

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
до самостійної роботи і виконання контрольної роботи
із навчальної дисципліни

«МЕТРОЛОГІЯ І СТАНДАРТИЗАЦІЯ»

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм
навчання зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна
інженерія, освітньо-професійна програма
«Промислове та цивільне будівництво»)*

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2025

Методичні рекомендації до самостійної роботи і виконання контрольної роботи із навчальної дисципліни «Метрологія і стандартизація» (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія, освітньо-професійна програма «Промислове та цивільне будівництво») / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : Є. С. Сєдишев. А. В. Набока, Д. Г. Петренко. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2025. – 34 с.

Укладачі: ст. викл. Є. С. Сєдишев,
канд. техн. наук, доцент А. В. Набока,
канд. техн. наук, доцент Д. Г. Петренко

Рецензент

С. М. Золотов, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри будівельних конструкцій Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

Рекомендовано кафедрою будівельних конструкцій, протокол № 8 від 16.01.2025

Методичні рекомендації призначені для здобувачів спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія. Подано вимоги щодо оформлення, засоби та послідовність виконання завдань, список рекомендованих джерел, наведено приклади оформлення робіт.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
ЗМІСТ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ.....	5
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1 МЕТРОЛОГІЯ.....	5
Тема 1 Цілі й завдання дисципліни. Державне метрологічне забезпечення.....	5
Тема 2 Принципи та методи вимірювання в будівельній справі.....	6
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ОБ'ЄКТІВ БУДІВНИЦТВА.....	8
Тема 3 Організація контролю якості і прийомки в будівництві.....	8
Тема 4 Методика проведення натурних випробувань будівельних конструкцій	10
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 3 СТАНДАРТИЗАЦІЯ.....	13
Тема 5 Система стандартів у будівництві.....	13
Тема 6 Якість продукції і сертифікація продукції	14
КОНТРОЛЬНА РОБОТА ДО ЗАЛІКУ.....	16
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	27
ДОДАТОК А.....	28

ВСТУП

Методичні рекомендації мають на меті допомогти студентам денної та заочної форми навчання освітнього рівня «бакалавр» спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія при самостійній роботі за дисципліною «Метрологія і стандартизація».

Головна мета цього курсу – підготовка фахівців, що мають уявлення про метрологію, як науку про виміри і про стандартизацію, як науку, що вивчає дію стандартів у народному господарстві. Набуті за час вивчення дисципліни знання допоможуть планувати експерименти і випробування будівельних матеріалів і конструкцій, вибирати контрольню-вимірювальну апаратуру і визначати місця її установки на спорудах, підвищувати точність вимірів та виконувати обробку даних вимірювань, орієнтуватися в нормативній та законодавчій базі технології і організації виробництва, організовувати систему контролю якості будівельної продукції.

Методичні вказівки складені відповідно до робочої програми навчальної дисципліни «Метрологія і стандартизація». Самостійне вивчення навчальної дисципліни «Метрологія і стандартизація» за змістом розбивається на 6 тем по 2-х змістових модулях з роботою по кожній темі по 4...12 год. і загальним обсягом самостійної роботи 50...60 год. Для кожної теми, або до розділів теми, у квадратних лапках наведені номери рекомендованих посібників за списком літератури до даних методичних рекомендацій.

Для допуску до семестрового екзамену з дисципліни «Метрологія і стандартизація» студенти заочної форми навчання повинні виконати контрольну роботу за індивідуальною тематикою з написанням реферату та розрахункової частини, що включає побудову градуїрованої залежності для одного з неруйнівних методів випробування бетону в конструкціях. При написанні реферату та виконанні розрахункової частини контрольної роботи студенти для розкриття тематики роботи повинні зробити огляд літератури за рекомендованим списком, а також за індивідуальним вибором. Запропоновані теми контрольної роботи наведені в розділі 3, а приклад оформлення роботи наведено в додатку А. На підготовку і захист контрольної роботи за робочою програмою дисципліни відводиться 18 год. навчальної роботи.

ЗМІСТ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

Загальний обсяг на самостійну роботу студентів денної форми навчання – 51 год./ заочної – 58 год.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1 МЕТРОЛОГІЯ

Тема 1 Цілі й завдання дисципліни. Державне метрологічне забезпечення – 4 год./4 год. [1, 2, 3, 4]

1. Основи метрології в будівництві.
2. Метрологія. Основні поняття та визначення.
3. Державне метрологічне забезпечення і державна метрологічна служба.
4. Законодавче забезпечення метрологічної системи.
5. Фізичні величини та їх одиниці.
6. Міжнародна система одиниць фізичних величин. Кратні та частинні одиниці.
7. Передача розмірів одиниць робочим засобам вимірів. Еталони одиниць фізичних величин. Види еталонів.

Запитання для самоперевірки

1. Які завдання вирішує наука «Метрологія»?
2. Назвіть поняття точності вимірювання.
3. Назвіть поняття засіб вимірювання.
4. Назвіть структуру державних і міжнародних метрологічних організацій.
5. Для чого функціонує та якими заходами організується державне метрологічне забезпечення?
6. Що входить до державного метрологічного забезпечення?
7. Поняття фізична величина, розмір та одиниця фізичної величини, система одиниць фізичних величин.

8. Коли і як виникла метрична система одиниць вимірювання?
9. Назвіть основні одиниці фізичних величин системи СІ.
10. Чим відрізняються похідні одиниці від основних в міжнародній системі СІ?
11. Наведіть приклади позасистемних одиниць, які допущені до застосування на рівні з одиницями системи СІ.
12. Що таке еталон одиниці фізичних величин і скільки їх може бути в комплекті?

**Тема 2 Принципи та методи вимірювання в будівельній справі –
7 год./12 год. [1, 2, 3, 5, 6, 7, 8]**

1. Вимірювання фізичних величин. Основні методи вимірювання.
2. Похибки результатів вимірювання та їх класифікація. Фактори, що впливають на результати вимірювання.
3. Систематичні похибки та методи підвищення точності результатів вимірювання. Метод вимірювання з заміщенням. Метод доповнення. Метод протиставлення. Диференційний метод. Нульовий метод. Метод рандомізації. Метод компенсації похибки за знаком.
4. Засоби вимірювальної техніки. Їх типи. Основні метрологічні показники засобів вимірювання.
5. Похибки і класи точності засобів вимірювання. Види похибок. Способи завдання класів точності приладів.
6. Повірки засобів вимірювальної техніки. Види повірок. Організація державної і відомчої повірки засобів вимірювальної техніки.
7. Випадкові похибки. Загальна характеристика. Точкові оцінки істинного значення величин при статистичній обробці результатів вимірювання.
8. Інтервальні оцінки результатів вимірювання. Довірчий інтервал. Довірча ймовірність. Коефіцієнт Стьюдента.

9. Виключення грубих похибок при статистичній обробці результатів вимірювання. Критерій Шовіне. Критерій Романовського. Правило трьох сигм.

10. Апроксимація експериментальних даних функціональними залежностями. Рівняння регресії.

Запитання для самоперевірки

1. Наведіть класифікацію методів вимірювання, які застосовуються у будівельному виробництві.

2. Наведіть метрологічні показники засобів вимірювання з циферблатною шкалою.

3. Наведіть класифікацію похибок засобів вимірювання.

4. Що позначають класи точності засобів вимірювання?

5. Як визначити межу допустимої абсолютної похибки для приладів з відомим класом точності?

6. Назвіть класифікацію систематичних похибок.

7. Як підвищити точність вимірів при систематичних похибках вимірювання?

8. Наведіть відомі вам методи підвищення точності вимірів з виключенням постійних систематичних похибок.

9. Як підвищити точність вимірів при випадкових похибках вимірювання?

10. Які ви знаєте закони розподілу випадкових похибок?

11. Наведіть числові характеристики та точкові оцінки законів розподілу випадкової величини.

12. Що таке довірчий інтервал та довірча ймовірність вибірки результатів вимірювання?

13. Як перевірити наявність грубих похибок в вибірці результатів вимірювання?

14. Для чого і як виконується апроксимація експериментальних даних функціональними залежностями?

15. Що таке коефіцієнт кореляції для побудови рівняння регресії?

16. Що таке повірка засобів вимірювальної техніки? Наведіть градацію повірок за призначенням.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ОБ'ЄКТІВ БУДІВНИЦТВА

Тема 3 Організація контролю якості і прийомки в будівництві – 10 год./12 год. [4, 5, 6, 7, 8]

1. Про дійсні умови роботи споруд. Умовність розрахункових схем і розрахункових характеристик матеріалів.

2. Обстеження споруд та конструкцій. Особливості обстеження окремих видів конструкцій.

3. Оформлення результатів обстеження. Перерахунки конструкцій за матеріалами обстежень.

4. Відбір зразків бетону, металу, деревини, кам'яної кладки для руйнівних (лабораторних) методів визначення якості матеріалів.

5. Випробування матеріалу безпосередньо в конструкції. Технологія оцінки міцності бетону за величиною виривного зусилля приладом І. В. Вольфа.

6. Оцінка міцності матеріалів за механічними характеристиками їх поверхневих шарів. Технологія оцінки міцності металу приладом Польді. Технологія оцінки міцності бетону еталонним молотком К. П. Кашкарова і склерометром Шмідта.

7. Сутність акустичних методів дослідження будівельних конструкцій.

8. Ультразвуковий метод визначення товщини та міцності бетону і дефектоскопія металу, бетону.

9. Застосування радіаційних методів визначення фізико-механічних характеристик та дефектоскопії будівельних матеріалів і зварних швів.
10. Визначення положення та діаметру арматури магнітним методом.

Запитання для самоперевірки

1. Обґрунтуйте правила обстеження металевих конструкцій.
2. Обґрунтуйте правила обстеження залізобетонних конструкцій.
3. Обґрунтуйте правила обстеження кам'яних конструкцій.
4. Якими документами оформлюються результати огляду (обстеження) споруди та її конструкцій?
5. Наведіть порядок відбору зразків бетону і металу на лабораторні дослідження і випробування.
6. Наведіть схему оцінки міцності металу за механічною характеристикою поверхневого шару.
7. Наведіть схему оцінки міцності бетону за ударним відбитком на його поверхневому шарі за допомогою еталонного молотка Кашкарова.
8. Наведіть схему оцінки міцності бетону за пружним відскоком бойка при ударі за допомогою склерометра Шмідта.
9. Наведіть перелік фізичних принципів неруйнівних методів випробувань будівельних матеріалів і з'єднань.
10. На якій фізичній основі ґрунтується ультразвуковий імпульсний метод дослідження будівельних матеріалів?
11. Наведіть схему випробування бетону ультразвуковим імпульсним методом з приладами типу УІС17, УІС19.
12. Як визначити пружні характеристики бетону за швидкістю ультразвукових хвиль?
13. Як визначити ультразвуком товщину матеріалу?
14. Як визначити ультразвуком глибину тріщини в бетоні?

15. Наведіть технологію визначення міцності бетону при ультразвукових імпульсних випробуваннях.
16. Наведіть приклади дослідження будівельних матеріалів ультразвуковою дефектоскопією.
17. Наведіть технологію дефектоскопії металу і зварних швів гамма-випромінюванням або рентгенівським випромінюванням.
18. В чому полягає сутність магнітних методів дослідження будівельних матеріалів?
19. Наведіть технологію визначення положення арматури в бетоні, товщини захисного шару і діаметру арматури прибором ІЗС-10Н.
20. Якими рідинами або газами контролюють герметичність з'єднань?
21. За допомогою яких рідин або порошкових суспензій виявляють мікротріщини в металі?

Тема 4 Методика проведення натурних випробувань будівельних конструкцій – 12 год./12 год. [5, 6, 7, 8]

1. Завдання випробувань.
2. Вибір елементів для випробувань, схем і послідовності завантаження. Види навантаження.
3. Вимірювальні прилади для статичних випробувань і їх застосування: прогиноміри, індикатори (мессури), гідростатичне нівелювання, клінометри, механічні тензометри, динамометри.
4. Вимірювання деформацій за допомогою тензорезисторів: типи тензорезисторів і принцип роботи, кріплення і тарування, вимірювальні мости, термокомпенсація, схеми комутації.
5. Типові схеми натурних випробувань будівельних конструкцій статичним навантаженням.
6. Технологія вимірювань при статичних випробуваннях:

- прогину балок, плит;
- кутів повороту при згині;
- відміток при гідростатичному нівелюванні;
- деформацій волокон матеріалу.

7. Обробка матеріалів статичних випробувань: погрішності випробувань і внесення поправок до результатів. Оцінка результатів статичних випробувань.

8. Статистичні методи обробки матеріалів статичних випробувань. Графічні методи обробки матеріалів випробувань. Обробка результатів вимірювання переміщень. Перехід від деформацій до напружень. Розрахунок контрольних параметрів статичних випробувань.

9. Види динамічних навантажень.

10. Робота конструкцій при динамічних впливах.

11. Динамічні характеристики будівельних матеріалів та конструкцій.

12. Задачі динамічних випробувань.

13. Способи збудження і реєстрації коливань при динамічних випробуваннях.

14. Вимірювання переміщень і частот найпростішими приладами.

15. Схеми роботи вібрографів.

16. Вібродатчики. Принципова схема роботи.

17. Схема багатоканальної вібровимірювальної системи.

18. Методика проведення динамічних випробувань.

19. Обробка результатів динамічних випробувань.

20. Оцінка результатів динамічних випробувань. Методи поліпшення динамічних характеристик.

Запитання для самоперевірки

1. Назвіть типи статичних випробувань будівельних конструкцій.
2. Якими міркуваннями необхідно керуватися при відборі елементів до статичних випробувань і виборі схеми завантаження?

3. Які типи навантаження і способи їх прикладення застосовуються для статичних випробувань?
4. Які вимоги ставлять до навантажень при статичних випробуваннях конструкцій?
5. Наведіть типи вимірювань і назви приладів до них при статичних випробуваннях конструкцій.
6. Наведіть принципову схему роботи приладів для визначення лінійних переміщень. Прогиномір. Індикатор часового типу.
7. Якими приладами вимірюються кутові переміщення? Наведіть схему роботи.
8. Наведіть принципову схему роботи механічного тензометра.
9. Якими механічними приладами можна виміряти навантаження? Наведіть схему роботи.
10. Наведіть принципову схему вимірювання деформацій за допомогою тензорезисторів.
11. Наведіть принципову схему роботи тензостанції.
12. Назвіть вимоги до тензорезисторів, що застосовуються при вимірюваннях лінійних деформацій.
13. Які операції виконуються при обробці матеріалів статичних випробувань?
14. Які задачі вирішуються при статистичній обробці матеріалів випробувань?
15. Які задачі вирішуються при графічній обробці матеріалів випробувань?
16. Як визначити прогини при завантаженні балки?
17. Як перейти від деформацій, які вимірювались при випробуваннях, до напружень?
18. Наведіть задачі динамічних випробувань. Які навантаження розуміються як динамічні?

19. Назвіть параметри коливальних процесів.
20. Назвіть динамічні характеристики матеріалів.
21. Назвіть способи збудження коливань при динамічних випробуваннях.
22. Наведіть принципову схему роботи для вимірювання переміщень і частот найпростішими приладами.
23. Наведіть принципову схему роботи вібрографів.
24. Наведіть принципову схему роботи вібродатчика типу ВЕГІК.
25. Наведіть принципову схему роботи багатоканальної вібровимірювальної системи.
26. Наведіть методику проведення динамічних випробувань.
27. Що включає в себе обробка результатів динамічних випробувань?

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 3 СТАНДАРТИЗАЦІЯ

Тема 5 Система стандартів у будівництві – 6 год./6 год. [1, 2, 3, 4]

1. Принципи і методи стандартизації.
2. Категорії стандартів. Державні і галузеві стандарти. Стандарти організацій і підприємств.
3. Види стандартів. Структура системи стандартів для будівництва. ДСТУ і ДБН. Галузеві і відомчі нормативні документи. Технічні умови.
4. Міжнародні і регіональні стандарти (ГОСТи країн СНД, стандарти ISO, EN).
5. Міжгалузеві системи стандартизації.
6. Типи стандартів для конструкторської і технологічної документації.
7. Використання рядів переважних чисел при стандартизації продукції.
8. Програмні забезпечення автоматизованих систем проектування.

Запитання для самоперевірки

1. Наведіть приклади застосування методів стандартизації у будівельній справі (уніфікація, типізація та ін.).
2. Наведіть класифікацію стандартів за старшинством.
3. Які обов'язкові розділи присутні в стандартах при їх розробці?
4. Наведіть порядок затвердження та впровадження стандартів.
5. Назвіть деякі відомчі нормативні документи, які діють в будівництві на правах стандартів.
6. Що таке технічні умови (ТУ У)?
7. Наведіть відомі вам міжнародні стандарти.
8. Який порядок застосування на території України міжнародних стандартів?
9. Назвіть міжгалузеві системи стандартизації, які діють у будівельній справі.
10. Наведіть відомі вам програмні забезпечення автоматизованих систем проектування.
11. Що таке ряди переважних чисел?
12. Назвіть приклади використання рядів переважних чисел.

Тема 6 Якість продукції і сертифікація продукції –

12 год./12 год. [1, 2, 3, 4]

1. Організація системи контролю якості у будівництві.
2. Основні поняття та визначення з якості продукції.
3. Показники якості будівельної продукції.
4. Зовнішній і внутрішній контролю якості матеріалів та будівельно-монтажних робіт.
5. Сертифікація будівельної продукції.
6. Акредитація випробувальних лабораторій.

7. Сертифікація спеціалістів в галузі будівництва.
8. Сертифікат відповідності на об'єкти будівництва або реконструкції.
9. Основні положення з технічного регулювання.
10. Технічні регламенти.
11. Цілі реформи системи стандартизації і сертифікації при впровадженні технічного регулювання і технічних регламентів.

Запитання для самоперевірки

1. У стандартах якого типу встановлені вимоги до якості будівельної продукції?
2. Назвіть відомі вам показники якості продукції.
3. На яких стадіях формується якість будівельної продукції?
4. Як організують зовнішній контроль якості матеріалів і будівельно-монтажних робіт?
5. Як організують внутрішній контроль якості матеріалів і будівельно-монтажних робіт?
6. Як організується прийомка до експлуатації збудованого об'єкта?
7. Що таке сертифікат відповідності і знак відповідності?
8. Назвіть три сторони, що беруть участь у в процесі створення сертифікату відповідності.
9. Хто має право виконувати експертизу в процесі створення сертифікату відповідності?
10. Що засвідчується сертифікатом відповідності закінченого будівництвом об'єкта і яким органом цей документ видається?
11. Які спеціалісти в галузі будівництва повинні отримувати кваліфікаційні сертифікати?
12. Що таке акредитація випробувальної лабораторії і яким органом вона проводиться?

13. Коли прийнято Закон України «Про стандарти, технічні регламенти та процедури оцінки відповідності»?

14. Дайте визначення поняття технічного регулювання.

15. Перерахуйте сфери технічного регулювання.

16. Перерахуйте об'єкти технічного регулювання.

17. Дайте визначення поняття технічного регламенту.

18. Чим технічний регламент відрізняється від стандарту, сертифікату відповідності, технічних норм?

КОНТРОЛЬНА РОБОТА ДО ЗАЛІКУ

Для закріплення знань з дисципліни і допуску студентів заочного відділення до семестрового заліку виконується контрольна робота за завданням, що складається з 2-х частин.

Перша частина контрольної роботи виконується за індивідуальною тематикою, пов'язаною з курсом «Метрологія та сертифікація», у вигляді *реферату*. При підготовці до написання реферату студент виконує підбір необхідної літератури за рекомендованим списком, а також за індивідуальним вибором. Для більш надійного розкриття тематики перед написанням реферату слід ознайомитись з інформативним матеріалом по темі за конспектом лекцій [5].

Об'єм реферату 4...5 сторінок (рукописного або друкованого тексту). Вимоги до оформлення реферату – загальні. За текстом реферату необхідно наводити рисунки, таблиці: принципові схеми приладів, схеми випробувань конструкцій, приклади графіків, діаграм тощо по результатам випробувань. Теми рефератів додаються.

У додатку А наведено приклад оформлення залікової контрольної роботи з рефератом.

Теми рефератів до контрольної роботи

1. Методики перевірки якості і стану будівельних матеріалів і з'єднань.
Добір зразків для лабораторних випробувань.
2. Оцінка міцності будівельних матеріалів за механічними характеристиками їх поверхневих шарів.
3. Акустичні методи дослідження будівельних конструкцій.
Характеристика. Задачі, які вирішуються.
4. Радіаційні методи дослідження будівельних конструкцій.
Характеристика. Задачі, які вирішуються.
5. Магнітні методи дослідження будівельних конструкцій.
Характеристика. Задачі, які вирішуються.
6. Статичні випробування будівельних конструкцій. Загальні дані.
7. Механічні вимірювальні прилади для статичних випробувань будівельних конструкцій.
8. Вимірювання деформацій будівельних конструкцій за допомогою тензорезисторів.
9. Обробка матеріалів статичних випробувань будівельних конструкцій.
Статистична і графічна.
10. Динамічні випробування будівельних конструкцій. Загальні дані.
11. Способи збудження коливань при динамічних випробуваннях конструкцій.
12. Вимірювання при динамічних випробуваннях. Параметри вимірювання при динамічних випробуваннях.
13. Вимірювальні прилади для динамічних випробувань. Вібрографи і вібродатчики.
14. Методика проведення динамічних випробувань будівельних конструкцій.
15. Основні метрологічні показники засобів вимірювань.

16. Систематичні похибки результатів вимірювання. Методики підвищення точності вимірів з їх виключенням.

17. Випадкові похибки результатів вимірювання. Методики підвищення точності вимірів з урахуванням випадкових похибок.

18. Методика оцінки точності вимірювань за класами точності засобів вимірювання.

19. Повірка засобів вимірювальної техніки. Класифікація і методи.

20. Методи визначення міцності бетонів конструкцій та їх характеристика.

21. Методи визначення положення арматури в бетоні, її діаметра та товщини захисного шару. Магнітний та радіаційний.

22. Методи визначення дефектів будівельних конструкцій та їх характеристика.

23. Організація контролю якості у будівництві.

24. Сертифікація продукції.

25. Контроль якості конструкцій і з'єднань проникаючими рідинами і газами.

26. Програмні забезпечення автоматизованих систем проектування.

27. Впровадження технічного регулювання і технічних регламентів в будівництві.

28. Принципи і методи стандартизації. Стандартизація у будівництві.

29. Основи метрології у будівництві. Задачі, які вирішуються метрологією.

30. Основи стандартизації у будівництві. Задачі, які вирішуються стандартизацією.

До другої *розрахункової частини контрольної роботи* винесено *«Побудову градуйованої залежності та графіку за результатами неруйнівних випробувань бетону на кубах».*

Для визначення міцності (класу) бетону в конструкціях, що експлуатуються або оцінюються до придатності к експлуатації, застосовують неруйнівні методи, коли вимірювання виконують безпосередньо на об'єкті без ушкодження його елементів. В контрольній роботі розглядаються декілька неруйнівних методів (за варіантами завдання):

- оцінка міцності бетону *по ударному відбитку на його поверхні* (молоток Фізделя, молоток Кашкарова, молотки кулькові пружинні);
- оцінка міцності бетону *за пружним відскоком бойка при ударі* (склерометр Шмідта);
- *ультразвуковий імпульсний метод* визначення міцності бетону.

При використанні *молотка Фізделя та кулькового пружинного молотка* міцність бетону f_c оцінюється за діаметром d мм відбитку сталеві кульки приладу на поверхні після удару по неї.

При використанні *молотка Кашкарова* міцність бетону f_c оцінюється за величиною непрямої характеристики $H = d_{bem}/d_{em}$, що характеризує співвідношення діаметрів відбитків сталеві кульки приладу при ударі на бетонній поверхні та сталевому еталонному стержні.

При використанні *склерометру Шмідта* міцність бетону f_c оцінюється за величиною безрозмірної характеристики H відскоку бойка від поверхні конструкції при ударі від спуска пружини приладу. Величина H устанавлюється за шкалою приладу.

При використанні *ультразвукового імпульсного методу* міцність бетону f_c оцінюється за швидкістю проходження пружних механічних коливань високої частоти (для бетону до 200 кГц) V , що приводиться в розмірності $км/с$.

Технології використання неруйнівних випробувань бетону та схеми приладів наведено в конспекті лекцій з курсу «Метрологія і стандартизація» [5] і в навчальній та довідковій літературі [6, 7, 8].

При використанні неруйнівних методів міцність бетону визначається за попередньо встановленим експериментально градуированим залежностям між

міцністю на стиск бетонних зразків (кубів), що випробовуються на пресі за ДСТУ Б В.2.7-214:2009 «Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками», та характеристиками, що дають прилади. Серії контрольних зразків (не менш ніж по 3 куба) з бетонів різних класів (марок) випробуються якимось неруйнівним методом, а потім випробуються на пресі до руйнації. Результати випробувань по зразкам кожної серії усереднюються та порівнюються (за приладом та пресом) і за ними виконується побудова градуйованих залежностей у вигляді формул, графіків, таблиць. Стандарти на неруйнівні випробування бетону рекомендують виконувати побудову градуйовані залежності з прив'язкою до місцевих умов (технологічним режимом виробництва, кліматичних умов) та періодично їх оновлювати.

Для побудови градуйованої залежності за результатами випробувань бетонних зразків виконується апроксимація експериментальних даних функціональними залежностями (рівняннями регресії) $y = \varphi(x)$. В цих рівняннях у якості аргументу візьмемо показання приладів (d , H , V), а функції – міцність бетону (f_c).

Залежність між двома змінними випадковими величинами може бути функціональною або імовірнісною (графіки на рис. 1). При їх функціональній залежності по значенню одної величини знаходять строго визначене значення іншої. При імовірнісній залежності, що найчастіше зустрічається на практиці, точне значення другої величини визначити неможливо, можна встановити тільки закон її розподілу.

Залежність між одною випадковою величиною і умовними середніми значеннями другої називають кореляційною залежністю, яка характеризується формою та щільністю зв'язку. Така залежність характерна для випадкових величин, розподілених за нормальним законом.

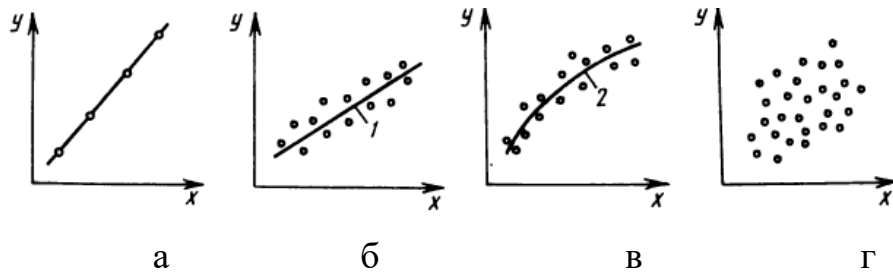


Рисунок 1 – Залежності між випадковими величинами x та y :

а – функціональна, $|r_{xy}| = 1$; б, в – кореляційна, $|r_{xy}| \leq 1$; г – величини не корелюються, $r_{xy} = 0$; 1 – лінійна регресія; 2 – нелінійна регресія

Найбільш простою є лінійна кореляційна залежність випадкових величин x та y , що підлягають нормальному закону розподілу (Гауса). Кореляційна залежність характеризується коефіцієнтом кореляції

$$r_{xy} = \frac{1/n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sigma_x \cdot \sigma_y}, \quad |r_{xy}| \leq 1,$$

де середньоквадратичні відхилення за координатами

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad \sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}}.$$

Коефіцієнт кореляції характеризує ступінь наближення залежності між випадковими величинами до лінійної його значення повинні знаходитись в межах $|r_{xy}| \leq 1$. При $r_{xy} = 0$ між випадковими числами x та y кореляційна залежність відсутня або вони не корелюються (рис. 1, г). При $r_{xy} = 0,5$ щільність зв'язку між випадковими числами вважається задовільною, а при $r_{xy} = 0,8 \dots 0,9$ – доброю. Взагалі зв'язок між випадковими числами може бути нелінійним та виражатися степеневою, логарифмічною або іншою функцією.

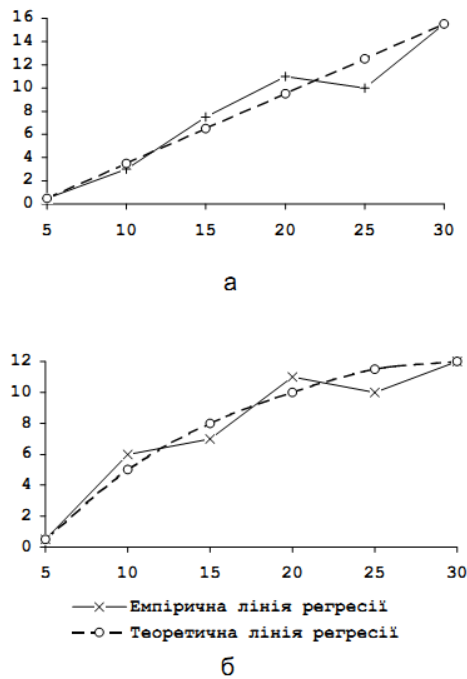


Рисунок 2 – Вирівнювання емпіричних рядів регресії:
 а – лінійна залежність; б – криволінійна залежність

Якщо нанести експериментальні точки на графік по двом координатам (аргумент-функція) та з'єднати їх на графіку відрізками прямих, то отримаємо ломану лінію (емпірична лінія регресії), форма якої не відновиться при повторних вимірюваннях. Кореляційна залежність (теоретична лінія регресії на графіках рис. 2) вирівнює результати експерименту в суцільну лінію, що описується якоюсь функцією (лінійною або нелінійною). Відстані лінії кореляційної залежності від експериментальної точки в кожену сторону по горизонталі і вертикалі будуть вказувати значення похибки відповідно по осі абсцис і ординат.

Якщо середньоквадратичне відхилення отриманої функції кореляційної залежності від експериментальних точок буде мінімальним, то можна отримати рівняння для параметрів функції $y = \varphi(x)$. На цьому і засновано метод найменших квадратів.

Якщо в результаті експерименту отримаємо декілька значень функції y_i в заданих точках x_i , то можна апроксимувати її декотрою аналітичною функцією

$\varphi(x)$ в яку входить n -кількість констант a_k . Найбільш простою є лінійна кореляційна залежність випадкових величин x_i та y_i , що підпорядковуються нормальному закону розподілу.

Необхідною умовою найкращого середньоквадратичного наближення буде мінімізація суми середньоквадратичних відхилень

$$\sum_{i=1}^n [y_i - \varphi(x_i)]^2 \rightarrow 0.$$

Для нелінійних залежностей з двома параметрами (степеневі, гіперболічні, експонентні) можна звести нелінійну залежність до лінійної з допомогою лінеаризації. При цьому регресійне наближення методом найменших квадратів виконується вже для перетвореного лінійного рівняння з отриманням проміжних коефіцієнтів (констант), які в подальшому перераховуються в шукані коефіцієнти нелінійного рівняння.

Для виконання розрахункового розділу контрольної роботи «Побудова градуїрованої залежності та графіку за результатами неруйнівних випробувань бетону на кубах» запропоновано використовувати форми рівнянь регресії та їх коефіцієнтів, що наведені нижче.

Лінійне рівняння типу $f_c = a_0 + a_1 \cdot H$ (замість H по варіантам можна підставити d).

Коефіцієнти в рівнянні

$$a_1 = \frac{\sum_{i=1}^n [(H_i - \bar{H}) \cdot (f_{ci} - \bar{f}_c)]}{\sum_{i=1}^n (H_i - \bar{H})^2}, \quad a_0 = \bar{f}_c - a_1 \cdot \bar{H},$$

де \bar{f}_c, \bar{H} – середні значення величин результатів випробувань.

Гіперболічне рівняння типу $f_c = a_0 + \frac{a_1}{H}$, (замість H по варіантам можна підставити d). Рівняння лінеаризації представлено у вигляді

$$f_c = a_0 + a_1 \cdot Z, \quad \text{де } Z = \frac{1}{H}.$$

Коефіцієнти в рівнянні $a_1 = \frac{\sum_1^n [(z_i - \bar{z}) \cdot (f_{ci} - \bar{f}_c)]}{\sum_1^n (z_i - \bar{z})^2}$, $a_0 = \bar{f}_c - a_1 \cdot \bar{z}$.

Степеневе рівняння типу $f_c = a_0 \cdot V^{a_1}$, (замість V по варіантам можна підставити H). Рівняння лінеаризації представлено у вигляді

$$\ln f_c = \ln a_0 + a_1 \cdot \ln V.$$

Коефіцієнти в рівнянні

$$a_1 = \frac{\sum_1^n [(\ln V_i - \ln \bar{V}) \cdot (\ln f_{ci} - \ln \bar{f}_c)]}{\sum_1^n (\ln V_i - \ln \bar{V})^2}, \quad \ln a_0 = \ln \bar{f}_c - a_1 \cdot \ln \bar{V}.$$

Експонентне рівняння типу $f_c = a_0 \cdot e^{a_1 \cdot V}$. Рівняння лінеаризації представлено у вигляді $\ln f_c = \ln a_0 + a_1 \cdot V$.

Коефіцієнти в рівнянні

$$a_1 = \frac{\sum_1^n [(V_i - \bar{V}) \cdot (\ln f_{ci} - \ln \bar{f}_c)]}{\sum_1^n (V_i - \bar{V})^2}, \quad \ln a_0 = \ln \bar{f}_c - a_1 \cdot \bar{V}.$$

Після визначення коефіцієнтів і написання рівняння регресії прораховуються значення функції f_c (міцність бетону) за характерними значеннями аргументу d , H , V (показання приладу), які порівнюються з аналогічними значеннями, отриманими при випробуваннях. По точкам будується графік отриманого рівняння регресії.

Варіанти задач для виконання розрахункової частини контрольної роботи приведено в таблиці 1 за номером в списку по журналу групи.

У конспекті лекцій [5] наведені приклади побудови градуйованої залежності за результатами випробування бетону молотком Кашкарова з лінійним та гіперболічним рівняннями регресії, а в додатку А наведено приклад

рішення цієї задачі за результатами випробувань ультразвуковим імпульсним методом на бетонних кубах з степеневим рівнянням регресії.

Таблиця 1 – Варіанти задач для виконання розрахункової частини контрольної роботи

Номер варіанта	Прилад-метод (аргумент/функція)	Середні результати випробування	Тип градуїрованої залежності
		За приладом (аргумент) / За пресом, (функція, f_c МПа)	
1	2	3	4
1	Склерометр Шмідта (H/f_c МПа)	15/11,5; 20/15,0; 25/20,0; 30/23,0; 35/27,0; 40/30,0	Лінійна
2	Молоток Кашкарова (H/f_c МПа)	1,15/50,0; 1,2/45,0; 1,4/35,0; 1,5/30,0; 1,6/25,0; 1,7/20,0	Лінійна
3	Ультразвуковий імпульсний метод (V км/с / f_c МПа)	2,2/2,0; 2,5/4,0; 2,8/6,0; 3,1/8,0; 3,5/14,0; 3,8/20,0	Степенева
4	Склерометр Шмідта (H/f_c МПа)	16/8,0; 20/13,0; 24/17,0; 30/26,0; 40/45,0; 45/55,0	Лінійна
5	Молоток Кашкарова (H/f_c МПа)	1,2/45,0; 1,3/40,0; 1,35/35,0; 1,45/30,0; 1,5/27,0; 1,6/23,0	Гіперболічна
6	Ультразвуковий імпульсний метод (V км/с / f_c МПа)	3,0/5,0; 3,3/8,0; 3,6/14,0; 3,8/16,0; 4,0/20,0; 4,2/28,0	Степенева
7	Склерометр Шмідта (H/f_c МПа)	20/8,5; 25/14,0; 30/20,5; 35/30,0; 40/40,0; 45/52,5	Степенева
8	Молоток Фізделя (d мм / f_c МПа)	4,5/50,0; 5,0/33,0; 5,5/22,5; 6,0/15,5; 6,5/11,0; 7,0/8,0	Гіперболічна
9	Ультразвуковий імпульсний метод (V км/с / f_c МПа)	3,6/12,0; 3,9/19,0; 4,1/24,0; 4,2/28,0; 4,4/38,0; 4,5/41,0	Експонентна
10	Склерометр Шмідта (H/f_c МПа)	20/10,5; 25/16,0; 30/25,0; 35/33,0; 40/44,0; 45/54,0	Степенева
11	Молоток Фізделя (d мм / f_c МПа)	11,0/6,0; 10,0/10,0; 9,0/14,0; 8,0/17,5; 7,0/20,0; 6,0/25,0	Лінійна
12	Ультразвуковий імпульсний метод (V км/с / f_c МПа)	3,5/7,0; 3,7/10,0; 3,9/14,0; 4,0/17,0; 4,1/20,0; 4,3/25,0	Степенева
13	Склерометр Шмідта (H/f_c МПа)	20/17,5; 25/25,0; 30/34,0; 35/41,0; 40/50,0; 45/60,0	Лінійна

Продовження таблиці 1

1	2	3	4
14	Молоток кульковий пружинний (d мм / f_c МПа)	4,3/50,0; 4,5/40,0; 5,0/30,0; 5,5/20,0; 6,0/15,0; 6,5/10,0	Гіперболічна
15	Ультразвуковий імпульсний метод (V км/с / f_c МПа)	2,8/4,0; 3,0/8,0; 3,4/10,0; 3,8/14,0; 4,2/24,0; 4,3/48,0	Експонентна
16	Склерометр Шмідта (H/f_c МПа)	40/8,5; 45/12,5; 50/17,0; 55/21,0; 60/25,0; 65/29,0	Лінійна
17	Молоток Фізделя (d мм / f_c МПа)	6,0/40,0; 7,0/22,5; 8,0/17,5; 9,0/12,5; 10,0/10,0; 12,0/8,0	Гіперболічна
18	Ультразвуковий імпульсний метод (V км/с / f_c МПа)	3,0/10,0; 3,4/15,0; 3,7/21,0; 4,0/29,0; 4,4/45,0; 4,6/55,0	Експонентна
19	Склерометр Шмідта (H/f_c МПа)	17/10,0; 20/15,0; 25/21,0; 30/30,0; 35/40,0; 40/55,0	Степенева
20	Молоток кульковий пружинний (d мм / f_c МПа)	6,5/7,0; 6,2/10,0; 5,5/20,0; 5,2/25,0; 4,9/30,0; 4,7/35,0	Лінійна
21	Ультразвуковий імпульсний метод (V км/с / f_c МПа)	3,4/12,0; 3,7/16,0; 4,0/19,0; 4,2/20,0; 4,4/25,0; 4,6/30,0	Степенева
22	Склерометр Шмідта (H/f_c МПа)	20/10,0; 26/17,0; 30/24,0; 36/34,0; 40/40,0; 44/50,0	Степенева
23	Молоток Кашкарова (H/f_c МПа)	1,2/50,0; 1,25/45,0; 1,3/40,0; 1,35/38,0; 1,4/35,0; 1,45/30,0	Лінійна
24	Ультразвуковий імпульсний метод (V км/с / f_c МПа)	3,0/6,5; 3,4/10,0; 3,8/15,0; 4,1/21,5; 4,4/30,0; 4,6/38,0	Експонентна
25	Молоток кульковий пружинний типу КМ (d мм / f_c МПа)	6,5/7,0; 6,2/10,0; 5,5/20,0; 5,2/25,0; 4,9/30,0; 4,7/35,0	Гіперболічна
26	Молоток Кашкарова (H/f_c МПа)	1,4/40,0; 1,5/30,0; 1,7/28,0; 2,0/25,0; 2,3/18,0; 2,5/12,0	Лінійна
27	Ультразвуковий імпульсний метод (V км/с / f_c МПа)	2,6/6,0; 3,0/10,0; 3,4/14,0; 3,8/18,0; 4,0/24,0; 4,2/28,0	Степенева

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бичківський Р. В. Метрологія, стандартизація, управління якістю і сертифікація : підруч. для вищ. навч. закл. / Р. В. Бичківський, П. Г. Столярчук, П. Р. Гамула ; М-во освіти і науки України, Нац. ун-т «Львівська політехніка»; за ред. Р. В. Бичківського. – Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2002. – 560 с.
2. Тарасова В. В. Метрологія, стандартизація і сертифікація : підручник / В. В. Тарасова, А. С. Малиновський, М. Ф. Рибак. – Київ : Центр навч. літератури, 2006. – 264 с.
3. Топольник В. Г. Метрологія, стандартизація, сертифікація і управління якістю : навч. посіб. / В. Г. Топольник, М. А. Котляр. – Донецьк : ДонДУЕТ, 2006. – 211 с.
4. Цюцюра С. В. Метрологія, основи вимірювань, стандартизація та сертифікація : навч. посіб. / С. В. Цюцюра, В. Д. Цюцюра. – Київ : Знання, 2005. – 242 с.
5. Сєдишев Є. С. Конспект лекцій з дисципліни «Метрологія і стандартизація» для студентів 3–4 курсів денної і заочної форм навчання освітнього рівня «бакалавр» спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія / Є. С. Сєдишев ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 97 с.
6. Стринадко М. Т. Конспект лекцій з навчальної дисципліни «Метрологія та стандартизація» / М. Т. Стринадко. – Чернівці : Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, 2022. – 275 с.
7. Метрологія, стандартизація, сертифікація в будівництві: питання та відповіді : навч. посіб. / В. Р. Сердюк. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 162 с.
8. Гара О. А. Основи метрології і стандартизації в будівництві : навч. посіб. / О. А. Гара. – Одеса : ПОЛІГРАФ, 2016. – 256 с.

ДОДАТОК А

Приклад оформлення контрольної роботи

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

Кафедра будівельних конструкцій

КОНТРОЛЬНА РОБОТА

з дисципліни «Метрологія і стандартизація»

1. Реферат на тему «Локаційні вимірювання відстаней між об'єктами»
2. Розрахункова задача на тему «Побудова градуїрованої залежності та графіку за результатами випробувань ультразвуковим імпульсним методом бетону на кубах»

Виконав:

здобувач гр. МБГ 2022-1у

Мещеряк З. В.

Перевірив:

старший викладач

Набока А. В.

Харків – 20..

1 Реферат на тему

«ЛОКАЦІЙНІ ВИМІРЮВАННЯ ВІДСТАНЕЙ МІЖ ОБ'ЄКТАМИ»

Вступ

Одним з різновидів та методів знаходження відстаней в різних тілах, в газових та повітряних середовищах між тілами, є спектрометричні методи, зокрема локаційний метод. Локаційний метод ґрунтується на вимірюванні часу проходження вимірюваної відстані променем, швидкість якого відома і залишається надмірною під час вимірювання.

Методика вимірювання

Найпоширенішими є методи та засоби радіолокації: оптичні та акустичні. Локаційний метод, що базується на використанні звукових та ультразвукових хвиль, називають ехо-звуковими.

У локаційних засобах джерело випромінювання та приймач знаходяться на одній границі вимірювання розміру, а на іншій границі – спеціальний відбивач, або замість останнього використовується границя об'єкта, відстань до якого визначається.

Радіолокаційний та оптичний локаційний методи застосовуються для вимірювання великих відстаней – від десятків до сотень метрів, та мільйонів кілометрів.

Акустична локація використовується в твердих, рідких і газоподібних середовищах для вимірювань розмірів та відстаней від міліметрів, до декількох кілометрів. В діапазоні радіо- та оптичної локації виникає необхідність вимірювати дуже малі часові інтервали (10^{-9} ... 10^{-11} с), що зумовлено великою швидкістю розповсюдження електромагнітних хвиль або внаслідок швидкого загасання електромагнітних коливань у рідких та твердих середовищах.

Швидкість розповсюдження звукових та ультразвукових коливань в повітрі дорівнює 333 м/с; в морській воді 1 500 м/с, а в металах 3 000... 10 000 м/с, тобто на декілька порядків менше від швидкості розповсюдження електромагнітних коливань, що дає змогу використовувати акустичну локацію для вимірювання малих відстаней.

Є два основні способи реалізації локаційного методу:

- імпульсний (принципальна схема наведена на рис. А.1, а);
- модуляційний (фазовий) (рис. А.1, б).

В першому способі використовується випромінювання у вигляді коротких імпульсів, а в другому – безперервне модульоване випромінювання у вигляді коротких імпульсів, фаза яких містить інформацію про вимірювану відстань.

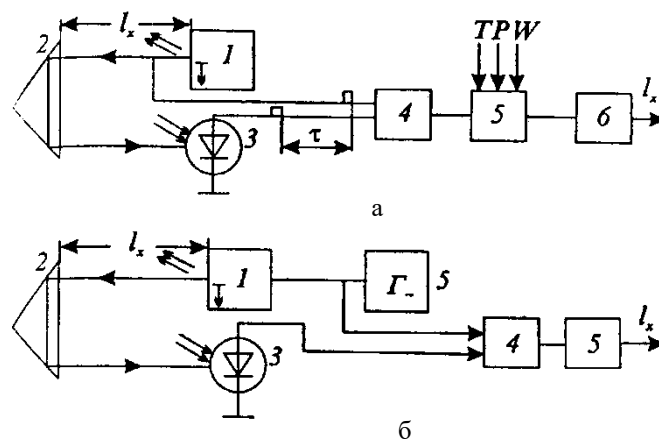


Рисунок А.1 – Схеми реалізації локаційного методу вимірювань відстаней:

а – імпульсним способом; б – фазовим способом

В імпульсних локаторах випромінювання у вигляді короткого імпульсу від джерела випромінювання – лазера 1 спрямовується до об'єкта 2, відстань до якого вимірюють. Відбитий від об'єкта імпульс приймається оптикоелектронним датчиком 3. Інтервал часу протягом якого імпульс

проходить подвійну вимірювану відстань визначається вимірювачем інтервалів часу 4.

Якщо відома швидкість (v) розповсюдження променя, вимірювана відстань l_x обчислюється за допомогою обчислюваного пристрою 5 відповідно до формули $l_x = t \cdot v / 2$ і безпосередньо відраховується відліковим пристроєм 6.

Швидкість розповсюдження електромагнітного випромінювання зокрема оптичного в повітряному середовищі визначається за формулою $v = c / n$, де $c = 299\,792\,458$ м/с – швидкість світла у вакуумі; n – показник заломлення світла в середовищі, який залежить від його температури тиску, та вологості.

У сучасних високочастотних світловіддалемірах одночасно з вимірюванням відстаней здійснюються допоміжні вимірювання метрологічних параметрів середовища (температури, тиску та вологості) в декількох точках вздовж вимірюваної відстані, результати якої вводяться в мікропроцесор 5 для уточнення значення швидкості світла в даному середовищі в момент вимірювання відстані. Цей спосіб надзвичайно трудомісткий і використовується при дуже точних метрологічних вимірюваннях відстаней до декількох кілометрів, наприклад в установках для відтворення одиниць довжини на ділянці 50...1000 м.

У фазових (модуляційних) локаційних віддалемірах (рис. А.1, б) використовується неперервне випромінювання лазера 1, модульоване за інтенсивністю синусоїдним сигналом з частотою f_m від генератора 5. Як інформативний параметр для визначення часу проходження променем подвійної вимірюваної відстані l_x приймається кут фазового зсуву між напругою на виході приймача випромінювання 3 (U) та модульованою напругою, який вимірюється за допомогою фазометра 4 здійснюється на частоті модуляції f_m .

Вимірювана відстань визначається в обчислюваному пристрої 5 за формулою:

$$l_x = \frac{U}{2\pi \cdot f_m} \left(N + \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \right),$$

де N – повна кількість фазових циклів;

$\Delta\varphi$ – кут фазового зсуву в границях неповного фазового циклу.

Список використаної літератури

1. Поліщук Є. С. Метрологія та вимірювальна техніка : підручник / [Є. С. Поліщук та ін.]. – Львів : Бискіт, 2018. – 544 с.
2. Ксейль І. С. Методи та прилади контролю якості і сертифікації продукції : навч. посібник / І. С. Ксейль – Київ : Наука, 2019. – 212 с.
3. Цюцюра С. В. Метрологія, основи вимірювань, стандартизація та сертифікація : навч. посібник / С. В. Цюцюра, В. Д. Цюцюра. – Київ : Знання, 2020. – 242 с.

2 Розрахункова задача на тему

«ПОБУДОВА ГРАДУЙОВАНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ ТА ГРАФІКУ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВИПРОБУВАНЬ УЛЬТРАЗВУКОВИМ ІМПУЛЬСНИМ МЕТОДОМ БЕТОНУ НА КУБАХ»

Побудувати градуйовану залежність для визначення міцності бетону ультразвуковим імпульсним методом.

Випробування виконувались на кубах по 6-ти серіях контрольних зразків (по 3 куба). На кожному кубі виконувались не менше 5 прозвучувань в напрямку, перпендикулярному напрямку укладання бетону до форми. Потім кожна партія кубів випробувалась на пресі до руйнування з визначенням середньої міцності в серії.

Сукупність кубів дала міцність бетону в межах $f_{ci} = 12...41$ МПа (див. табл. А.1).

В першому наближенні у якості рівняння регресії використаємо степеневу залежність у вигляді типу $f_c = a_0 \cdot V^{a_1}$.

Рівняння лінеаризації представлено у вигляді

$$\ln f_c = \ln a_0 + a_1 \cdot \ln V.$$

Коефіцієнти в рівнянні (проміжні підрахунки проведені в таблиці А.1):

$$a_1 = \frac{\sum_1^n [(\ln V_i - \ln \bar{V}) \cdot (\ln f_{ci} - \ln \bar{f}_c)]}{\sum_1^n (\ln V_i - \ln \bar{V})^2} = \frac{0,189}{0,034} = 5,56,$$

$$\ln a_0 = \ln \bar{f}_c - a_1 \cdot \ln \bar{V} = 3,314 - 5,56 \cdot 1,416 = -4,56, \quad a_0 = 0,01.$$

Тоді градуйована залежність $f_c = 0,01 \cdot V^{5,56}$ (МПа).

За отриманою формулою підрахуємо теоретичні значення міцності бетону в залежності від швидкості імпульсу ультразвукової хвилі:

$V, \text{ км/с}$	3,6	3,9	4,1	4,2	4,4	4,5
$f_c, \text{ МПа}$	12,4	19,3	25,5	29,2	37,8	42,8

Відносна похибка результату з найбільшим відхиленням $\varepsilon = \frac{40,0 - 37,8}{37,8} \cdot 100 = 5,8\% < 10\%$, тому збіжність рівняння регресії задовільна.

Таблиця А.1 – Розрахункові дані до побудови градуйованої залежності

V_i км/с	f_{ci} МПа	$\ln V_i$	$\ln f_{ci}$	$\ln V_i -$ $-\ln \bar{V}$	$(\ln V_i - \ln \bar{V})^2$	$\ln f_{ci} -$ $-\ln \bar{f}_c$	$(\ln V_i - \ln \bar{V}) \times$ $(\ln f_{ci} - \ln \bar{f}_c)$
3,6	12,0	1,291	2,485	-0,125	0,016	-0,829	0,104
3,9	20,0	1,351	2,996	-0,065	0,004	-0,318	0,021
4,1	24,0	1,411	3,178	-0,005	0,0	-0,136	0,0
4,2	28,0	1,435	3,332	0,019	0,0	0,018	0,0
4,4	40,0	1,492	3,689	0,076	0,006	0,375	0,029
4,5	41,0	1,504	3,714	0,088	0,008	0,40	0,035
$\bar{V} =$ 4,12	$\bar{f}_c =$ 27,5						
$\ln \bar{V} =$ 1,416	$\ln \bar{f}_c =$ 3,314				$\Sigma = 0,034$		$\Sigma = 0,189$

Електронне навчальне видання

Методичні рекомендації
до самостійної роботи і виконання контрольної роботи
із навчальної дисципліни

«МЕТРОЛОГІЯ І СТАНДАРТИЗАЦІЯ»

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм
навчання зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна
інженерія, освітньо-професійна програма
«Промислове та цивільне будівництво»)*

Укладачі: **СЄДИШЕВ** Євгеній Серафимович,
НАБОКА Анатолій Віталійович,
ПЕТРЕНКО Дмитро Григорович,

Відповідальний за випуск *С. М. Золотов*
Редактор *О. А. Норик*
Комп'ютерне верстання *А. В. Набока*

План 2022, поз. 1М

Підп. до друку 16.04.2025. Формат 60 × 84/16.
Ум. друк. арк. 2,2.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Чорноглазівська (Маршала Бажанова), 17, Харків, 61002
Електронна адреса: office@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 5328 від 11.04.2017.