а для вимірювання деформацій в матеріалах, відповідно від 0,001 і 0,002 до 1 мм і 2 мм – 1МИГ, 2МИГ. Індикатори є приладами контактної дії, в яких за допомогою штифта відбувається контакт з елементом конструкції, переміщення штифта з зубчатою рейкою на ньому викликає поворот шестерень і стрілок в корпусі (рис. 4). Ціна поділки ИЧ-10М – 0,01 мм, 1МИГ, 2МИГ – 0,001 і 0,002 мм. Переваги індикаторів – висока точність вимірювань, невеликі розміри та вага; недоліки – малий діапазон вимірювань, перед руйнуванням необхідно демонтувати, щоб запобігти пошкодженню приладів. Обробку результатів вимірювань по індикатору ИЧ-10М здійснюють за формулою:  $f_i = \delta(N_i - N_0)$ , де  $\delta$  – ціна поділки приладу;  $N_i$  – відлік на ступені навантаження;  $N_0$  – початковий відлік. Для 1МИГ і 2МИГ відносна деформація визначається за виразом:  $\varepsilon_i = \delta(N_i - N_0)/l$ , де  $l$  – база приладу, мм.

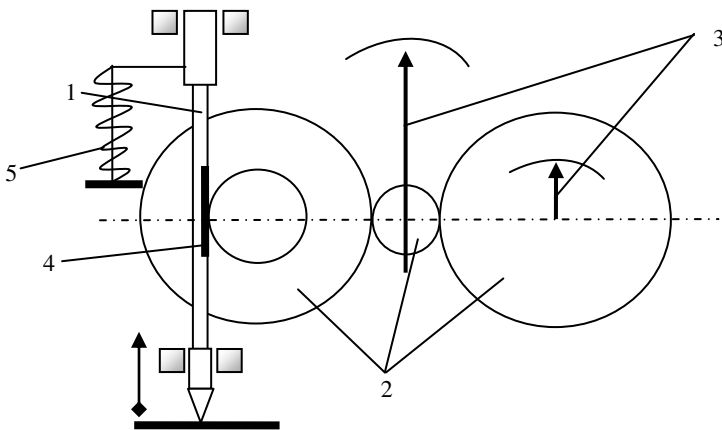


Рис. 4. Кінематична схема індикаторів: 1 – штифт, 2 – шестерні,



Найбільше поширення в інженерній практиці вимірювань при дослідженні деформацій отримали струнні, механічні, електромеханічні тензометри. Струнні тензометри – прилади дистанційної дії, що застосовуються в основному при тривалих випробуваннях. Їх робота заснована на залежності частоти власних коливань натягнутої струни від напруження в ній (рис. 5). Важливим їх достоїнством є велика точність і легкість передачі інформації на великі відстані. Величина відносної деформації матеріалу визначається за формулою:

$$\varepsilon = \Delta\sigma/E = 4l^2\rho(f_2^2 - f_1^2)/E,$$

де  $l$  – довжина струни;  $\rho$  – густина матеріалу струни;  $E$  – модуль пружності матеріалу струни;  $f_1$ ,  $f_2$  – частота власних коливань струни до і після прикладання навантаження.

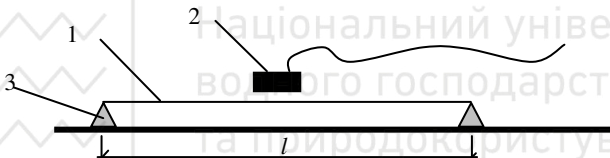


Рис. 5. Схема струнного тензометра: 1 – натягнута струна, 2 – електромагнітний датчик, 3 – пружні опори

В кінематичній схемі механічного тензометра Гугенбергера застосована подвійна важільна система, що утворена рухомим важелем та стрілкою з коромислом, яка дає збільшення в 1000 разів (рис. 6). Ціна поділки приладу 0,001 мм, границя вимірювань 50 мкм. Рухома та нерухома опори спираються на дослідну поверхню конструкції. Переваги тензометра Гугенбергера – висока точність вимірювань, малий розмір та вага; недоліки – легко пошкоджуються, має невеликий діапазон вимірювань. Відносна деформація однорідних матеріалів визначається за виразом:  $\varepsilon_i = \Delta l/l = \delta(N_i - N_0)/l$ , де  $l = 20$  мм – база приладу.

Електромеханічний тензометр Аістова застосовується для вимірювання деформацій однорідних та неоднорідних матеріалів. Ціна поділки тензометра 0,001 мм, границя вимірювань 800...1000 мікрон. Тензометр до конструкції кріплять струбциною.

Лімб обертається до зіткнення вістря мікрометричного гвинта з верхньою частиною рухомого важеля (рис. 7). При зіткненні електричний ланцюг замикається і включається звуковий сигнал, по шкалі лімба знімають початковий відлік та відводять гвинт від важеля. Відносну деформацію матеріалу визначають за формулою:  $\varepsilon_i = \delta(N_i - N_0)/l$ , де  $l = 20...50$  мм – база приладу.

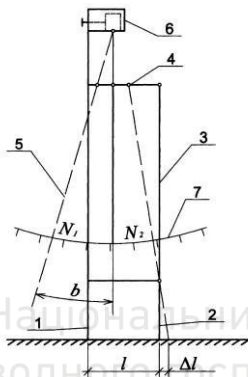


Рис. 6. Кінематична схема тензометра Гугенбергера: 1 – нерухома опора, 2 – рухома опора, 3 – важіль, 4 – коромисло, 5 – стрілка; 6 – гвинт; 7 – шкала

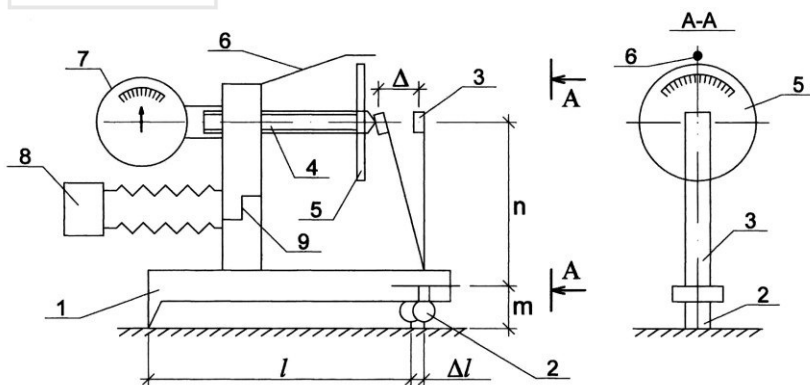


Рис. 7. Кінематична схема тензометра Аістова: 1 – нерухома призма, 2 – рухома призма, 3 – важіль, 4 – мікрометричний гвинт, 5 – лімб; 6 – покажчик; 7 – лічильник обертів; звуковий сигналізатор; 9 – ізолятор



Визначення кутових переміщень виконується клиноміром, що належить до приладів механічного типу. Основним елементом клиноміра Стопані є чутливий рівень, з'єднаний з корпусом пластинчатою пружиною (рис. 8). Прилад до конструкції кріпиться за допомогою струбцини. Мікрометричним гвинтом бульбашка рівня виводиться на середину і по лімбу знімається початковий відлік. Після повороту конструкції бульбашка повертається в попереднє положення за допомогою мікрометричного гвинта і знову знімається відлік. Тангенс кута повороту визначається за формулою:  $tg\alpha = 0,00003(n_1 - n_2)$ , де  $n_1$  та  $n_2$  – відліки за приладом до і після навантаження конструкції.

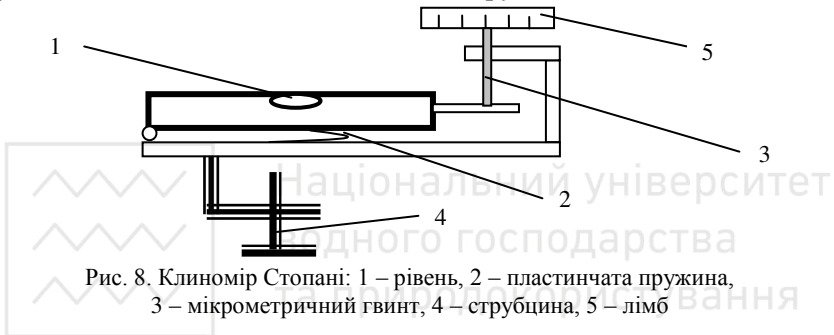


Рис. 8. Клиномір Стопані: 1 – рівень, 2 – пластинчата пружина, 3 – мікрометричний гвинт, 4 – струбцина, 5 – лімб

В інженерній практиці часто використовується важільний клиномір, що складається з важеля та двох прогиномірів (рис. 9). Кут повороту в перерізі А визначається за формулою:  $tg\alpha = (\Delta_2 - \Delta_1)/l$ , де в чисельнику – приріст відліків по приладах після прикладання навантаження;  $l$  – база вимірювань.

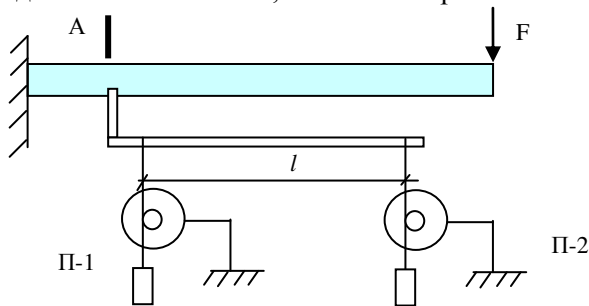


Рис. 9. Клиномір важільної конструкції



Для вимірювання великих кутових переміщень використовують геодезичні прилади. Вимірювання горизонтальних переміщень здійснюється за допомогою теодоліта, а для визначення відхилення по вертикалі примінюють метод бокового нівелювання.

### **2.1.5. Основи тензорезисторних перетворювань та вимірювань** *[18, 19, 20, 21]*

Принцип дії тензорезисторів ґрунтується на властивості провідникових та напівпровідникових матеріалів змінювати свій електричний опір при деформуванні – відбувається перетворення механічної величини, що вимірюється в електричний сигнал. Ця властивість називається тензоефектом. Тензорезистори працюють з приладами СИИТ-3, АИД-1(4)М, ЦТК-1(5) тощо, або ж їх сучасним аналогами. Електротензодатчики мають наступні переваги перед механічними приладами: малий розмір та вага; дистанційна дія; автоматизація процесу зняття відліків, що дає можливість швидко контролювати напружений стан конструкції на кожному етапі випробування. Але вони мають і ряд недоліків: не працюють при проходженні через них тріщини, можливе лише їх одноразове використання, на покази впливають температура і вологість навколишнього середовища. Тензорезистори бувають: дротяні, фольгові, напівпровідникові з базою вимірювань 2...100 мм (рис. 10).

Чутливий елемент (1) провідникового тензорезистора виготовляють із дроту діаметром 10...25 мкм або тонкої фольги завтовшки 2...5 мкм (рис. 10, а). Чутливі елементи можуть бути у вигляді лінійного провідника і плоскої спіралі. Вони мають вивідні кінці (2) та закріплені до паперової або плівчастої основи (3), яка приклеюється до поверхні дослідного об'єкта. Шар зв'язуючого (клей) і основа виконують функції первинного механічного перетворювача, який сприймає деформацію об'єкта і передає її чутливому елементові тензорезистора. Чутливість такого перетворювача залежить від модуля зсуву і товщини шару матеріалу зв'язуючого та основи, а також від форми та жорсткості чутливого елемента. Петлеві дротяні тензорезистори (див. рис. 10, б) випускають із номінальним опором 60...400 Ом і базою вимірювань  $l_r = 5...100$  мм. Їх головним недоліком є поперечна чутливість – зміна вихідного сигналу, викликана



деформацією петель у напрямку, перпендикулярному головній осі тензорезистора. Фольгові тензорезистори (див. рис. 10, в) виготовляють із тонкої фольги. Попередньо нанесена на фольгу клеєва плівка і є його основою. Прямокутний переріз фольгових чутливих елементів, розвинутих у площині приклейки, забезпечує ефективний відвід тепла, що дозволяє в 3 – 4 рази підвищити, порівняно з дротяними, щільність струму живлення й отримати більший вихідний сигнал. Фольгові датчики мають ряд переваг: низьку поперечну чутливість за рахунок збільшення площі петель; високу технологічність виготовлення і можливість отримання чутливих елементів із дуже малою базою (до 0,3 мм) будь-якої форми. Напівпровідникові тензорезистори виготовляють з базою 2...15 мм із монокристалів кремнію або германію (див. рис. 10, г). Вони можуть використовуватися без основи. Їх перевага – висока чутливість, що приблизно в 60 разів перевищує чутливість дротяних датчиків.

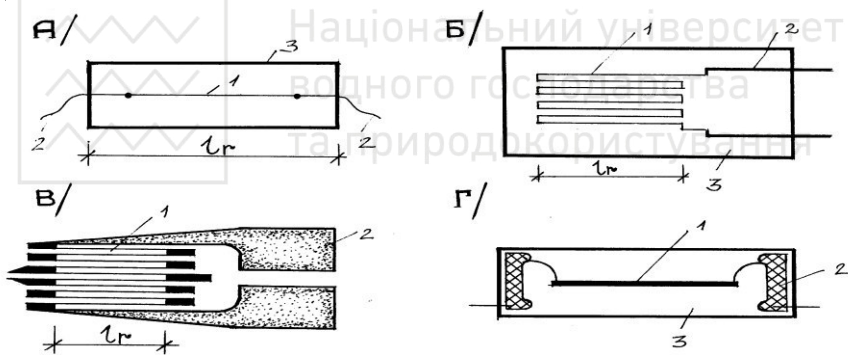


Рис. 10. Схема тензорезисторів: а, б – дротові з безпетльовою та петльовою решіткою; в – фольговий; г – напівпровідниковий; 1 – чутливий елемент, 2 – вивідні кінці, 3 – основа

Для реєстрації електричного опору тензорезистора при його живленні змінним або постійним струмом застосовують мостову вимірвальну схему (рис. 11), яка також дозволяє компенсувати вплив температурного фактора. Міст складається із чотирьох плеч (опорів). В діагональ BD моста включений реєструючий прилад, а в іншу AC – джерело живлення. Тензорезистор, наклеєний на елемент  $R_a$  (робочий), включається в одне з плечей моста. В друге плече



включається компенсаційний тензорезистор  $R_k$ ; він наклеєний на той же матеріал, що й активний, але не зазнає деформації. Опори  $R_1$  і  $R_2$  в двох інших плечах моста змінюють із таким розрахунком, щоб забезпечувалася рівність в плечах – міст буде збалансований, тобто  $R_a R_2 = R_k R_1$ . При зміні опору робочого тензорезистора, викликаного його деформацією, у вимірювальній діагоналі виникає напруження – струм, що реєструється вимірювальним приладом.

Тензорезистори перед використанням необхідно проградувати. В якості еталонного пружного елемента використовується балка рівного опору та постійного перерізу, навантажена в межах робочого відрізка постійним згинальним моментом. При цьому деформацію робочої зони мають за дійсну величину. В результаті градування визначається тарувальний коефіцієнт.

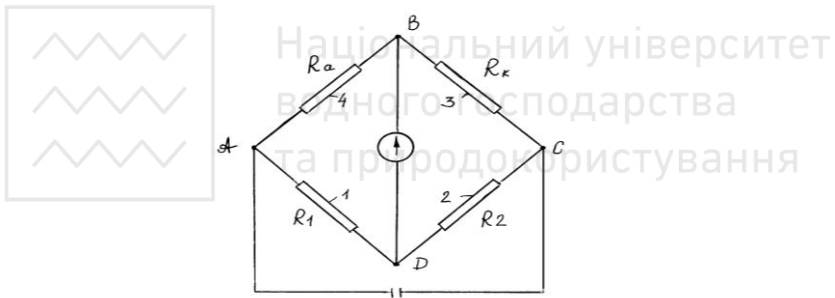


Рис. 11. Схема тензометричного вимірювального мосту

Основною характеристикою тензорезисторів є коефіцієнт тензочутливості:

$$S = \frac{\Delta R/R}{\Delta l/l} = \frac{\Delta R/R}{\varepsilon} = \frac{E(\Delta R/R)}{\sigma},$$

де  $R$  – номінальний опір датчика;  $\Delta R$  – величина зміни опору датчика при його деформуванні  $\Delta l$ ;  $\Delta l/l$  – відносна деформація.

### 2.1.6. Неруйнівні методи контролю якості виготовлення та випробувань конструкцій будівель і споруд [5, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23]



Без контролю якості будівельних матеріалів, виробів та конструкцій сучасна будівельна галузь обійтись не може. Контроль проводиться як на заводах будіндустрії, так і на будівельному майданчику й об'єкті, що експлуатується. Контроль якості здійснюється двома основними методами:

- Руйнівний – виявлення граничної несучої здатності об'єктів доведенням їх до руйнування. Цей метод ефективний при випробуванні стандартних зразків зі сталі, бетону, дерева, при випробуванні моделей будівель та конструкцій.
- Неруйнівний – виявлення дійсного стану об'єкта зі збереженням його експлуатаційної придатності й без порушення несучої здатності. Цим методом можна встановити фізико-механічні властивості матеріалу та виявити дефекти в ньому.

Переваги руйнівного методу – отримуємо дійсні характеристики матеріалу. Недоліки – економічно дорогий, неможливість його використання в будівлях і спорудах, що експлуатуються.

Переваги неруйнівного методу – матеріал не руйнується і несуча здатність конструкції не знижується; відносно простий у виконанні; можливість використання в будь яких умовах та об'єктах. Недоліки – отримуємо опосередковані властивості та характеристики об'єкта.

### **НЕРУЙНІВНІ МЕТОДИ ВИПРОБУВАНЬ:**

МЕХАНІЧНІ:	ФІЗИЧНІ:	КОМПЛЕКСНІ:
1) пластичних деформацій;	1) акустичні методи;	1) сполучення механічних методів;
2) метод пружного відскоку;	2) радіаційні методи;	2) сполучення фізичних методів;
3) метод місцевих руйнувань	3) магнітні та електричні методи;	3) сполучення механічних та фізичних методів
	4) методи проникаючих середовищ;	
	5) методи інфрачервоної дефектоскопії	

#### **2.1.6.1. Механічні методи дослідження**





Метод місцевих руйнувань заснований на залежності між міцністю бетону і деякими його іншими властивостями, що отримані в результаті висмикування встановлених в тілі бетону анкерних засобів (рис. 12), відриву приклеєного сталевго диску (рис. 13) або сколювання ребра конструкції (рис. 14).

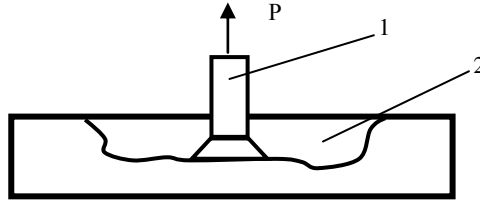


Рис. 12. Висмикування анкерних пристроїв:

1 – стержень з анкерною головкою, 2 – бетон, що виривається

Анкерні пристрої влаштовуються до або після бетонування конструкції. Глибина закладання анкеру – 30...50 мм. Виривне зусилля утворюється гідравлічним прес-насосом Вольфа (ГПНВ-5). Міцність бетону на стиск визначається по формулі:  $R = \alpha m P$ , де  $\alpha$  – коефіцієнт пропорційності, що визначається за ГОСТ в залежності від виду заповнювачів бетону, умов твердіння і типу анкерних пристроїв;  $m$  – коефіцієнт, що враховує максимальний розмір великого заповнювача;  $P$  – зусилля висмикування анкерного пристрою.

Метод виривання анкерів трудомісткий, але має достатньо високу точність визначення міцності бетону.

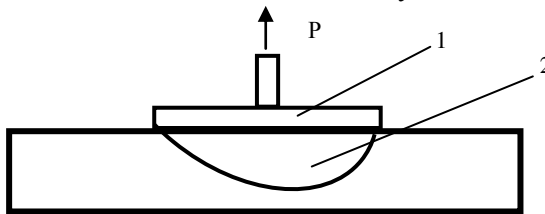


Рис. 13. Відрив приклеєного сталевго диску:

1 – сталевий диск, 2 – бетон, що виривається

Сталевий диск діаметром 60...80 мм приклеюється до поверхні бетону епоксидним клеєм. Прилад ГПНВ-5 з'єднують з диском так, щоб напрямок дії зусилля був перпендикулярний до поверхні бетону. Міцність бетону визначається за градуйованою залежністю:



$R = \frac{P}{A}$ , де  $P$  – зусилля, при якому відбувся відрив диска;  $A$  –

площа проєкції поверхні відриву на площину диску, але не менше 80% площини диску.

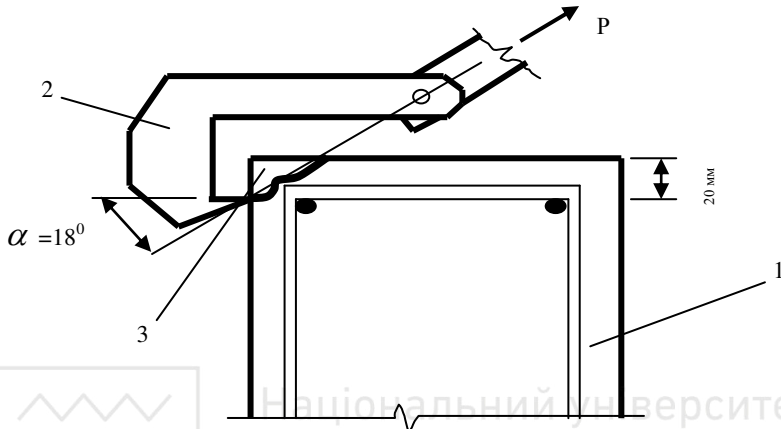


Рис. 14. Сколювання ребра конструкції: 1 – конструкція, що випробовується; 2 – пристрій для захвату ребра конструкцій; 3 – бетон, що сколюється

Метод сколювання ребра конструкцій заснований на місцевому руйнуванні бетону від зусилля сколювання ділянки ребра конструкції. Зусилля створюється приладом ГПНВ-5 і спеціальним пристроєм для захвату, що забезпечує прикладання навантаження під заданим кутом на задану величину. На кожній ділянці виконують не менше двох випробувань і визначають середнє зусилля сколювання. Міцність бетону визначається за градуированим графіком. Перевага методу в тому, що не потрібно ніяких попередньо закріплених анкерних пристроїв, але необхідно мати відкритий доступ до ребра конструкції.

Метод пластичних деформацій заснований на залежності між межею міцності матеріалу та розміром відтиску на поверхні елементу, що утворюється при втисканні робочого органу статичним або динамічним впливом. В залежності від характеру втискання розрізняють прилади статичної та динамічної дії. Переваги цього методу визначення фізико-механічних властивостей полягають у його простоті, технологічності та достатньо високій



достовірності результатів, а недоліки його у тому, що досліджуються поверхневі шари матеріалу.

До приладів статичної дії відносять „штамп НИИЖБ” (рис. 15).

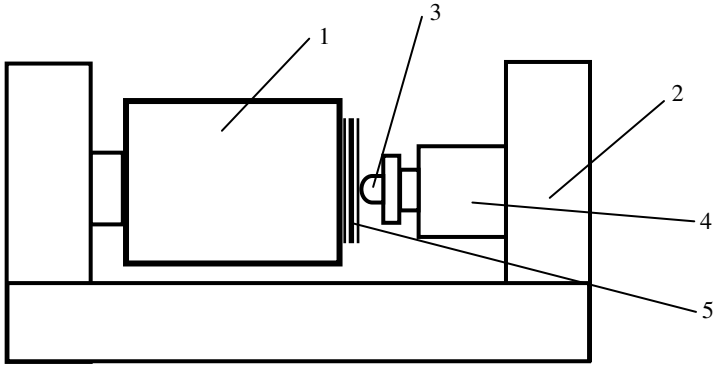


Рис. 15. Штамп НИИЖБ: 1 – конструкція, що досліджується; 2 – металева скоба; 3 – штамп; 4 – гідродомкрат; 5 – білий та копійчальний папір

Тиск на штамп створюється гідродомкратом і визначається по шкалі манометра. На папері залишається відтиск штампа при його вдавлюванні в тіло бетону. В розрахунок приймається середній діаметр двох взаємо перпендикулярних відтисків, що вимірюються з похибкою не більше 0,5 мм. Сила втиску нормується. Міцність бетону визначається по градуйованій кривій в залежності від отриманого відтиску.

Міцність металу визначається твердоміром Брінеля шляхом втиснення сталеві кульки в тіло металу. Вимірюється сила з якою втискається кулька в метал, а також діаметр відбитку, далі по емпіричній формулі та кореляційній залежності визначається тимчасовий опір сталі. Метод Роквелла полягає у вдавлюванні алмазного конуса із кутом біля вершини  $120^\circ$  в тіло металу, з подальшим визначенням його тимчасового опору. При використанні методу Віккерса в тіло металу втискається алмазна піраміда.

До приладів динамічної дії відносять молоток Фізделя та еталонний молоток Кашкарова. Міцність бетону при цьому визначають ударним випробуванням (метод відбитка). При застосуванні цих методів дотримуються таких правил:



- випробування проводять в найбільш напружених місцях, а також на ділянках із дефектами або зниженою міцністю бетону;
- бетонна поверхня має бути сухою, чистою, без затверділого цементного молока. У протилежному випадку верхній шар бетону товщиною 5...10 мм знімають шліфуванням або бурінням;
- кожна випробувальна ділянка повинна мати площу не менше ніж 400 см<sup>2</sup> сухої поверхні і включати не менше ніж 10...12 точок вимірювання. Для достовірного судження про міцність бетону конструкції необхідно мати не менше ніж 15 ділянок;
- сусідні точки вимірювань повинні знаходитись на відстані не менше ніж 20 мм, а від грані елемента – не менше ніж 40 мм;
- у місцях, де залягає крупний заповнювач, а також там, де є пори, проведення випробувань не допускається.

Найпростішим методом польового оцінювання міцності бетону є кульковий молоток Фізделя із вуглецевої сталі. Ударний кінець його закінчується кулькою діаметром 17,5 мм, зробленою зі сталі. Під час контролю якості бетону під дією ліктьового удару молотком кулька занурюється в бетон. За розміром одержаної лунки в бетоні, з допомогою графіків, можна судити про пластичні властивості матеріалу та його міцність. Недоліком цього методу є залежність величини діаметра лунки від сили удару.

Зазначений вище недолік ліквідується використанням еталонного молотка Кашкарова (рис. 16).

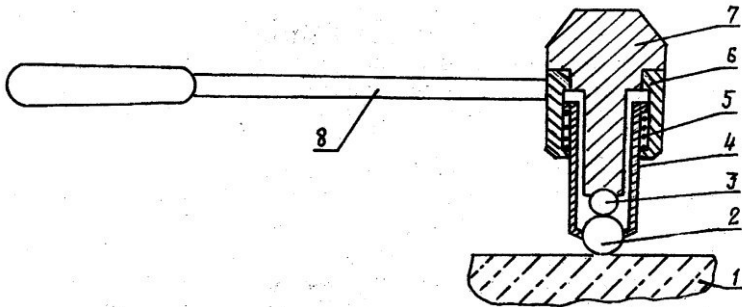


Рис. 16. Еталонний молоток Кашкарова: 1 – бетон, що випробовується; 2 – кулька; 3 – еталонний стержень; 4 – стакан; 5 – пружина; 6 – корпус; 7 – оголовок; 8 - ручка



Еталонний стержень має діаметр 10...12 мм та довжину 100...150 мм. Виготовлений він із круглої сталі марки Ст3сп2 з тимчасовим опором розриву 420...460 МПа. Під час удару по поверхні бетону кулькою остання залишає відбиток на поверхні бетону та еталонного стержня. Удар може виконуватись або безпосередньо молотком Кашкарова, або за допомогою додаткового молотка. Після кожного удару еталонний стержень повинен бути зсунутий не менше ніж на 10 мм. Для відбитків проводиться статистична обробка, а похибка визначення міцності цим методом становить 10...15%.

Метод оцінювання міцності деревини був запропонований Певцовим. Суть методу полягає в тому, що на горизонтальну поверхню деревини з висоти 500 мм падає стальна кулька діаметром 25 мм із питомою вагою  $7,85 \text{ т/м}^3$ . За величиною відбитка на деревині, викликаного ударом кульки, визначають ударну, а потім і граничну міцність матеріалу. Під час випробувань повинно бути оброблено не менше трьох відбитків, розташованих один від одного на відстані 40 мм.

Суть вогнепального методу Кашкарова визначення міцності деревини полягає у визначенні глибини проникнення кулі в масив деревини. За величиною глибини цього проникнення, використовуючи емпіричні залежності, можна визначити міцність матеріалу. Деревину прострілюють зі спортивної малокаліберної (калібр 5,6 мм) гвинтівки із відстані 100 мм у радіальному напрямку. У зразок, що досліджується, стріляють не менше трьох разів. Потім за середньоарифметичним значенням за допомогою емпіричних виразів визначають граничну міцність деревини.

Метод пружного відскоку – заснований на залежності між межею міцності матеріалу при стиску і величиною пружного відскоку бойка. Прилади, які при цьому використовуються: молоток Шмідта, пружинний прилад КМ, маятниковий прилад тощо.

Прилад КМ складається з корпусу, ударника, ударної пружини, бойка, направляючого стержня, спускового гачка. Коли боек знаходиться в початковому положенні то він розтягує ударну пружину. При випробуванні боек звільняється спусковим гачком і під дією пружини б'є по ударнику та відскакує від нього, при цьому на шкалі фіксується величина відскоку. Кількість випробувань на одній ділянці не менше п'яти, а відстань від краю конструкції до



місяця випробувань не менше 50 мм. Відстань між відтисками має складати не менше 30 мм. Знаючи величину середнього відскоку за градуваною залежністю визначаємо міцність бетону на стиск.

За кордоном широке розповсюдження отримав зроблений в Швейцарії молоток Шмідта. Застосовується він при випробуванні легкого та важкого бетону й інших будівельних матеріалів у звичайних умовах та під водою. Принцип роботи молотка Шмідта такий же як у приладу КМ, відмінність лише у конструктивному та якісному виконанні елементів.

### 2.1.6.2. Фізичні методи дослідження

#### *Акустичні методи*

Акустичні методи засновані на реєстрації параметрів пружних коливань в матеріалі, що досліджується, за якими роблять висновки про фізико-механічні характеристики матеріалу. Акустичні методи побудовані на вивченні характеру розповсюдження звуку в матеріалах. Їх поділяють: ультразвуковий імпульсний метод; ударний метод; імпульсний ехо-метод; тіньовий метод; метод акустичної емісії тощо.

Ультразвуковий імпульсний метод (рис. 17) заснований на збудженні в елементі, що досліджується, ультразвукових акустичних коливань частотою більше 25 кГц і вимірюванні швидкості їх розповсюдження.

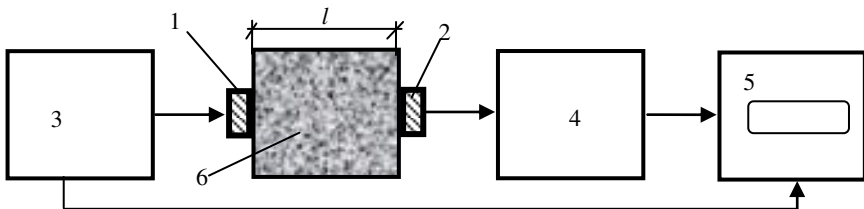


Рис. 17. Ультразвуковий імпульсний метод: 1,2 – п'єзоелектричні елементи (1 – випромінювач, 2 – приймач); 3 – генератор високочастотних імпульсів; 4 – підсилювач; 5 – електронно-променева трубка; 6 – дослідний зразок

Генератор високочастотних імпульсів посиляє імпульс на електронно-променеву трубку та випромінювач, що перетворює електричні імпульси в ультразвукові акустичні хвилі, які проходять через бетон і потрапляють на приймач. В приймачі ці коливання перетворюються в електричні імпульси, що направляються в

підсилювач. Підсилений імпульс попадає на електронно-променеву трубку. По відстані між вхідним та вихідним сигналом визначають час проходження ультразвукового імпульсу. Швидкість

проходження ультразвуку визначається за виразом:  $V = \frac{l \cdot 10^3}{t}$ ,

де  $l$  – база прозву чування, мм;  $t$  – час проходження імпульсу, мкс.

Існують наступні способи прозвучування: наскрізний, поверхневий, діагональний (рис. 18).

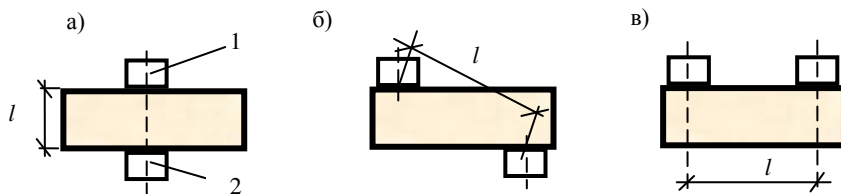


Рис. 18. Способи прозвучування: а – наскрізний; б – діагональний; в – поверхневий; 1 – випромінювач; 2 – приймач

База прозвучування в залежності від виду приладу (УК-14ПМ, УФ-90ПЦ, Бетон-8-УРЦ) та виробу, що досліджується, призначається в межах 100...5000 мм. Залежність між швидкістю розповсюдження ультразвукових хвиль та властивостями матеріалу

виражається виразом:  $V = \sqrt{\frac{E}{\rho}} k$ , де  $E$  – модуль пружності

матеріалу;  $\rho$  – густина матеріалу;  $k$  – коефіцієнт, що залежить від середовища, в якому розповсюджуються хвилі.

Отже по швидкості розповсюдження ультразвукових хвиль, за градуированою кривою, можна судити про фізико-механічні характеристики матеріалу: міцність, однорідність, та їх зміну в часі.

За допомогою ударного методу визначається швидкість розповсюдження ударної хвилі в бетоні (рис. 19). Цей метод застосовують при обстеженні масивних конструкцій гідротехнічних споруд, дорожніх та аеродромних покриттів тощо.

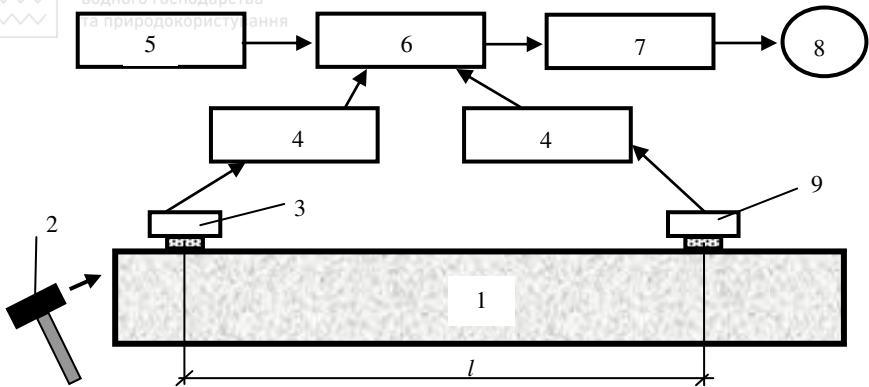


Рис. 19. Ударний метод: 1 – конструкція, що випробовується; 2 – молоток; 3 – пусковий звукоприймач; 4 – підсилювач; 5 – генератор-лічильник імпульсів; 6 – пускова система; 7 – мікросекундомір; 8 – індикатор; 9 – вимикаючий звукоприймач

Акустична база вимірювань повинна складати не менше чотирьох товщин елемента. Ударна хвиля від молотка сприймається пусковим звукоприймачем (3) і включає мікросекундомір (7). Хвиля, досягнувши вимикаючого звукоприймача (9) зупиняє мікросекундомір. Швидкість розповсюдження звукової хвилі дорівнює:  $V = \frac{l}{t}$ . Визначення міцності бетону в залежності від

швидкості розповсюдження ударної хвилі здійснюється за допомогою градуйованої кривої або по відповідним залежностям.

Імпульсний ехо-метод полягає в посиленні та відбитті ультразвукових імпульсів від границі виробу або дефекту (рис. 20). В момент подачі імпульсу на екрані виникає початковий сигнал – спалах імпульсу в лівому кутку. Якщо в межах товщини зразка або виробу немає дефектів, то ультразвуковий імпульс проходить через всю товщину матеріалу, відбивається від „дна” і на правій частині екрану з’являється зображення імпульсу, що повертається. Цей сигнал називається „донним”. Якщо на шляху імпульсу зустрічається дефект, сигнал від нього відбивається раніше. Висота цього сигналу та його розташування між початковим та „донним” сигналом характеризують розміри і глибину знаходження дефекту.



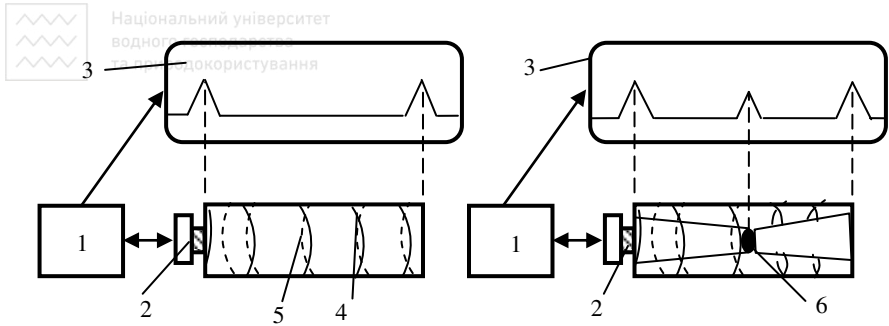


Рис. 20. Імпульсний ехо-метод: 1 – генератор імпульсів; 2 – щуп-випромінювач та приймач; 3 – електронно-променева трубка; 4 – пряма хвиля; 5 – зворотня хвиля; 6 – дефект

Характерними ознаками методу є те, що він потребує спеціальної обробки поверхні елемента; досить точно ним визначається наявність прихованого дефекту, але місце розташування та розміри його встановлюються з великою похибкою.

Тіньовий метод заснований на послабленні ультразвукового сигналу дефектом, що утворює ультразвукову тінь (рис.21). В металевих конструкціях за допомогою ультразвуку здійснюється контроль дефектів в металі та контроль якості зварних швів. Електронний генератор посилає імпульсну електричну енергію у випромінювач, де ці імпульси перетворюються в ультразвукові. Якщо на шляху ультразвукових хвиль немає дефекту, то промінь проходить всю товщу елемента і попадає на приймач. Тут він перетворюється в електричний імпульс, який через підсилювач попадає на електронно-променеву трубку. Якщо на шляху сигналу зустрічається дефект, частина енергії ультразвукової хвилі відбивається від нього і на приймач попадає послаблений сигнал, або дефект взагалі перебиває шлях ультразвукової хвилі. До недоліків цього методу можна віднести те, що він не дозволяє встановити глибину залягання дефекту; потребує вільного доступу до конструкції з обох сторін, що не завжди є можливим.

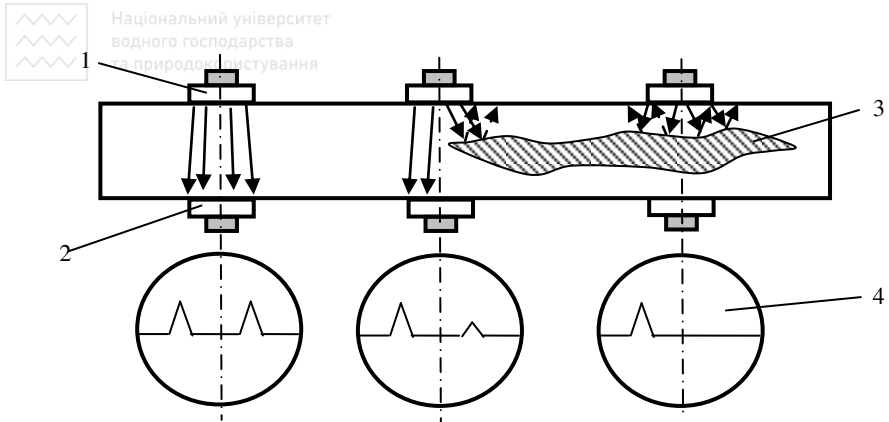


Рис. 21. Тіньовий метод: 1 – випромінювач; 2 – приймач; 3 – дефект; 4 – електронно-променева трубка

Метод акустичної емісії ґрунтується на реєстрації акустичних хвиль у твердих тілах при пластичному деформуванні та виникненні і розвитку тріщин. Реєструючи швидкість руху хвиль емісії, можна знайти небезпечні дефекти та прогнозувати надійність елементів конструкцій: зон концентрації напружень у металевих, еволюцію розвитку тріщин у залізобетонних, появу розшарування в клеєних дерев'яних конструкціях, тощо. Принцип його роботи полягає в тому, що на поверхні об'єкта встановлюється ряд приймачів, що реєструють момент приходу імпульсу і його характеристики в процесі навантаження конструкції та її експлуатації. Інтенсивна фіксація імпульсів свідчить про процеси, що пов'язані з розвитком мікро- й макротріщин у конструкціях.

#### **Радіаційні методи**

За допомогою радіаційних методів вирішується ряд задач, пов'язаних із вивченням стану конструкцій та матеріалів: виявлення дефектів під час зварювання металевих конструкцій, тріщин, зон ураження корозією, дефектів прокатних листів, визначення товщини захисного шару бетону, розміри й розміщення арматури в залізобетонних елементах, вимірювання напружень, визначення питомої ваги будівельних матеріалів і їх вологості, визначення товщини виробів тощо.

Із радіаційних методів визначення фізико-механічних характеристик матеріалів і дефектів будівельних конструкцій



найбільш розповсюджені: рентгенівський метод; гама-метод; метод радіографії; ксерографічний; метод нейтронного випромінювання.

Рентгенівський метод полягає в тому, що при проходженні перешкоди інтенсивність рентгенівських променів знижується в залежності від товщини перешкоди і наявності більш щільних включень (рис. 22). Наявність пустот рівноцінна зменшенню товщини перешкоди. Глибина розташування дефекту визначається подвійною експозицією на фотоплівку при переміщенні джерела випромінювання (рис. 23).

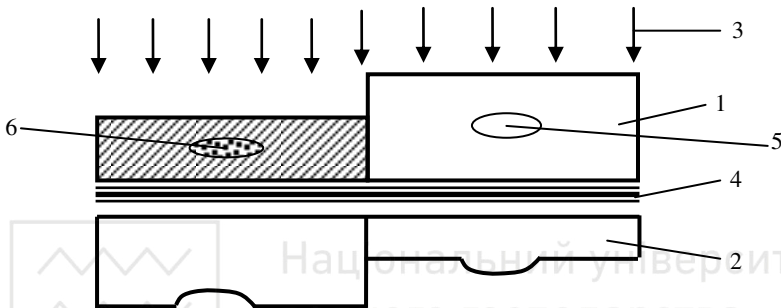


Рис. 22. Рентгенівський метод: 1 – виріб, що досліджується; 2 – епіюра інтенсивності; 3 – рентгенівські промені; 4 – фотоплівка; 5 – пустота; 6 – більш щільне включення

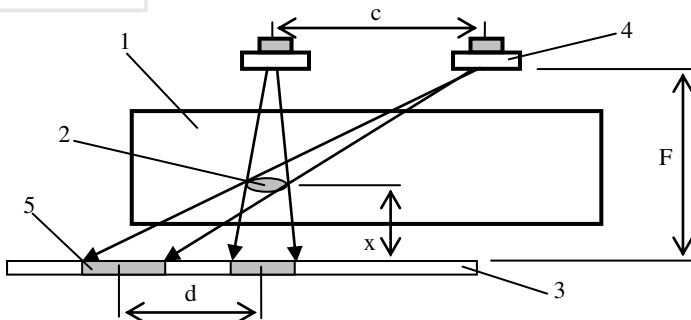


Рис. 23. Метод подвійної експозиції на фотоплівку: 1 – елемент, що просвічується; 2 – дефект; 3 – фотоплівка; 4 – джерело випромінювання; 5 – затемнені ділянки

Відстань до дефекту визначаємо з співвідношення:  $\frac{x}{d} = \frac{F-x}{c}$ ;

звідки  $xc = dF - dx$ ;  $x = \frac{dF}{c} + d$ .



При використанні гама-методу джерелом гама-випромінювань є радіоактивні ізотопи хімічних елементів (рис. 24). Цей метод призначений для визначення густини бетону в виробках та густини ущільненої бетонної суміші.

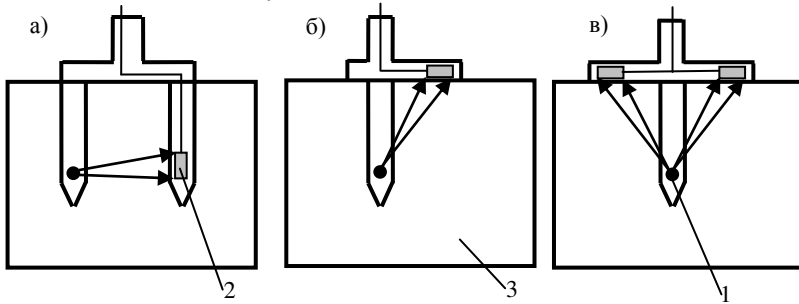


Рис. 24. Гама-метод та види зондів: а – зонд „вилка”, б – „Г”-подібний зонд, в – „Г”-подібний зонд; 1 – джерело випромінювання, 2 – приймач, 3 – бетонна суміш

У готових виробках товщиною до 800 мм контроль бетону здійснюється просвічуванням із застосуванням „П”- подібної скоби (рис. 25).

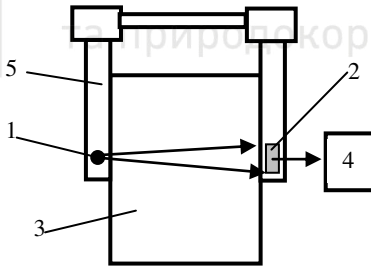


Рис. 25. Наскрізне просвічування виробу за допомогою „П”- подібної скоби:  
1 – джерело випромінювання, 2 – приймач, 3 – виріб;  
4 – радіоізотопний густомір; 5 – скоба

Радіографічним методом здійснюється контроль якості зварювання (рис. 26). Пучок рентгенівських променів проходить крізь шов і діє на плівку з інтенсивністю прямо пропорційною густині шва в місці просвічування. Дефектні ділянки шва характеризуються викривленням зображення на рентгенівській плівці. По степені затемнення, формі затемнених ділянок можна виявити тріщини, не провари, газові пори, шлакові включення.



Методом нейтронного випромінювання визначається вологість матеріалів, а також наявність пор в бетоні, що заповнені водою (рис. 27). Особливість нейтронного потоку – уповільнення швидкості нейтронів та їх розсіювання тим більше, чим легші атоми матеріалу, що просвічується. Водень – найбільш ефективний уповільнювач швидких нейтронів. Реєстрація повільних нейтронів проводиться газорозрядними детекторами.

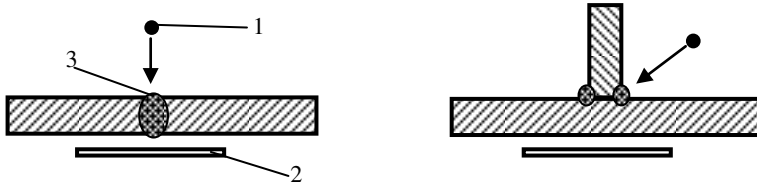


Рис. 26. Радіографічний метод: 1 – джерело випромінювання, 2 – касета з плівкою, 3 – зварний шов

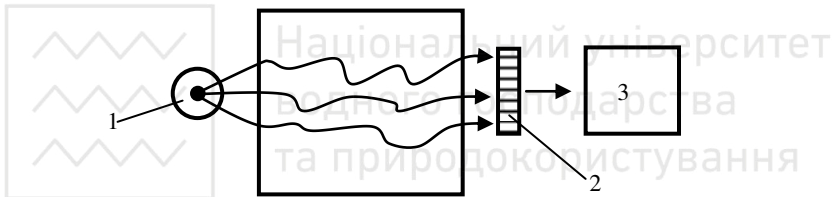


Рис. 27. Методом нейтронного випромінювання: 1 – джерело швидких нейтронів, 2 – детектор, 3 – вимірювальний прилад

### Магнітні та електричні методи

Магнітні методи контролю базуються на реєстрації магнітних полів розсіювання, які виникають над дефектами, або на вивченні магнітних властивостей матеріалів, що досліджуються. Магнітні методи використовують для визначення товщини немагнітних покриттів на магнітній основі, або у випадку різкої відмінності магнітних властивостей покриття й основи, а також для визначення товщини захисного шару бетону та діаметра арматури в залізобетонних конструкціях. Використовуючи магнітні методи можна виявити напружений стан елементів конструкцій, а саме:

- за рахунок виникненням магнітної анізотропії під дією прикладених до об'єкта навантажень;
- методом магнітних міток. При цьому методі на елемент до його деформування зовнішнім магнітним полем наносяться мітки, які



розміщуються на деякій відстані одна від одної. За зміною відстані між мітками судять про деформації об'єкта, а потім переходять до оцінки напружень.

- за рахунок зміни магнітної проникності від напружень, які створюються у магнітних матеріалах.

Найбільше розповсюдження отримали: магнітопорошковий; магнітографічний; індукційний методи.

Магнітопорошковий метод застосовується для контролю деталей із феромагнітних матеріалів і дозволяє виявити дефекти без руйнування: неметалеві та шлакові вclusions, порожнини, тріщини, дефекти зварювання тощо. При цьому до елемента прикладається магніт або електромагніт і в елементі створюється магнітний потік (рис. 28). Потік не змінює свого напрямку в бездефектній зоні. Якщо на шляху магнітного потоку зустрічаються ділянки з дефектами, то через зниження в цих місцях магнітної проникності частина магнітних ліній виходить з деталі. Там де магнітні лінії виходять із деталі та входять в неї виникають місцеві магнітні полюси S та N і місцеве магнітне поле над дефектом. Після зняття зовнішнього магнітного поля місцеве магнітне поле та полюси залишаються в наслідок залишкової індуктивності. Для виявлення дефектів на поверхню досліджуваного елемента наносять феромагнітні частинки у вигляді порошку. Частинки у зоні дефекту намагнічуються і притягуються одна до одної. В результаті над дефектом відбувається нагромадження феромагнітних частинок у вигляді відповідних рисунків.

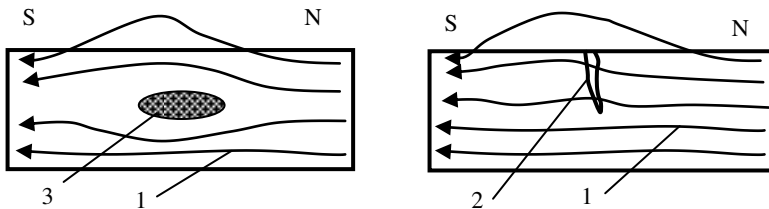


Рис. 28. Магнітопорошковий метод: 1 – магнітний потік; 2 – тріщина;  
3 – шлакові вclusions, порожнини

Магнітографічний метод застосовується для контролю якості зварних швів (товщина стінки до 18 мм). При цьому ділянка деталі, що контролюється намагнічується магнітом (рис. 29). Над дефектом



магнітне поле розсіюється, що фіксується магнітною стрічкою, яка попередньо укладається на поверхню деталі. Потім на спеціальному приладі цей запис розшифровується. По величині і формі кривої, яку спостерігають на екрані електронно-променевої трубки, судять про наявність і характер дефектів.

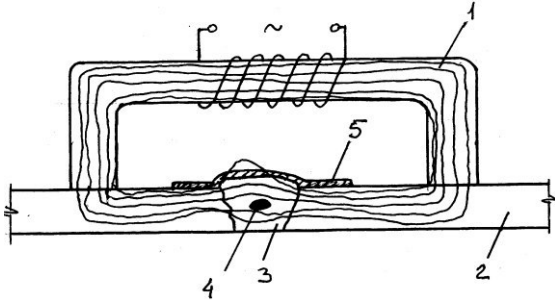


Рис. 29. Магнітографічний метод: 1 – електромагніт; 2 – деталь, що досліджується; 3 – зварний шов; 4 – дефект; 5 – магнітна стрічка

Індукційним методом визначають товщину захисного шару, положення і діаметр арматури в бетоні. Прилад ИЗС-10Н заснований на використанні індуктивного збалансованого мосту (рис. 30) в якому 2 – датчик. При наближенні датчика до арматури відбувається розбалансування мосту. При пересуванні датчика по конструкції спостерігають за величиною розбалансування, на що вказує відхилення стрілки на шкалі приладу.

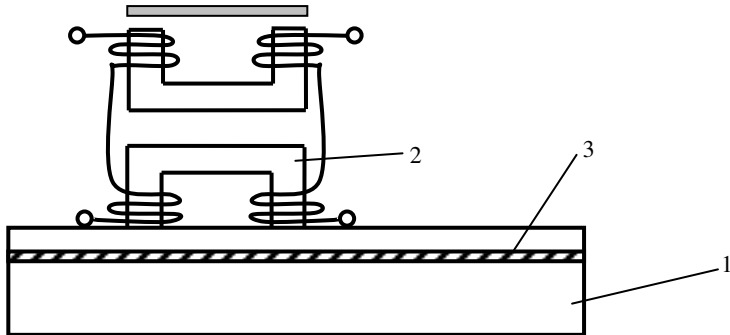


Рис. 30. Індукційний метод: 1 – залізобетонна конструкція; 2 – датчик; 3 – арматура

Електричні методи широко використовуються при контролі та визначенні фізико-механічних характеристик будівельних



матеріалів, виробів і конструкцій та при їх дефектоскопії.

Вологість деревини та піску визначають за замірним електричним опором. Для цього використовуються градувальні залежності між електропровідністю та вологістю. Термоелектричний метод визначення вологості базується на функціональній залежності теплопровідності піску та його вологості. Діелектричний метод засновано на вимірі електроємності конденсатора, між пластинками якого розміщується проба піску різної вологості.

У дефектоскопії найбільш широко використовуються електростатичний, термоелектричний та електроіндуктивний методи. Електростатичний метод ґрунтується на взаємодії дрібних частинок з електростатичним полем. Метод застосовується для пошуку поверхневих тріщин в елементах, що поміщені в електростатичне поле. При цьому поверхня елемента посипається подрібненою крейдою. В результаті неоднорідності поля частки крейди концентруються біля країв тріщини, вказуючи на неї.

Термоелектричний метод базується на вимірюванні електрорушійної сили, що виникає в замкнутому колі при нагріванні місця контакту двох різнорідних матеріалів, один з яких приймається за еталон. Цим методом визначають марку матеріалу, наприклад сталі.

Електроіндуктивний метод оснований на збудженні вихрових струмів змінним магнітним полем датчика. Цей метод використовують для виявлення й оцінювання розмірів дефектів типу несучільності, вимірювання фізико-механічних характеристик матеріалів, вимірювання розмірів деталей та їх динамічних характеристик.

### ***Методи проникаючих середовищ в дефектоскопії будівельних матеріалів та конструкцій***

Методи проникаючих середовищ поділяють на метод пошуку течії та капілярний метод.

Метод пошуку течій використовується для контролю герметичності резервуарів, трубопроводів тощо. Найпростішим способом контролю є заповнення ємності водою до відмітки, що перевищує експлуатаційний рівень. При наявності наскрізних дефектів (тріщин) вода просочується крізь нещільності. Більш



ефективними для виявлення тріщин є гас та нев'язке масло, бо вони мають малу в'язкість та невелику силу поверхневого натягу у порівнянні з водою. Наявність наскрізних тріщин перевіряється також за допомогою утворення вакууму (рис. 31). При цьому поверхня дослідної конструкції покривається мильним розчином і до неї через гумові ущільнювачі притискають короб з прозорою поверхнею. Вакуум-насос відкачує повітря. Поява мильних бульбашок свідчить про наявність тріщин в конструкції.

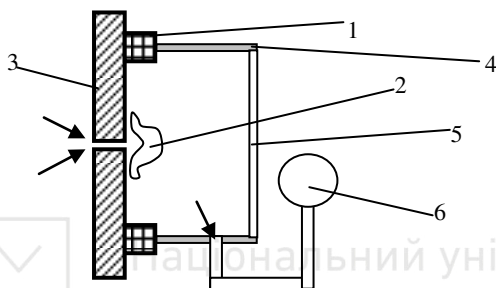


Рис. 31. Метод утворення вакууму: 1 – гумові ущільнювачі; 2 – мильні бульбашки; 3 – дослідна конструкція; 4 – короб 5 – прозора кришка; 6 – вакуум-насос

Капілярний метод використовують для виявлення наскрізних тріщин, шляхом утворення індикаторних малюнків з високим оптичним контрастом і з шириною ліній, що перевищують ширину розкриття тріщин (рис. 32). На деталь наносять спеціальну рідину: гас, нев'язке масло або їх суміш. Ця рідина заповнює тріщину, а зайву рідину вилучають з поверхні. Потім на поверхню наносять проявник, крейду у вигляді сухого порошку. Проявник вбирає рідину з тріщини і утворює на поверхні індикаторний кольоровий і контрастний малюнок, лінії якого ширші ніж тріщина.

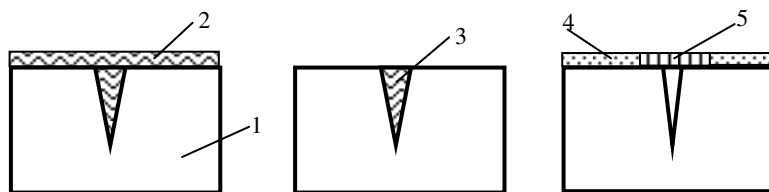


Рис. 32. Капілярний метод: 1 – зразок, 2 – рідина, 3 – тріщина, 4 – проявник, 5 – малюнок



## **Інфрачервона дефектоскопія**

Інфрачервоне випромінювання використовується для знаходження дефектів в матеріалах та визначення їх характеристик. Приймачі інфрачервоного випромінювання перетворюють його енергію в інші, які можуть бути зафіксовані та заміряні звичайним способом, наприклад в електричну, з підключенням та виведенням інформації на монітор ЕОМ. У теплових приймачах реєструється підвищення температури термочутливого елемента. У фотоелектричних приймачах поглинання інфрачервоного випромінювання призводить до виникнення або зміни електричного струму (напруги).

Для перетворення інфрачервоного випромінювання в таке, що видно, використовуються тепловізори або термовізори. В цих приладах різниця температур відтворюється на екрані телевізора візуально, більш світлі ділянки відповідають поверхням із більш високою температурою. Тепловізори дозволяють оцінити якість швів огорожуючих конструкцій, а також їх теплофізичні характеристики.

### **2.2. Законодавча база метрології**

#### **2.2.1. Метрологічна служба України. Законодавчі акти, що є базою метрології**

*[2, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 19, 22]*

Структура метрологічної служби України регламентується ДСТУ 2682-94, чинним з 01.01.1995 р. Метрологічна служба України складається із державної і відомчих метрологічних служб. До складу державної метрологічної служби, яку очолює Державний комітет України з стандартизації, метрології та сертифікації (Держстандарт України) входять:

- відповідні підрозділи центрального апарату Держстандарту України;
- головна організація із забезпечення єдності вимірювань – Державне науково-виробниче об'єднання „Метрологія”;
- головні організації з видів вимірювань і напрямів діяльності – ДНВО „Метрологія”, Державний науково-дослідний інститут „Система”, центри стандартизації метрології та сертифікації;



- державні служби єдиного часу і еталонних частот, стандартних довідкових даних про фізичні константи, властивості речовин і матеріалів;
- територіальні органи державної метрологічної служби в Республіці Крим, областях, містах і районах.  
До відомчих метрологічних служб належать:
- підрозділи міністерств (відомств), на які покладені функції метрологічної служби;
- метрологічні служби об'єднань підприємств;
- метрологічні служби, інші підрозділи, посадові особи на підприємствах і організаціях, на які в установленому порядку покладені роботи з метрологічного забезпечення.

Основним принципом оснащення відомчих метрологічних служб є створення комплексних перевірочних лабораторій для конкретних видів вимірювань. Метрологічні служби підприємств і організацій підпорядковуються керівнику, що керує їх технічною політикою.

Згідно з законом України №113/98 ВР від 11.02.1998 р. „Про метрологію та метрологічну діяльність” та ДСТУ 2681-94 „Метрологія. Терміни та визначення” законодавча метрологія – це частина метрології, що містить законодавчі акти, правила, вимоги та норми, які регламентуються і контролюються державою для забезпечення єдності вимірювань. Нагадаємо також, що законодавчою основою метрологічного забезпечення є Закони України, Декрети і постанови Кабінету Міністрів України, які спрямовані на забезпечення єдності вимірювань.

Відмітимо, що нормативний документ – це документ, який встановлює правила, загальні принципи чи характеристики різного виду діяльності або її результатів. Цей термін охоплює такі поняття як „стандарт”, „настанова”, „технічні умови” та „регламент”. До основних нормативних документів, що складають законодавчу базу метрології можна віднести:

- ДСТУ 2681-94 Метрологія. Терміни та визначення.
- ДСТУ 2682-94 Метрологія. Метрологічне забезпечення. Основні положення.
- ДСТУ 2682-94 Метрологія. Повірка засобів вимірювань. Організація і порядок проведення.
- ДСТУ 3215-95 Метрологія. Метрологічна атестація засобів вимірювальної техніки.



- ДСТУ 2709-94 Метрологія. Автоматизовані системи керування технологічними процесами. Метрологічне забезпечення. Основні положення.
- ДСТУ 3400-96 Метрологія. Державні випробування засобів вимірювальної техніки.
- ДСТУ 3651.0-97 Метрологія. Одиниці фізичних величин. Основні одиниці фізичних величин. Міжнародна система одиниць. Основні положення, назви та позначення.

## **2.2.2. Міжнародні організації з метрології**

*[2, 3, 7, 19]*

Найбільші міжнародні метрологічні організації – Міжнародна організація мір і ваг (МОМВ) і Міжнародна організація законодавчої метрології (МОЗМ). Найважливішим завданням в діяльності міжнародних організацій з метрології є забезпечення інтересів міжнародної торгівлі, якщо буде дотримана єдність вимірювань, як необхідна умова відповідності результатів випробувань і сертифікації продукції. Міжнародні метрологічні організації працюють в контакті з ISO та IEC.

У 1875 р. 17 країн підписали Метричну конвенцію, мета якої – уніфікація національних систем одиниць вимірювання і встановлення єдиних фактичних еталонів довжини і маси. На основі цієї конвенції була створена міжурядова Міжнародна організація мір і ваг. На сьогодні її членами є 50 країн світу. Відповідно до конвенції було створено Міжнародне бюро мір і ваг – перша міжнародна науково-дослідна лабораторія, що зберігає і підтримує міжнародні еталони. Міжнародне бюро мір і ваг координує діяльність метрологічних організацій більш ніж у 100 країнах.

Міжнародна організація законодавчої метрології утворена на основі міжурядової конвенції, що підписана в 1956 р. Організація об'єднує більше ніж 80 країн. Мета МОЗМ – розробка загальних питань законодавчої метрології, зокрема встановлення класів точності засобів вимірювань; забезпечення однаковості визначення типів, зразків і систем вимірювальних приладів; уніфікація їх метрологічних характеристик; порядок повірки і калібрування засобів вимірювання і еталонів; розробка оптимальних форм організації метрологічних служб; надання науково-технічної підготовки країнам, що розвиваються, у створенні і організації



метрологічних служб і оснащення їх належним обладнанням тощо. Вищий керуючий орган МОЗМ – Міжнародна конвенція законодавчої метрології, виконавчий орган МОЗМ – Міжнародний комітет законодавчої метрології. МОЗМ видає два види документів: міжнародні документи і міжнародні рекомендації, що мають відповідно директивний та рекомендаційний характер і призначені для країн-членів МОЗМ.

## 2.3. Статистичний аналіз і оцінка похибок вимірювання

### 2.3.1. Статистична обробка результатів випробувань будівельних конструкцій

[2, 3, 4, 19]

Для вивчення тих чи інших явищ природи виконуються досліди і спостереження. Кількісним та якісним результатом досліду, виконуваного за певних умов, є подія. Подією наприклад є та чи інша шукана механічна характеристика (міцність, деформативність), що лежить у певному інтервалі. Подію, яка за даного комплексу умов може відбутися, а може і не відбутися, називають випадковою. Об'єктивною математичною оцінкою можливості реалізації випадкової події є її ймовірність, тобто міра об'єктивної можливості її появи.

Необхідно пам'ятати, що при аналізі результатів спостережень виявляються дві основні тенденції:

- більшість результатів групується біля середнього значення всієї серії спостережень;
- чим більше відхилення результату від середнього значення, тим менша ймовірність його появи.

Отже, випадковою називають величину  $X$ , яка внаслідок досліду може набувати різних значень  $x$ , що лежать в інтервалі  $-\infty \leq x \leq \infty$  залежно від випадкового результату досліду. Ймовірнісні властивості випадкової величини описують за допомогою функції розподілу  $F(x)$ , яка буває неперервною та дискретною.

Середнє квадратичне значення випадкової величини має вигляд:

$$\beta = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} x^2 f(x) dx}, \text{ де } f(x) \text{ – щільність розподілу ймовірності.}$$



Для оцінки розкиду випадкової величини біля її математичного сподівання вводиться поняття дисперсії  $D(X)$  – сума додатків квадратів різниць можливих значень випадкової величини та її математичного сподівання на відповідні цим можливим значенням імовірності. Додатне значення квадратного кореня з дисперсії називають середнім квадратичним відхиленням, або стандартом,  $\sigma(X) = \sqrt{D(X)}$ . Дисперсія і стандарт – це міра розсіяння випадкової величини навколо середнього значення.

Важливою і широко використовуваною характеристикою випадкової величини є коефіцієнт варіації,  $V = \frac{\sigma(X)}{X}$ .

Із-поміж теоретичних розподілів випадкових величин велике значення має нормальний розподіл, що є основою математичної статистики. Нормальний розподіл – це розподіл випадкової величини, що підпорядковується певному закону, відповідною щільністю  $f(x)$ . Для щільності ймовірності нормального розподілу чим більший стандарт  $\sigma(X)$ , тим більший розкид випадкової величини навколо середнього значення. Крива нормального розподілу симетрична відносно середнього значення.

Якщо внаслідок  $n$  вимірювань випадкової величини  $X$  одержано послідовність значень  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , то первинна обробка полягає в групуванні знайдених значень за достатньо малими інтервалами, обчисленні середніх відносних частот для кожного інтервалу й графічному зображенні результатів у вигляді гістограми, полігону чи ступінчастої функції розподілу.

Основними характеристиками розподілу є середнє арифметичне

значення  $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$  та середнє квадратичне відхилення  $\sigma(X)$  для

вибірки  $S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2$ . Вибіркова сукупність (вибірка) –

відібрана для вивчення частина об'єктів.



Відношення  $v = \frac{S}{X}$  називають коефіцієнтом мінливості

(коефіцієнт варіації для теоретичного розподілу).

Виміри, обчислені за однакових умов, називають рівноточними. Центр групування результатів таких вимірювань визначає просте

середнє арифметичне:  $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ .

Коли немає систематичних похибок, то арифметичне середнє ряду рівноточних результатів вимірювань у міру їх необмеженого зростання наближається до справжнього значення величини, що вимірюється. Водночас будь-яке значення параметра, обчисленого на підставі обмеженого обсягу вимірювань, завжди міститиме елемент випадковості. Таке наближене значення називають оцінюванням параметра. Коли оцінка  $\bar{X}$  має таку властивість, що із збільшенням кількості дослідів  $n$  її значення наближається до точного значення величини, яка вимірюється, то її називають слушною, а коли немає систематичних похибок – незміщеною. Вибрана незміщена оцінка повинна мати найменшу дисперсію:  $D(\bar{X}) = \min$ , в такому разі її називають ефективною.

У багатьох випадках обробки результатів спостережень доводиться мати справу з нерівноточними вимірами, які виникають, коли вимірювання зроблено різними приладами, в різних умовах або навіть різними дослідниками. Тому окремим відлікам надають різної ваги  $u_i$ , яка може бути довільною, але обов'язково обгрунтованою. Якщо відомі точності приладів або відмінність у їх базах, то можна вибрати вагу пропорційно до цих даних. Коли ж про прилади та умови нічого не відомо, то вагу природно вибрати пропорційно до кількості однорідних вимірювань та дисперсії  $\sigma_i^2$ .

Тоді  $u_i = \frac{n_i}{\sigma_i^2}$ . У цьому разі найімовірніше значення шуканої величини можна визначити як середнє значення серії нерівноточних вимірів:



$\bar{X}_u = \frac{\sum_{i=1}^n u_i x_i}{\sum_{i=1}^n u_i}$ . Тоді середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n u_i (x_i - x_u)^2}{n-1}}$$

При статистичному аналізі важливою задачею є визначення надійного інтервалу, виходу за його межі вимірювальної величини  $x_i$ , яка внаслідок випадкових коливань має ймовірність меншу, ніж та, що задана. Для оцінки інтервалу при обмеженій кількості дослідів використовують розподіл Стюдента, що має вигляд:  $t = \Delta x \sqrt{n} / S$ , де  $S$  – вибіркова сукупність (вбірка). При заданій надійності вимірювана величина потрапляє в інтервал:  $(\bar{X} - \Delta x) \leq x \leq (\bar{X} + \Delta x)$ .

Висунуту статистичну гіпотезу безпосередньо за вибірковими даними перевіряють за допомогою критеріїв згоди.

Під час обробки статистичного матеріалу, одержаного внаслідок дослідів, часто доводиться розглядати функціональні залежності, суть яких полягає в тому, що якусь фізичну величину визначають як однозначну функцію однієї чи кількох величин. В загальному вигляді функцію можна представити у вигляді  $y = f(x)$ . Водночас між випадковими величинами може виникнути зв'язок й іншого роду, який виявляється в тому, що одна з них реагує на зміну іншої змінами свого закону розподілу. Такий зв'язок називають схоластичним (імовірнісним).

З поміж різних видів схоластичного зв'язку чільне місце посідає кореляційний, коли одній незалежній величині відповідає кілька змінних величин, варіюючи навколо деякої середньої величини. За характером зміни середніх значень якості кореляція може бути прямолінійною або криволінійною, додатною або від'ємною. Лінійною називається така кореляція, коли рівним змінам однієї якості в середньому відповідає рівна зміна іншої якості. У випадку криволінійної кореляції рівній зміні однієї якості можуть





відповідати будь-які середні значення іншої якості. Додатною вважають таку кореляцію, в якій із зростанням однієї якості середні значення іншої систематично зростають, а при від'ємній, навпаки, зменшуються.

Коефіцієнт кореляції, що характеризує ступінь лінійної залежності ознак  $x_i$  та  $x_j$  визначається за виразом:

$$r_{ij} = k_{ij} / (\sigma_i \sigma_j), \text{ де } k_{ij} = \sum_{i=1}^n (x_{il} - \bar{X}_i)(x_{jl} - \bar{X}_j) / n - 1 - \text{коефіцієнт}$$

коваріації.

### 2.3.2. Похибки вимірювань та їх види

[2, 3, 19, 20]

Основним показником точності вимірювань є похибка. Похибки зумовляються недосконалістю приладів та методів вимірювань, непостійними умовами спостережень, недостатнім досвідом спостерігача або особливостями його органів відчуттів тощо. Похибка вимірювання – різниця між отриманим при вимірюванні та істинним значенням величини, що вимірюється.

Похибки вимірювання можна класифікувати за такими ознаками: за характером прояву – систематичні, випадкові; за способом вираження – абсолютні, відносні; за способом обробки ряду вимірювань – середні арифметичні, середні квадратичні; за умовами вимірювання величини – статичні, динамічні; за повнотою охоплення вимірювальної задачі – часткові, повні. Можна також виділити такі складові похибки вимірювання, як інструментальна, методична, суб'єктивна тощо. Нагадаємо, що похибка мір та приладів визначається при їх перевірці.

Абсолютна похибка – це похибка вимірювань, що виражена в одиницях вимірювальної величини. Але за значенням абсолютної похибки важко судити про точність вимірювань.

Відносна похибка – це похибка вимірювань, що виражена відношенням абсолютної похибки вимірювання до істинного значення вимірювальної величини. Відносна похибка виражається в частинах або відсотках від абсолютної похибки.

Систематична похибка – це складова похибки вимірювання, яка при повторних вимірюваннях однієї і тієї ж величини залишається сталою або закономірно змінюється.



**Випадкова похибка** – це складова похибки вимірювання, яка при повторних вимірюваннях однієї і тієї ж величини з незмінним розміром змінюється випадково. Для зменшення випадкової складової похибки збільшують кількість повторних вимірів, статистична обробка яких дає можливість виділити середнє значення випадкових відхилень. Зменшувати випадкову складову похибки доцільно доти, доки середня квадратична помилка не стане значно меншою від величини систематичної похибки.

**Інструментальні похибки** – це складова похибки вимірювання, що зумовлені недосконалістю засобів вимірювання. Вони включають в себе похибки перевірки або градування засобів вимірювання.

**Методичні похибки** спричинені недосконалістю методу вимірювання, недостатньою обґрунтованістю його теорії, застосуванням наближених формул для спрощення розрахунків тощо. Для компенсації значних методичних похибок необхідно вводити поправки.

**Суб'єктивні похибки** виникають переважно при відлічуванні показів. Вони зумовлені індивідуальними особливостями оператора, його станом і розташуванням під час роботи, недосконалістю органів відчуття і зміною їх властивостей, втому оператора, схильністю його занижувати або завищувати відліки, округляти до парних або непарних цифр тощо.

Відмітимо, що чим менші систематичні і випадкові похибки, тим вища точність вимірювання. Тому точність вимірювання приладів є характеристикою їх якості і показує близькість результатів вимірювання до істинного значення вимірювальної величини. Кількісною оцінкою точності вимірювання є число, обернене до відносної похибки:  $a = 1/\Delta = X/\Delta$ .

У метрології розроблені спеціальні методи для зменшення або виключення з результату вимірювання ряд систематичних похибок. До них належать: вибір стабільних режимів роботи засобу вимірювання, гідроізоляція, екранування магнітних полів, стабілізація джерел струму тощо.



## **ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2**

### **2.4. Елементи системи якості, система розробки і постановки продукції на виробництво**

#### **2.4.1. Фактори, що зумовлюють якість продукції, елементи системи якості**

*[1, 2, 7, 19]*

Основні види діяльності в галузі стандартизації спрямовані на підвищення якості продукції. Вимоги до якості продукції, які встановлюються в стандартах, є обов'язковими для всіх виробників цієї продукції, тому Державний стандарт, що має силу закону, потрібно розглядати як нормативну основу еталону якості. Вимоги до якості, надійності та довговічності, що закріплені в стандартах, дають змогу на державному рівні здійснювати науково обгрунтоване управління якістю продукції.

Якість продукції – це сукупність властивостей продукції, що обумовлюють її придатність для використання за призначенням.

На якість продукції впливає значна кількість факторів, які діють як самостійно, так і у взаємозв'язку між собою. Усі фактори об'єднані в чотири групи: технічні, організаційні, економічні, суб'єктивні. До технічних факторів належать: конструкція, технологія виготовлення, засоби технічного обслуговування і ремонту, технічний рівень бази проектування, виготовлення тощо.

До організаційних факторів належать: розподіл праці і спеціалізація, форми організації виробничих процесів, ритмічність виробництва, форми і методи контролю, форми і способи транспортування, зберігання, експлуатації, технічного обслуговування, ремонту тощо.

До економічних факторів належать: ціна, собівартість, форми і рівень зарплати, рівень затрат на технічне обслуговування і ремонт, ступінь підвищення продуктивності праці тощо.

Суб'єктивні фактори включають професійну підготовку працівників, фізіологічні та емоціональні особливості людей тощо.

До елементів системи якості зараховують документально оформлені вимоги ринку, функції системи, її організаційну структуру, документацію, методи, правила та технологію виконання функції, ресурси, включаючи фінансові, інформаційну систему.



## 2.4.2. Види контролю якості

[1, 2, 7, 19]

Невід'ємною складовою частиною будь-якої системи управління є контроль, під час якого порівнюють результати функціонування системи з запланованими результатами. Контролем якості продукції прийнято називати перевірку відповідності показників якості продукції встановленим вимогам, які зафіксовані в нормативних документах.

Ще під час проектування вся розроблена технічна документація на майбутній виріб піддається детальній перевірці на предмет відповідності діючим стандартам і нормативно-технічним документам. Така перевірка є обов'язковою і здійснюється службами нормоконтролю на підприємствах. Служби нормоконтролю проводять експертизу проектної документації. У цьому випадку особливу увагу звертають на відповідність закладених в проект технічних характеристик і показників якості виробу нормам і вимогам, встановленим державними і галузевими стандартами. Отже, ще на стадії проектування контролюються значення таких важливих показників виробу, як показники призначення, рівня стандартизації і уніфікації, технологічні й інші показники.

Найбільша питома вага з трудомісткості, вартості і складності становить контроль якості, що виконується службою технічного контролю в процесі виготовлення продукції. Основним завданням технічного контролю на підприємствах є запобігання випуску продукції, що не задовольняє встановленим вимогам при мінімально можливому розмірі браку. Отже, технічний контроль – це перевірка відповідності процесів, від яких залежить якість продукції і їх результатів, встановленим технічним вимогам.

На сучасних підприємствах отримали розповсюдження такі основні види контролю, які класифікують за ознаками:

- залежно від місця організації контролю розрізняють вхідний, операційний, прийомний контроль;
- залежно від охоплення контрольованої продукції контроль може бути суцільним чи вибіркоким.

Вхідний контроль – контроль споживачем сировини, матеріалів, комплектуючих і готової продукції, які надходять до нього від інших підприємств чи інших дільниць виробництва.



**Операційний контроль** – контроль продукції (технологічного процесу), що виконується після завершення певної виробничої операції. Найбільш прогресивним видом операційного контролю є активний контроль, який здійснюється безпосередньо під час виготовлення продукції вимірювальними приладами, що вмонтовані в технологічне обладнання.

**Прийомний контроль** – це контроль готової продукції після завершення всіх технологічних операцій з її виготовлення, за результатами якого приймається рішення про придатність продукції до постачання чи використання.

**Суцільний** – контроль, при якому рішення про якість продукції приймається за результатами перевірки кожної одиниці контрольованої продукції. В деяких випадках його застосування на виробництві виявляється економічно нераціональним чи неможливим (якщо випробування проводяться руйнівним методом).

При **вибірковому контролі** рішення про якість продукції приймається за результатами перевірки одної чи декількох вибірок з партії. Для аналізу результатів вибіркового контролю застосовуються методи математичної статистики, що дозволяють, базуючись на обмеженій кількості перевірок, з потрібним ступенем точності стверджувати про якість партії виробів чи стану технологічного процесу.

### **2.4.3. Система розробки і впровадження продукції на виробництво [ 2 ]**

Основне призначення Система розробки і впровадження продукції на виробництво (СРПВ) полягає у встановленні організаційно-технічних принципів і порядку проведення робіт для створення продукції високої якості, запобігання впровадження на виробництво застарілої, неефективної і невідпрацьованої продукції, скорочення термінів розробки і освоєння та своєчасному оновленню продукції.

Стандарти СРПВ регламентують:

- порядок проведення науково-дослідних і експериментально-конструкторських та технологічних робіт, патентних досліджень;
- вимоги до продукції, яку належить розробити і впровадити, порядок запровадження, контролю і підтримання цих вимог на всіх стадіях життєвого циклу продукції та зняття її з виробництва;



- порядок впровадження продукції на виробництво, здійснення авторського нагляду при впровадженні і виробництві продукції;
- вимоги до зразків-еталонів товарів, правила їх узгодження і затвердження;
- порядок зняття застарілої продукції з виробництва з урахуванням інтересів споживачів і заміна такої продукції сучасною.

Стандарти системи СРПВ позначаються перед номером стандарту цифрою 15.

## **2.5. Правове регулювання стандартизації**

### **2.5.1. Організаційна система стандартизації**

*[1, 2, 6, 19]*

Стандартизація – діяльність, що полягає у встановленні положень для загального і багаторазового застосування щодо наявних чи можливих завдань з метою досягнення оптимального ступеня впорядкування у певній сфері, результатом якої є підвищення ступеня відповідності продукції, процесів та послуг їх функціональному призначенню, усуненню бар'єрів у торгівлі і сприянню науково-технічному співробітництву.

Процес стандартизації включає в себе встановлення і використання спеціальних документів – стандартів. Стандарт – нормативно-технічний документ, що встановлює комплекс технічних правил та вимог до об'єкта стандартизації, які затверджуються компетентним органом.

Об'єктами стандартизації є відповідні види продукції, норми, вимоги, методи, терміни, позначення тощо, які можуть часто використовуватися в науці, техніці, будівництві. У галузі будівництва стандартизації підлягають методи розрахунку та проектування конструкцій будівель і споруд, вимоги до матеріалів та виробів, допуски на стадії монтажу конструкцій, методи випробувань та проведення вимірювань, методи представлення та обробки отриманих даних тощо.

Правові та організаційні засади стандартизації в Україні встановлює закон України „Про стандартизацію”, прийнятий Верховною Радою і підписаний Президентом України 17 травня 2001 р.

Реалізацією державної політики в галузі стандартизації, державний нагляд за додержанням вимог стандартів та інших



нормативних документів в Україні здійснюють Державний комітет України із стандартизації, метрології та сертифікації (Держстандарт України) і Державний комітет будівництва, архітектури й житлової політики України (Держбуд України). Вони організовують фундаментальні дослідження у сфері стандартизації, проводять видавничу діяльність і підготовку кадрів.

23 лютого 1947 року почала відлік своєї історії Міжнародна організація зі стандартизації (ISO). 1 січня 1993 року Україна була прийнята до ISO як повноправний член організації. Основна мета ISO – забезпечення розвитку стандартизації та суміжної з нею діяльності в усьому світі для полегшення міжнародного обміну товарами і послугами, а також розвитку співробітництва у сфері інтелектуальної, науково-технічної й економічної діяльності. Органами ISO є: Генеральна Асамблея, Рада, Комітети Ради, технічні комітети і Центральний секретаріат.

Загальнотехнічні і організаційно-методичні стандарти об'єднують в системи стандартів для нормативного забезпечення рішень технічних і соціально-економічних завдань в певній галузі діяльності. На сьогодні діє понад 40 таких міждержавних систем. Найважливішими з них є: державна система стандартизації (ДСТУ), єдина система конструкторської документації (ЄСКД), єдина система технологічної документації (ЄСТД), державна система забезпечення єдності вимірювань (ДСВ), система стандартів безпеки праці (ССБП), єдина система технологічної підготовки виробництва (ЄСТПВ), система розробки і впровадження продукції на виробництво (СРПВ). В Україні діє уніфікована система проектної документації, що регламентується державними стандартами – система проектної документації для будівництва (СПДБ), вона забезпечує єдність складу, оформлення, комплектності проектної документації тощо.

### **2.5.2. Категорії та види стандартів**

*[1, 2, 6, 19]*

Нормативні документи з стандартизації розподіляють за такими категоріями залежно від галузі їх дії:

- міждержавні стандарти (ГОСТ);
- державні стандарти України (ДСТУ);
- галузеві стандарти України (ГСТУ);



- стандарти науково-технічних та інженерних товариств і спілок України (СТТУ);
- технічні умови України (ТУУ);
- стандарти підприємств (СТП).

Відповідно до специфікації об'єкта стандартизації, складу та змісту вимог, встановлених до нього, згідно ДСТУ 1.1-2001 розробляють стандарти таких видів: основоположні, термінологічні, стандарти на методи контролю (випробувань, вимірювань, аналізу), стандарти на продукцію, стандарти на процеси, стандарти на послугу, стандарти на сумісність, стандарти загальних технічних умов.

В будівництві застосовуються наступні види стандартів:

- стандарти технічних умов, які містять всебічні вимоги до продукції при її виготовленні, поставках та експлуатації;
- стандарти технічних умов, що нормують показники якості, надійності та довговічності продукції, встановлюють строки служб;
- стандарти методів випробувань, які містять вимоги про порядок відбору проб чи зразків, методи випробувань матеріалів і виробів, що використовуються для оцінки якості продукції. В стандартах на методи випробувань містяться також вимоги до вимірювальних приладів, інструментів та установок, що використовуються для контролю показників якості продукції;
- стандарти методів та засобів повірки вимірювальних приладів, що встановлюють методику повірки і забезпечують необхідну точність і єдність вимірювань;
- стандарти правил приймання, маркування, упаковки, транспортування та зберігання виробів.

У галузі будівництва спільно зі стандартами діють „Строительные нормы и правила, (СНиП) та „Державні будівельні норми” (ДБН). В Україні чинні також галузеві стандарти (ОСТ) і технічні умови (ТУ) колишнього СРСР, затверджені до 1 січня 1992 р., термін чинності яких не закінчився і якщо вони не суперечать чинному законодавству України. Відмітимо, що ДБН і СНиП встановлюють вимоги до всієї будівельної продукції і містять норми будівельного проектування, а ГОСТ – вимоги до конкретних будівельних матеріалів і виробів; методів випробувань матеріалів і конструкцій; вимоги до вимірювань, обробки та представлення результатів тощо.





Міжнародною організацією зі стандартизації (ISO) розроблені міжнародні стандарти „Креслення будівельні”. Вони вміщені в стандарти СПДБ, але можуть використовуватись і самостійно.

### **2.5.3. Порядок розроблення стандартів, впровадження, нагляд за їх додержанням** *[1, 2, 19]*

Розробленням державних стандартів України займаються технічні комітети із стандартизації, міністерства або організації, що мають у відповідній галузі необхідний науково-технічний потенціал.

Стандарт вважається впровадженим, якщо до встановленої дати надання чинності необхідна технічна документація відповідає вимогам стандарту, а продукція випускається відповідно до цієї документації. Держстандарт України та його територіальні органи здійснюють державний нагляд за вчасним впровадженням і за додержанням вимог стандарту.

Перевірку чинних стандартів здійснюють не менше від одного разу за п'ять років для забезпечення їх відповідності чинному законодавству України, потребам населення і держави, рівню розвитку науки і техніки, а також для встановлення ступеня їх відповідності вимогам міжнародних стандартів.

Скасування стандарту здійснює орган, що затвердив цей стандарт, у разі припинення випуску продукції (використання процесу, надання послуг), регламентованої цим стандартом, а також у разі розроблення замість нього іншого нормативного документа.

## **2.6. Економічна ефективність стандартизації** *[1, 2, 6, 19]*

Стандартизація характеризується високою економічною ефективністю. Економічна ефективність є наслідком економії грошових, матеріальних, людських та інших ресурсів, яка відбувається за рахунок впровадження нових науково-технічних досягнень і визначається тим, що стандартизація дозволяє:

- привести показники якості продукції у відповідність з досягненнями науки і техніки;
- комплексно ув'язати властивості сировини, матеріалів, напівфабрикатів і готової продукції;



- скоротити терміни, трудомісткість розробки і освоєння виробництва нових видів продукції;
- впорядкувати системи документації і підвищити рівень спеціалізації виробництва;
- здійснити нагляд за впровадженням і додержанням стандартів.

Величину економічної ефективності від впровадження стандарту можна подати у вигляді формули:  $\varepsilon = \varepsilon_{np} + \varepsilon_e + \varepsilon_{ек}$ , де  $\varepsilon_{np}$  – економічна ефективність стандартизації на стадії проектування;  $\varepsilon_e$  – економічна ефективність при виготовленні;  $\varepsilon_{ек}$  – економічна ефективність при експлуатації.

З іншого боку роботи з стандартизації вимагають затрат на розробку стандартів і його впровадження:  $B = B_p + B_e$ , де  $B_p$  – затрати на розробку стандартів;  $B_e$  – затрати на впровадження стандартів.

Ступінь ефективності стандартизації оцінюється відношенням економії до затрат, що виражається коефіцієнтом:  $\kappa = \varepsilon / B$ .

При проведенні робіт зі стандартизації критерії економічної ефективності повинні бути основними, бо визначають напрямок цих робіт і рівень показників, що закладаються в стандарти. Тому визначення величини економічного ефекту повинно проводитися, починаючи з початкової стадії і супроводжувати весь процес розробки стандарту для вибору і встановлення оптимального рівня стандартизованих показників.

### **3. Питання для самоперевірки та контролю засвоєних знань**

*Змістовий модуль 1 Основи стандартизації. Метрологія  
Метрологічне забезпечення виробництва*

1. Метрологія як наука, задачі метрології. Аспекти метрології.
2. Дайте означення метрологічного забезпечення. Що є його основою?
3. Що таке єдність та точність вимірювання? Від чого вони залежать?
4. Дайте означення вимірювання та одиниці фізичної величини. Істинне та дійсне значення фізичної величини.
5. Система фізичних величин. Основні та похідні одиниці фізичних величин. Кратні і дільні одиниці фізичних величин.
6. Міжнародна система одиниць SI.



7. Назвіть основні правила написання позначень одиниць.
8. Дайте визначення еталону. Класифікація еталонів.
9. Дайте означення вимірювального пристрою і приладу, а також засобу вимірювання.
10. Як класифікують засоби вимірювання?
11. Назвіть і охарактеризуйте основні методи вимірювання. Як класифікують вимірювання за способом отримання результатів?
12. Як класифікують і з чого складаються вимірювальні прилади? Назвіть основні метрологічні характеристики вимірювальних приладів.
13. Які фактори необхідно враховувати при виборі засобу вимірювання?
14. Метрологічна перевірка засобів вимірювання. Види перевірок.
15. Класифікація приладів для вимірювання в інженерній практиці. Їх переваги та недоліки.
16. Прилади для вимірювання лінійних і кутових переміщень та деформацій інженерних конструкцій. Їх принцип роботи, кінематична схема, переваги та недоліки, основні метрологічні характеристики. Обробка експериментальних даних по них.
17. Принцип дії тензорезисторів, їх переваги та недоліки. Види тензорезисторів.
18. Мостова вимірювальна схема тензорезисторів.
19. Руйнівні та неруйнівні методи дослідження і контролю якості будівельних конструкцій. Їх переваги та недоліки.
20. Класифікація неруйнівних методів дослідження.
21. Механічні методи дослідження, їх призначення, принцип дії, переваги та недоліки.
22. Фізичні методи дослідження, їх призначення, принцип дії, переваги та недоліки.
23. Методи проникаючих середовищ в дефектоскопії будівельних матеріалів та конструкцій.

*Законодавча база метрології*

24. Структура метрологічної служби України.
25. Назвіть основні законодавчі акти, що є базою метрології.
26. Назвіть міжнародні організації з метрології, мета їх роботи і основні задачі.

*Статистичний аналіз і оцінка похибок вимірювання*



27. Яким чином здійснюється статистична обробка результатів вимірювання?
28. Як визначається середнє арифметичне значення величини, середнє квадратичне відхилення, коефіцієнти варіації та кореляції?
29. Рівноточні та нерівноточні вимірювання. Їх сутність.
30. Дайте визначення похибки вимірювання. Як вони класифікуються?
31. Абсолютна та відносна похибки вимірювання.
32. Випадкові та систематичні похибки, в чому їх сутність.
33. Чим обумовлені суб'єктивні похибки вимірювання?  
*Змістовий модуль 2 Управління якістю продукції та ефективність стандартизації*  
*Елементи системи якості, система розробки і постановки продукції на виробництво*
34. Дайте означення якості продукції. Назвіть фактори, що впливають на якість продукції.
35. Що являє собою контроль якості будівельної продукції?
36. В чому полягає нормоконтроль якості продукції?
37. Види контролю якості продукції на підприємствах.
38. Вкажіть призначення та зміст Системи розробки і впровадження продукції на виробництво (СРПВ).  
*Правове регулювання стандартизації*
39. Дайте визначення стандарту і стандартизації. Що є об'єктом стандартизації?
40. Яка організаційна система стандартизації в Україні?
41. Системи стандартів.
42. Назвіть категорії стандартів і їх зміст.
43. Назвіть основні види стандартів.
44. Який порядок розроблення та впровадження стандартів в Україні?  
*Економічна ефективність стандартизації*
45. В чому полягає економічна ефективність стандартизації?
46. Як оцінюється економічна ефективність стандартизації?



#### 4. Методичні рекомендації до самостійної роботи

Більше половини часу, відведеного навчальним планом на вивчення студентами дисципліни "Метрологія і стандартизація", передбачено на самостійну роботу. Повноцінне та цілісне сприйняття теоретичного матеріалу дисципліни неможливе без його обговорення і практичного засвоєння на лабораторних заняттях, тому окремі теми курсу детально розглядаються на передбачених планом лабораторних заняттях. В той же час, у зв'язку з недостатністю аудиторного часу для повного охоплення всіх тем, самостійна робота набуває особливо важливого значення.

Самостійна робота включає такі види робіт:

- підготовку студентів до аудиторних занять: вивчення за конспектами лекцій, підручниками та посібниками програмного матеріалу прочитаного на лекціях, а також вивчення розділів програми, що не включені в лекційний курс за браком часу;
- виконання студентами індивідуальних завдань: контрольної роботи – для заочної форми навчання, оформлення звіту з лабораторних робіт – для денної форми навчання під керівництвом і контролем викладача;
- підготовка до модульних контролів.

Після вивчення відповідного розділу програми дисципліни за конспектом лекцій та рекомендованою літературою, необхідно в першу чергу дати відповіді на "Питання для самоперевірки та контролю засвоєних знань", що наведені в розділі 3 даного комплексу, а також на контрольні запитання до лабораторних робіт (див. розділ 5).

Студенти денної та заочної форми навчання готують звіт за результатами проведених лабораторних робіт. Робота оформлюється на папері формату А-4 у вигляді рукописного або друкованого тексту з відповідними схемами, таблицями, рисунками і графіками. Зміст лабораторних робіт та порядок їх виконання наведені в розділі 5 даного комплексу.

Студенти заочної форми навчання виконують контрольну роботу з курсу, дані для виконання якої приймаються за шифром залікової книжки студента по МВ 051-115, або ж інтерактивного комплексу. Робота оформлюється на папері формату А-4 у вигляді рукописного або друкованого тексту з відповідними схемами, таблицями, рисунками і графіками. Контрольна робота складається:



**Завдання №1.** Аналіз і обробка результатів вимірювань швидкості ультразвуку в бетоні різної міцності. Вивід аналітичного рівняння зв'язку між міцністю бетону і швидкістю ультразвуку за дослідними даними. Визначення статистичних характеристик збіжності. Побудова графіку з дослідними даними і прямою за рівнянням регресії.

**Завдання №2.** Описати принцип дії приладу чи методу визначення фізико-механічних характеристик будівельних матеріалів, виробів та конструкцій.

## **5. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт**

### **5.1. Лабораторна робота №1. Прилади для вимірювання лінійних переміщень і деформацій матеріалів та контролю якості будівельної продукції**

#### ***Мета та задачі роботи***

Метою роботи є вивчення методів та засобів вимірювань, які використовуються в інженерному експерименті та для контролю якості будівельної продукції.

В лабораторній роботі необхідно вирішити наступні задачі:

- ознайомитися з методами та засобами вимірювання лінійних і кутових переміщень, деформацій та міцності матеріалів; визначення положення, діаметра арматури та величини захисного шару бетону; величини попереднього напруження арматури;
- вивчити роботу вимірювальних приладів, які використовуються при випробуванні матеріалів і конструкцій, а також порядок обробки результатів вимірювання.

#### ***Обладнання, прилади та документація***

Для виконання лабораторної роботи необхідно мати такі вимірювальні прилади: прогиноміри 6ПАО та Максимова; індикатори ІЧ-10М та 1МИГ (2МИГ); тензометри Аістова та Гугенбергера; тензорезистори з автоматичним реєструючим приладом типу СИИТ-3; мікроскоп; клиноміри; еталонний молоток Кашкарова; прес-насос ГПНВ-5; електромагнітний прилад ИЗС-10Н; частотний прилад ЭИН-МГ2; каталог вимірювальних приладів або інструкцію до їх користування.

#### ***Порядок виконання роботи***

1. За допомогою каталогів чи відповідних інструкцій ознайомитись



3. призначенням, будовою та принципом дії зазначених вимірювальних приладів.

2. Навчитися виконувати обробку результатів вимірювання за вказаними приладами.

### ***Звіт до роботи***

- вказати мету та задачі лабораторної роботи;
- навести кінематичну схему, дати метрологічну характеристику та вказати порядок підготовки і роботи з вимірювальними приладами, за допомогою яких визначаються лінійні переміщення, деформації матеріалів та контролюється якість будівельних конструкцій;
- навести порядок обробки результатів вимірювання за приладами.

### ***Контрольні запитання***

1. Руйнівні та неруйнівні методи контролю якості будівельної продукції. Їх класифікація.
2. Методи та засоби вимірювань в інженерній практиці.
3. Класифікація вимірювальних приладів за призначенням та принципом дії.
4. Основні метрологічні характеристики вимірювальних приладів.
5. Метод пластичних деформацій при визначенні міцності будівельних матеріалів.
6. Метод місцевих руйнувань при визначенні міцності будівельних матеріалів.
7. В чому полягає індукційний метод визначення якості будівельної продукції?
8. Яким методом визначається величина попереднього напруження арматури?
9. Прилади для визначення лінійних і кутових переміщень. Їх будова, порядок роботи з ними, обробка даних.
10. Прилади для визначення деформацій. Їх будова, порядок роботи з ними, обробка даних.

## **5.2. 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.

В лабораторній роботі необхідно вирішити наступні задачі:



- вивчити найпоширеніші неруйнівні методи дослідження будівельних конструкцій;
- вивчити методи та засоби контролю величини попереднього напруження арматури під час виготовлення будівельних конструкцій;
- для залізобетонної конструкції за допомогою приладу електромагнітної дії визначити товщину захисного шару бетону, положення та діаметр арматури.

### **Обладнання, прилади та документація**

Для виконання лабораторної роботи необхідні: дослідна залізобетонна конструкція; металева опалубка з арматурним стержнем, натягнутим до контрольного напруження; прилад ЭИН-МГ2; електромагнітний прилад ИЗС-10Н; рулетка та лінійка; штангенциркуль; каталог вимірювальних приладів або інструкцію до їх користування.

### **Порядок виконання роботи**

1. Використовуючи каталоги чи інструкції ознайомитися з порядком підготовки до вимірювань та роботою приладів ЭИН-МГ2 і ИЗС-10Н.
2. За допомогою приладу частотної дії ЭИН-МГ2 визначити величину попереднього напруження арматурного стержня, дані занести в таблицю 11.
3. За допомогою електромагнітного приладу ИЗС-10Н визначити в залізобетонній конструкції положення і діаметр арматури, а також товщину захисного шару бетону. Результати занести до таблиці 12.
4. Провести обробку результатів вимірювань, зробити висновки.

### **Обробка результатів вимірювань**

Таблиця 11

Результати вимірювань величини попереднього напруження арматурних стержнів

Характеристика стержня		№ вимірювання	Напруження в арматурі, МПа	
Клас та діаметр, мм	Робоча довжина, мм		$\sigma_{sp, oi}$	$\sigma_{sp}$
		1		
		...		
		n		





Результати дослідження приладом ИЗС-10Н

Тип арматури	Діаметр стержнів за шкалою приладу, мм	Відліки		Різниця відліків	Товщина прокладки, мм	Висновок
		без прокладки	з прокладкою			
	4					
	5					
	6					
	8					
	10					
	12					
	14					
	16					
	18					
	20-25					
	28-32					

**Звіт до роботи**

- вказати мету та задачі лабораторної роботи;
- навести результати вимірювання величини попереднього напруження арматурних стержнів;
- навести результати вимірювання величини захисного шару бетону, положення та діаметра арматурних стержнів;
- навести висновки по роботі.

**Контрольні запитання**

1. Фізичні методи дослідження та контролю якості будівельних матеріалів і конструкцій.
2. Призначення, порядок підготовки та робота з приладом ЭИН-МГ2.
3. Призначення, порядок підготовки та робота з приладом ИЗС-10Н.
4. Магнітні методи неруйнівного контролю якості будівельної продукції.
5. На якому етапі виготовлення попередньо напружених залізобетонних конструкцій відбувається контроль попереднього напруження арматури?



### **5.3. Лабораторна робота №3. Визначення фізико-механічних характеристик матеріалів неруйнівними та руйнівними методами**

#### ***Мета та задачі роботи***

Метою роботи є вивчення основних методів та засобів визначення фізико-механічних характеристик будівельних матеріалів.

У лабораторній роботі необхідно вирішити наступні задачі:

- вивчити найпоширеніші неруйнівні та руйнівні методи дослідження будівельних матеріалів і конструкцій;
- механічними методами неруйнівного контролю якості визначити міцнісні характеристики бетону;
- за допомогою руйнівних методів визначити фактичну міцність важкого бетону кубових зразків;
- застосовуючи методи руйнівного контролю якості визначити міцнісні та деформативні характеристики важкого бетону призових зразків.

#### ***Обладнання, прилади та документація***

Для виконання лабораторної роботи необхідно мати такі вимірювальні прилади та обладнання: металеву лінійку; індикатори 1МИГ (2МИГ); еталонний молоток Кашкарова; гідравлічний прес та дослідні зразки вихідних матеріалів (куби та призми) для контрольних випробувань; каталог вимірювальних приладів або інструкцію до їх користування.

#### ***Порядок виконання роботи***

1. За допомогою каталогів чи відповідних інструкцій ознайомитись з призначенням, будовою та принципом дії зазначених вимірювальних приладів і пресового обладнання. Ознайомитися з основними неруйнівними та руйнівними методами дослідження міцності будівельних конструкцій.
2. Визначити міцність бетону зразків за допомогою еталонного молотка Кашкарова, результати дослідження занести в табл. 13.
3. Визначити фактичну міцність бетону шляхом випробування у пресі контрольних зразків (кубів та призм). Результати випробування занести до таблиці 14.

4. За результатами випробування призмових зразків визначити деформативні характеристики бетону. Результати випробування занести до таблиці 15.
5. Провести обробку результатів вимірювань. Побудувати графік залежності відносної деформації бетону від напруження в призмових зразках.
6. Зробити порівняльні висновки щодо визначення міцності бетону різними методами та з використанням різних контрольних зразків.

### Обробка результатів вимірювань

Таблиця 13

Результати дослідження міцності бетону молотком Кашкарова

№ зони	№ удару	Відбитки		$\frac{\sum d_b}{\sum d_s}$	Міцність в зоні $R_i$ , МПа	Розходження $R_i - \bar{R}$	$(R_i - \bar{R})^2$
		на бетоні $d_b$ , мм	на сталі $d_s$ , мм				
1	1						
	...						
	5						
	$\Sigma$						
n	1						
	...						
	5						
	$\Sigma$						

Таблиця 14

Результати визначення фактичної міцності бетону

№ з/п	Розміри зразків $a*b*h$ , см	Площа поперечного перерізу $A$ , см <sup>2</sup>	Руйнівне навантаження $P_R$ , кН	Міцність матеріалу $R_i$ , МПа	Середня міцність $\bar{R}_i$ , МПа	Розходження
1						
...						
n						



Результати випробування призмових зразків на осьовий тиск

№ ступеня	Навантаження P, кН	Напруження $\sigma = P/A$ , МПа	Відліки за індикаторами				Різниця відліків за індикаторами				Середнє значення різниці відліків	Абсолютна деформація, мм	Відносна ( $\epsilon$ ) деформація бетону
			I-1	I-2	I-3	I-4	I-1	I-2	I-3	I-4			
1	0	0					0	0	0	0	0	0	0
2													
3													
4													
5													
...													
n													

**Звіт до роботи**

- вказати мету та задачі лабораторної роботи;
- навести результати всіх вимірювань та випробувань, виконати обробку дослідних даних (табл. 13-15);
- побудувати графік залежності відносної деформації бетону від напруження в призмових зразках;
- навести висновки по роботі.

**Контрольні запитання**

1. В чому переваги та недоліки руйнівних і неруйнівних методів дослідження? Область їх застосування.
2. При якому з методів дослідження отримаємо фактичні показники міцності конструкцій будівель і споруд?
3. Суть випробування неруйнівними механічними методами.
4. Призначення, будова, порядок підготовки до вимірювань та робота з еталонним молоток Кашкарова.
5. Дайте визначення класу бетону.
6. Кубова та призмova міцність бетону, методика їх визначення та застосування в інженерній практиці.
7. Абсолютна та відносна деформація матеріалу, методика визначення та застосування.
8. Індикатори годинникового типу 1МИГ (2МИГ). Призначення, переваги та недоліки, будова, принцип роботи, методика обробки експериментальних даних.



## **5.4. Лабораторна робота №4. Аналіз і обробка результатів вимірювань швидкості ультразвуку в бетоні різної міцності**

### ***Мета та задачі роботи***

Мета роботи – набути навички з обробки експериментальних даних на основі попередніх вимірювань та навчитися виконувати необхідні розрахунки для узагальнення результатів досліджень у вигляді обґрунтованих висновків.

Вихідні дані для роботи студенти вибирають за шифром залікової книжки по табл. 16 і 17. Теоретичний матеріал, що до визначення середніх величин, характеристики варіації та основ кореляційного аналізу, а також приклад розрахунку, наведені в розділі 6 даного комплексу та методичних вказівках 051-115 до виконання контрольної роботи з дисципліни „Метрологія і стандартизація”.

## **6. Завдання та методичні рекомендації до виконання контрольної роботи**

### ***Завдання до виконання роботи***

Кожний студент заочної форми навчання індивідуально виконує контрольне завдання, варіант якого він вибирає за двома останніми цифрами шифру залікової книжки по таблиці 16. Контрольна робота складається з двох завдань.

**Завдання 1.** 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 17.

Потрібно вивести лінію рівняння регресії  $R = f(V)$ ; встановити збіжність значень міцності бетону, отриманих за рівнянням регресії з дослідними даними. Побудувати тарувальну пряму  $R = f(V)$ .

**Завдання 2.** Описати будову та принцип дії приладу чи методу визначення фізико-механічних властивостей будівельних матеріалів та конструкцій. Вибір варіанту проводять за таблицею 16. Завдання вибирають за таблицею 18.



Таблиця до вибору варіанта 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 17

Дані до виконання завдання №1

№ варіанту	Параметри	Числові значення параметрів									
1	$V$ (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	
2	$V$ (км/с)	3,59	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	
3	$V$ (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	
4	$V$ (км/с)	4,25	4,37	4,46	4,58	4,67	4,76	4,89	4,98	5,09	
	$R$ (МПа)	26,32	26,91	30,08	32,03	35,14	36,21	41,31	41,05	44,50	
5	$V$ (км/с)	4,36	4,47	4,59	4,66	4,77	4,85	4,98	5,06	5,16	
	$R$ (МПа)	28,13	29,69	33,93	33,08	37,10	38,56	42,55	41,87	46,85	
6	$V$ (км/с)	4,49	4,57	4,66	4,79	4,87	5,00	5,09	5,16	5,28	
	$R$ (МПа)	32,45	32,86	35,74	37,53	41,16	40,89	46,07	44,82	49,90	
7	$V$ (км/с)	4,56	4,69	4,77	4,88	4,99	5,06	5,18	5,29	5,37	
	$R$ (МПа)	34,45	35,21	38,08	39,59	43,74	44,30	46,88	47,34	51,97	
8	$V$ (км/с)	4,65	4,73	4,86	4,94	5,06	5,13	5,24	5,35	5,47	
	$R$ (МПа)	36,08	36,19	40,93	40,55	44,41	44,28	47,51	48,19	53,06	
9	$V$ (км/с)	4,75	4,84	4,96	5,05	5,16	5,24	5,34	5,45	5,56	
	$R$ (МПа)	37,29	37,99	42,44	42,02	46,33	46,92	51,29	51,73	55,09	
10	$V$ (км/с)	4,87	4,96	5,07	5,16	5,25	5,36	5,49	5,58	5,67	
	$R$ (МПа)	41,14	40,84	44,48	44,59	49,17	49,24	54,94	53,85	60,14	
11	$V$ (км/с)	4,87	4,96	5,08	5,16	5,27	5,35	5,49	5,56	5,64	
	$R$ (МПа)	41,98	40,63	46,90	44,39	49,08	50,35	54,25	54,17	57,95	



продовження табл. 17.

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



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





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



продовження табл. 17

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

Таблиця 18

Дані до виконання завдання №2

№ з/п	Номер варіанту	Прилад чи метод, що необхідно детально описати в контрольній роботі
1	2	3
1	1, 26, 51, 76	Індикатори годинникового типу: ІЧ-10м, 1МИГ, 2МИГ.
2	2, 27, 52, 77	Прогиномір Аїстова-Овчинникова БПАО.
3	3, 28, 53, 78	Тензометр Гугенбергера.
4	4, 29, 54, 79	Тензометр Аїстова.
5	5, 30, 55, 80	Прогиномір Максимова.
6	6, 31, 56, 81	Прогиномір важільної конструкції.
7	7, 32, 57, 82	Клиномір Стопані.



8	8, 33, 58, 83	Важільний клиномір.
9	9, 34, 59, 84	Мостова вимірювальна схема тензорезисторних перетворювачів. Види тензорезисторів.
10	10,35, 60,85	Струнні тензометри.
11	11,36,61,86	Індикатори годинникового типу: ІЧ-10м, 1МИГ, 2МИГ.
12	12,37,62,87	Тензометр Гугенбергера.
13	13,38,63,88	Метод пластичних деформацій. Прилади статичної дії.
14	14,39,64,89	Метод пластичних деформацій. Прилади динамічної дії.
15	15,40,65,90	Метод пружного відскоку.
16	16,41,66,91	Метод місцевих руйнувань.
17	17,42,67,92	Ультразвуковий імпульсний метод.
18	18,43,68,93	Акустичні методи. Ударний метод.
19	19,44,69,94	Акустичні методи. Імпульсний ехо-метод.
20	20,45,70,95	Акустичні методи. Тіньовий метод.
21	21,46,71,96	Радіаційні методи. Рентгенівський метод.
22	22,47,72,97	Радіаційні методи. Гама-метод.
23	23,48,73,98	Радіаційні методи. Радіографічний метод.
24	24,49,74,99	Магнітні та електромагнітні методи в дефектоскопії.
25	25,50,75,100	Дефектоскопія за допомогою методів проникаючих середовищ.

***Теоретична частина до завдання №1. Визначення середніх величин, характеристики варіації та основи кореляційного аналізу***

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

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

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}, \quad (6.1)$$

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  $x - \bar{x}$ .

Середнє лінійне відхилення для не згрупованих варіаційних рядів визначається за формулою



$$l = \frac{\sum |x - \bar{x}|}{n}. \quad (6.2)$$

Середнє квадратичне відхилення

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n}}. \quad (6.3)$$

Коефіцієнт варіації

$$V\% = \frac{\sigma}{x}. \quad (6.4)$$

Залежність між фізичними величинами може бути функціональною чи кореляційною. Функціональна залежність – це така залежність, коли кожній окремій величині відповідає жорстко 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 для зворотної 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



$$r_{xy} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sigma_x \sigma_y}, \quad (6.5)$$

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

$\sigma_x \sigma_y$  – середнє квадратичне відхилення змінних  $x, y$ .

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}}; \quad (6.6) \quad \sigma_y = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n}}. \quad (6.7)$$

Помилку коефіцієнта кореляції знаходять за формулою

$$m_r = \frac{1 - r^2}{\sqrt{n}}, \quad (6.8)$$

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

$$y = a \pm bx, \quad (6.9)$$

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

$$b = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}; \quad (6.10)$$

$$a = \frac{\sum y_i}{n} - b \frac{\sum x_i}{n}. \quad (6.11)$$

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

Також визначається помилка кореляційного відношення  $m_\eta$  за формулою:



$$m_{\eta} = \frac{1 - \eta^2}{\sqrt{n}} \quad (6.12)$$

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

$$\frac{n}{m_{\eta}} \geq 4 \quad (6.13)$$

### Приклад розрахунку завдання №1

Таблиця 19

Вихідні дані для виконання завдання

$V$ (км/с)	$x_i$	4,83	4,92	5,04	5,12	5,23	5,31	5,45	5,52	5,60
$R$ (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 20. За даними таблиці визначаємо 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 20

До визначення коефіцієнта кореляції

$y_i$	$x_i$	$y_i - \bar{y}$	$x_i - \bar{x}$	$(y_i - \bar{y})^2$	$(x_i - \bar{x})^2$	$y_i^2$	$x_i^2$	$x_i \cdot y_i$	$(x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})$
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
$\Sigma$ 420,85	$\Sigma$ 47,02	-	-	$\Sigma$ 278,26	$\Sigma$ 0,568	$\Sigma$ 19957,68	$\Sigma$ 246,23	$\Sigma$ 2211,14	$\Sigma$ 11,103



### 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:

$$r_{xy} = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{n \sigma_x \sigma_y} = \frac{1,103}{9 \cdot 5,56 \cdot 0,251} = 0,883$$

Помилка коефіцієнта кореляції

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

Визначаємо відношення

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

Так як  $r/m_r \approx 12 > 4$ , 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:

$$b = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} = \frac{9 \cdot 221 \, 114 - 42085 \cdot 47,02}{9 \cdot 24626 - 47,02^2} = 2,156;$$

$$a = \frac{\sum y_i}{n} - b \frac{\sum x_i}{n} = \frac{420,85}{9} - 2,156 \cdot \frac{47,02}{9} = -65,88.$$

Отже, отримуємо рівняння регресії:

$$y = a + bx = -65,88 + 2,156x, \text{ або}$$

$$R = -65,88 + 2,156x.$$



Дослідні дані та пряма регресії наведені на рис. 33.

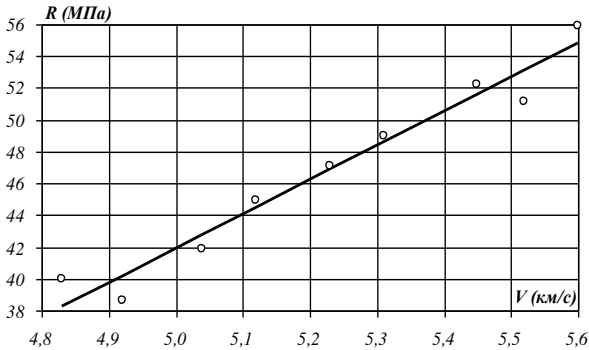


Рис. 33. Дослідні дані та пряма за рівнянням регресії

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  $R_D$  – дані за табл. 19;  $R_p$  – дані за одержаною формулою регресії при  $x_i = V_i$ ;  $V_i$  – дані за табл. 19.

Результати обчислень заносимо в таблицю 21.

Таблиця 21

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
$R_D$ (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

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





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

Одержані результати заносимо в таблицю 22.

Таблиця 22

Розрахункові дані

$X_i = R_{di} / R_{pi}$	$X_i - 1$	$(X_i - 1)^2$
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

$$\sum (X_i - 1)^2 = 0,00605$$

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

Коефіцієнт варіації:

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

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

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

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



## 7. Список літературних джерел

1. Антонов Г.А. Основы стандартизации и управления качеством продукции. Части 1,2,3. – СПб.: Изд-во СПбУЭФ, 1995.
2. Бичківський Р.В., Столярчук П.Г., Гамула П.Р. Метрологія, стандартизація, управління якістю і сертифікація: Підручник. – Львів: Видавництво Національного університету „Львівська політехніка”, 2002. – 560 с.
3. Бичківський Р.В., Столярчук П.Г., Зорій В.І. Основи метрологічного забезпечення: Підручник. – Львів: ДУ „Львівська політехніка”, 1999. – 180 с.
4. Володарський Є.Т., Кухарчук В.В., Поджаренко В.О. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю. Навч. посіб. – Вінниця: ВДТУ, 2001. – 219 с.
5. Долидзе Д.Е. Испытание конструкций и сооружений: Учеб. пособие. – М.: Высш. школа, 1975. – 252 с.
6. ДСТУ 1.0-93 Державна система стандартизації України. Основні положення.
7. ДСТУ ISO 9000-2001. Системи управління якістю. Основні положення та словник.
8. ДСТУ 2681-94 Метрологія. Терміни та визначення.
9. ДСТУ 2682-94 Метрологія. Метрологічне забезпечення. Основні положення.
10. ДСТУ 2682-94 Метрологія. Повірка засобів вимірювань. Організація і порядок проведення.
11. ДСТУ 3651.0-97 Метрологія. Одиниці фізичних величин. Основні одиниці фізичних величин. Міжнародна система одиниць. Основні положення, назви та позначення.
12. ДСТУ 3410-96 Система сертифікації УкрСЕПРО. Основні положення.
13. ДСТУ Б В.2.6-4-95 Магнітний метод визначення товщини захисного шару бетону і розташування арматури. Держбуд України, 1993.
14. Закон України №113/98 ВР від 11.02.1998 р. „Про метрологію та метрологічну діяльність”.
15. Закон України. Про стандартизацію. №2408-III ВР від 17 травня 2001 р.

16. Золотухин Ю.Д. Испытание строительных конструкций: Учеб. пособие для вузов по спец. ПЦБ. – Мн.: Высш. школа, 1983. – 208 с.
17. Копанец Е.Г. Неразрушающие методы контроля качества в строительстве: Учеб. пособие. – К.: УМК ВО, 1990. – 120 с.
18. Лучко Й.Й., Коваль П.М., Дем'ян М.Л. Методи дослідження та випробування будівельних матеріалів і конструкцій / НАН України: Фіз.-мех. ін-т ім. Г.В.Карпенка. – Львів: Каменярь, 2001. – 436 с.
19. Метрологія, стандартизація, контроль якості та випробування в будівництві: Навчальний посібник / За ред. П.Ф.Вахненка. – Полтава: ПДТУ ім. Ю.Кондратюка, 2000. – 224 с.
20. Обследование и испытание сооружений: Учеб. для вузов / О.В. Лужин, А.Б. Злочевский, И.А. Горбунов, В.А. Волохов; Под. ред О.В. Лужина. – М.: Стройиздат, 1987. – 263 с.
21. Ромашко В.М. Обстеження та випробування споруд: Практикум. – Рівне: РДТУ, 1999. – 117 с.
22. Р50-060-95 Метрологія. Типове положення про відомчі метрологічні служби.
23. Тетиор А.Н., Померанцев В.М. Обследование и испытание конструкций. – К.: ВШ, 1988. – 207 с.



Міцність бетону за молотком Кашкарова

$d_f/d_s$	R, МПа	$d_b/d_s$	R, МПа	$d_b/d_s$	R, МПа	$d_f/d_s$	R, МПа	$d_b/d_s$	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	15,20	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		



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

Навчально-методичне видання

*Караван Віктор Васильович*

# МЕТРОЛОГІЯ І СТАНДАРТИЗАЦІЯ

Навчальний посібник



Друкується в авторській редакції

Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

Підписано до друку **30.11.2009** р. Формат 60×84 1/16.  
Папір друкарський №1. Гарнітура Times. Друк ізографічний.  
Ум.-друк. арк. 2,7. Обл.-вид. арк. 2,8.  
Тираж **140** прим. Зам. № **1200**

*Редакційно-видавничий центр  
Національного університету  
водного господарства та природокористування  
33028, Рівне, вул. Соборна, 11.*

*Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного  
реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої  
продукції РВ №31 від 26.04.2005р.*