

Міністерство освіти і науки України

Центральноукраїнський національний технічний університет

Кафедра будівельних, дорожніх машин і будівництва

СТАНДАРТИЗАЦІЯ І МЕТРОЛОГІЯ В БУДІВНИЦТВІ

**Методичні рекомендації до практичних занять
для здобувачів освіти усіх форм навчання за спеціальністю
192 – Будівництво та цивільна інженерія**

Затверджено
на засіданні кафедри
Будівельних, дорожніх машин і будівництва
18 січня 2023 року, протокол № 11

Кропивницький 2023

Стандартизація і метрологія в будівництві. Методичні рекомендації до практичних занять для здобувачів освіти усіх форм навчання за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія. / [уклад. : В. А. Пашинський] ; М-во освіти і науки України, Центральнoукраїнський національний технічний університет, кафедра будівельних, дорожніх машин і будівництва. - Кропивницький : ЦНТУ, 2023. – 30 с.

Укладач – д.т.н., професор Пашинський В.А.

Рецензент – к.т.н., доцент Яцун В.В.

Відповідальний за випуск – завідувач кафедри будівельних,
дорожніх машин і будівництва,
професор Настоящий В.А.

© ЦНТУ, Кропивницький, пр. Університетський, 8
© Пашинський В.А.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1. Практичне заняття № 1. Ознайомлення з системою Державних будівельних норм та стандартів у галузі будівництва	5
2. Практичне заняття № 2. Визначення вимог до якості будівельних матеріалів і виробів за технічними умовами на будівельну продукцію.....	6
3. Практичне заняття № 3. Визначення вимог до будівель і будівельних конструкцій за Державними будівельними нормами України	9
4. Практичне заняття № 4. Вибір засобів вимірювання для безпосереднього визначення параметрів будівельних виробів і конструкцій	11
5. Практичне заняття № 5. Статистичний аналіз і нормування міцності бетону при стиску	13
6. Практичне заняття № 6. Статистичний аналіз точності розмірів будівельних виробів і конструкцій.....	18
7. Практичне заняття № 7. Аналіз точності непрямих вимірювань технічних характеристик будівельних матеріалів і виробів	22
Рекомендована література	25
Додаток А. Технічні характеристики часто вживаних засобів вимірювання	26
Додаток Б. Функція нормального розподілу	27
Додаток В. Робочі формули для оцінювання результатів непрямих вимірювань технічних характеристик будівельних матеріалів і виробів.....	28

ВСТУП

Навчальна дисципліна "Стандартизація і метрологія в будівництві" є складовою фахової підготовки бакалаврів будівництва. Метою дисципліни є вивчення методологічних основ та практичних методів формування якості будівельної продукції на основі контролю точності виготовлення виробів і конструкцій, забезпечення відповідності їх фізико-технічних характеристик вимогам Державних будівельних норм і Державних стандартів України, метрологічного забезпечення контролю встановлених параметрів у процесі виготовлення будівельних матеріалів та виробів, монтажу конструкцій та зведення будівель і споруд. Перелік компетентностей та результатів навчання, які мають бути отримані при вивченні навчальної дисципліни "Стандартизація і метрологія в будівництві" наведено в робочій програмі та в силабусі дисципліни, які доступні на сайті дистанційної освіти ЦНТУ.

На практичних заняттях здобувачі освіти виконують індивідуальні розрахункові завдання та роблять короткі повідомлення за темою заняття. Мета цих занять полягає в набутті умінь користуватися нормативними документами, зокрема Державними будівельними нормами України та Державними стандартами України, отриманні практичних навичок вибору засобів вимірювання для забезпечення необхідної точності результатів вимірювань, а також виконання статистичної обробки та аналізу результатів досліджень.

Перед кожним практичним заняттям необхідно ознайомитися з поставленим завданням та з літературою, вказаною у відповідному розділі методичних рекомендацій. Нормативні документи, навчальні посібники, довідкова література та методичні рекомендації, потрібні для виконання індивідуальних завдань, містяться на сайті дистанційної освіти університету або знаходяться в мережі Internet за посиланнями, вказаними в списку літератури. На занятті здобувачі освіти під керівництвом викладача обговорюють методику роботи й виконують індивідуальні завдання, підготовлені викладачем. При необхідності використання персонального комп'ютера робота над індивідуальним завданням може завершуватися під час самостійної роботи здобувачів освіти.

Оцінювання навчальних досягнень здобувачів освіти здійснюється за правилами, викладеними в робочій програмі та в силабусі навчальної дисципліни "Стандартизація і метрологія в будівництві", які опубліковані на сайті дистанційної освіти ЦНТУ.

Практичне заняття № 1

ОЗНАЙОМЛЕННЯ З СИСТЕМОЮ ДЕРЖАВНИХ БУДІВЕЛЬНИХ НОРМ ТА СТАНДАРТІВ У ГАЛУЗІ БУДІВНИЦТВА

Мета заняття: ознайомитися зі структурою національної системи нормування та з видами нормативних документів у галузі будівництва.

Вихідні дані: Державні будівельні норми України ДБН А.1.1-1-2009 "Система нормування та стандартизації у будівництві. Основні положення" [10] та Державний стандарт України ДСТУ 1.0:2003 "Національна стандартизація. Основні положення" [11].

Завдання: проаналізувати й систематизувати зміст основоположних нормативних документів [10], [11], виділивши вказані нижче ознаки.

За змістом ДБН А.1.1-1-2009 [10]:

- мета й завдання нормування у галузі будівництва;
- перелік об'єктів нормування у галузі будівництва та видів відповідних нормативних документів;
- загальна структура системи нормування й стандартизації у будівництві з класифікацією нормативних документів на класи, підкласи та системи;
- види, позначення, юридичний статус та галузі застосування ДБН та інших нормативних документів у галузі будівництва;
- загальний порядок розроблення й застосування нормативних документів для будівельної галузі.

За змістом ДСТУ 1.0:2003 [11]:

- мета, завдання та принципи здійснення стандартизації;
- структурований перелік об'єктів стандартизації за галузями застосування;
- види, юридичний статус, призначення та позначення нормативних документів;
- організація робіт зі стандартизації, у тому числі замовлення, розроблення, затвердження та застосування;
- завдання міжнародного співробітництва зі стандартизації;
- державний нагляд за процесами стандартизації.

Розв'язання здійснюється шляхом систематизації інформації, наведеної в рекомендованих нормативних документах [10], [11] і в навчальних посібниках [1], [2]. Результати вивчення рекомендованої літератури слід оформити у вигляді схем, таблиць чи ієрархічних списків-переліків.

Рекомендовані джерела інформації:

[10], [11], [1] – 2.6.1, 2.7.1, [2] – 5.2...5.4

Практичне заняття № 2

ВИЗНАЧЕННЯ ВИМОГ ДО ЯКОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ І ВИРОБІВ ЗА ТЕХНІЧНИМИ УМОВАМИ НА БУДІВЕЛЬНУ ПРОДУКЦІЮ

Мета заняття: навчитися працювати з нормативними документами, визначати за ними необхідні технічні характеристики та вимоги до конструкції та якості будівельних матеріалів і виробів.

Вихідні дані: найменування технічних характеристик матеріалу чи виробу, а також відповідний стандарт, що регламентує технічні умови на будівельні конструкції, матеріали та вироби.

Завдання: встановити можливі чи необхідні значення вказаних у завданні технічних характеристик будівельних конструкцій, матеріалів чи виробів, можливі межі їх зміни, допустимі відхилення та методи контролю.

Порядок розв'язання базується на вивченні Державних стандартів України, які регламентують вимоги до вказаних у завданні характеристик будівельних конструкцій, матеріалів чи виробів значення. Виконувати завдання рекомендується в такому порядку:

1. За посібником [1], ДБН [6] і каталогами [8], [9] ознайомитися зі структурою та класифікацією загальнодержавних нормативних документів, які регламентують вимоги до будівельних конструкцій, матеріалів чи виробів.

2. В мережі Internet відшукати чинний Державний стандарт України, що регламентує властивості вказаного в завданні будівельного матеріалу, виробу чи конструкції, та ознайомитися з його змістом. У процесі пошуку можна скористатися переліком чинних нормативних документів [9].

3. За знайденим стандартом встановити вимоги до вказаних у завданні технічних характеристик матеріалу, виробу чи конструкції, допустимі відхилення від цих вимог та методи контролювання. Зробити виписки з посиланнями на структурні частини вивченого стандарту, у яких наведені вимоги до необхідних властивостей чи технічних характеристик.

4. При наявності посилань на інші нормативні документи в частині методів контролювання технічних характеристик слід знайти і вивчити ці документи та зробити з них необхідні виписки.

5. Проаналізувати вимоги стандартів та зробити висновки щодо вимог до матеріалу, виробу чи конструкції в конкретних умовах їх використання.

Рекомендовані джерела інформації:

[1] – 2.7, [6], [9]

Приклад виконання. Встановити можливі значення товщини плит з мінеральної вати, які можуть використовуватися для фасадного утеплення будівель у якості ефективного теплоізоляційного матеріалу.

1. Згідно з класифікатором, наведеним в ДБН [6], технічні вимоги до будівельних матеріалів встановлюються комплексом стандартів ДСТУ Б В.2.7 "Будівельні матеріали".

2. Технічні вимоги до плит з мінеральної вати викладені в стандарті ДСТУ Б В-167:2008 (EN 13162:2001, NEQ) "Вироби теплоізоляційні з мінеральної вати на синтетичному зв'язуючому. Загальні технічні умови", який знайдено в мережі Internet за адресою: https://dnaop.com/html/43933/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3_%D0%91_%D0%92.2.7-167_2008_%28%D0%95N_13162_2001%2C_N%D0%95Q%29

3. Вимоги до розмірів (у тому числі до товщини) мінераловатних плит, а також методів контролювання розмірів встановлені такими пунктами ДСТУ Б В-167:2008:

5.1.4 Плити виготовляють прямокутної форми нормованих розмірів за довжиною, шириною і товщиною.

5.1.6 Номінальні розміри виробів та гранично-допустимі відхилення

5.1.6.2 Номінальні розміри плит у міліметрах:

- довжина 1000; 1200;
- ширина 500; 600;
- товщина 20 - 200 з інтервалом 10.

5.1.6.4 За узгодженням між виробником і споживачем допускається виготовляти вироби інших розмірів за умови дотримання всіх інших вимог, встановлених у цьому стандарті і в нормативному документі на конкретний вид продукції, в тому числі і щодо гранично-допустимих відхилень від номінальних розмірів.

5.1.6.5 Гранично-допустимі відхилення від номінальних розмірів виробів повинні бути в межах:

- за довжиною $\pm 2,0\%$;
- за шириною $\pm 1,5\%$;
- за товщиною:
 - в) плит марок за густиною до 75 + 5%; - 3%;
 - г) плит марок за густиною понад 75 до 225 + 3 мм; - 1%;

5.1.6.6 Непрямокутність плит не повинна перевищувати 5 мм/м.

5.1.6.7 Відхилення від площинності плит не повинно перевищувати 6 мм.

5.1.6.8 Різниця довжин діагоналей плити не повинна бути більше 5 мм.

10.2 Геометричні розміри, відхилення від номінальних розмірів, дефекти зовнішнього вигляду, ... контролюють згідно з ДСТУ Б В.2.7-38.

4. Вивчення ДСТУ Б В.2.7-38 (ГОСТ 17177-94) "Матеріали і вироби будівельні теплоізоляційні. Методи випробувань" показало, що методи і засоби вимірювання лінійних розмірів встановлені в розділі 4. Довжину і ширину плит вимірюють лінійкою (при розмірі до 1 м) або рулеткою (при розмірі понад 1 м) з похибкою $\pm 0,5$ мм. Вимірювання виконуються посередині виробу та на відстані 50 мм від обох кінців плити. Вимірювання товщини плити здійснюється в центрі та в кожному з кутів за допомогою спеціального товщиноміра. Результат кожного з виміряних значень, округлений до 1 мм, не повинен виходити за межі вказаних вище допустимих відхилень.

5. Аналіз технічних умов показав, що для фасадної теплоізоляції будівель можна використовувати плити з мінеральної вати на синтетичному зв'язуючому з густиною не менше 75 кг/см^3 . Вони можуть мати товщину від 20 мм до 200 мм з інтервалом 10 мм. Допускається відхилення товщини плит у більшу сторону на 3 мм, а в меншу – в межах 1%, що при найбільшій товщині плити 200 мм складає 2 мм.

Висновки. При проектуванні та улаштуванні фасадного утеплення будівель можна приймати значення товщини плит з мінеральної вати від 20 мм до 200 мм з кроком зміни товщини 10 мм.

Практичне заняття № 3

ВИЗНАЧЕННЯ ВИМОГ ДО БУДІВЕЛЬ І БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗА ДЕРЖАВНИМИ БУДІВЕЛЬНИМИ НОРМАМИ УКРАЇНИ

Мета заняття: навчитися працювати з нормативними документами, визначати за ними вимоги до будівель, споруд і будівельних конструкцій, встановлені нормами планувальні та конструктивні параметри.

Вихідні дані: найменування будівлі, її характеристик і параметрів, які слід забезпечити при проектуванні, а також відповідні ДБН, що регламентують ці параметри й характеристики.

Завдання: встановити можливі чи необхідні значення вказаних у завданні характеристик та параметрів будівель, споруд чи будівельних конструкцій, допустимі відхилення та методи контролю.

Порядок розв'язання базується на вивченні й аналізі Державних будівельних норм України, які регламентують вимоги до вказаних у завданні характеристик та параметрів будівель, споруд чи будівельних конструкцій. Виконувати завдання рекомендується в такому порядку:

1. За посібником [1], ДБН [6] і каталогом [8] ознайомитися зі структурою та класифікацією Державних будівельних норм (ДБН), які регламентують вимоги до будівельних конструкцій, будівель та споруд.

2. В мережі Internet відшукати чинний розділ ДБН, що регламентує вимоги до будівельних конструкцій, будівель та споруд, та ознайомитися з його змістом. У процесі пошуку можна скористатися переліком чинних ДБН [8].

3. За знайденим розділом ДБН встановити вимоги до вказаних у завданні характеристик і параметрів будівлі, споруди чи конструкції та способи забезпечення цих вимог. Зробити виписки з посиланнями на структурні частини вивченого розділу ДБН, де наведені встановлені вимоги.

4. При наявності посилань на інші нормативні документи слід знайти і вивчити ці документи та зробити з них необхідні виписки.

5. За результатами аналізу вимог ДБН дати відповідь на питання, поставлене в індивідуальному завданні.

Рекомендовані джерела інформації:

[1] – 2.7, [6], [8]

Приклад виконання. Встановити, якими повинні бути висота поверху, площі та габарити основних приміщень у квартирах житлових будинків.

1. Згідно з класифікатором, наведеним в ДБН [6], технічні вимоги до будівель встановлюються комплексом Державних будівельних норм ДБН В.2.2 "Будівлі та споруди".

2. Вимоги до житлових будинків встановлені в ДБН В.2.2-15:2019 "Житлові будинки. Основні положення", які знайдені за інтернет-адресою: https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2019/08/IB_8-19.pdf

3. Архітектурно-планувальні рішення житлових будинків регламентовані в розділі 5 ДБН В.2.2-15:2019. Він містить такі положення:

Пункт 5.6. Висота житлових приміщень від підлоги до стелі повинна бути не менше 2,5 м. У районах із середньомісячною температурою липня 21°C і більше, яку визначають згідно з ДСТУ-Н Б В.1.1-27, висоту житлових приміщень необхідно приймати не менше 2,7 м. Висоту внутрішньо-квартирних коридорів, санвузлів та інших підсобних приміщень допускається знижувати до 2,1 м.

Пункт 5.19. Площа загальної кімнати в однокімнатній квартирі повинна бути не меншою 14 м², в інших квартирах – не менше 16 м². Мінімальна площа спальні на одну особу – 8 м², на дві особи – 10 м². Мінімальна площа кухні – 8 м², в однокімнатній квартирі допускається зменшувати площу кухні до 5 м². Допускається в квартирах влаштування кухні-ніші, а також об'єднання кухні із загальною кімнатою (вітальнею) за умови їх обладнання електроплитою та примусовою витяжною вентиляцією.

Загальні площі квартир визначаються за таблицею 1 ДБН В.2.2-15:2019 залежно від кількості житлових кімнат:

	Кількість житлових кімнат				
	1	2	3	4	5
Нижня і верхня межа площі квартир, м ²	28-40	44-53	56-65	70-80	84-98
Примітка. Площі квартир дано без урахування площі літніх приміщень.					

Пункт 5.22. Ширина підсобних приміщень квартир повинна бути не менше: кухні – 1,8 м; передпокою – 1,5 м; коридорів, що ведуть до житлових кімнат, – 1,1 м.

Пункти 5.26...5.28 містять додаткові вимоги до площ квартир для осіб літнього віку та для осіб з інвалідністю.

4. ДСТУ-Н Б В.1.1–27:2010 "Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія" містить таблицю з середньомісячними значеннями температури повітря у 57 містах України, за якою й можна встановити середню температуру липня.

5. Таким чином, висота житлових приміщень від підлоги до стелі повинна бути не менше 2,5...2.7 м, а площі квартири в цілому та окремих приміщень повинні відповідати вимогам пункту 5.19 ДБН В.2.2-15:2019.

Висновки. При розробленні архітектурно-планувальних рішень житлових будинків слід керуватися вимогами розділу 5 ДБН В.2.2-15:2019 "Житлові будинки. Основні положення".

Практичне заняття № 4

ВИБІР ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ДЛЯ БЕЗПОСЕРЕДНЬОГО ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ БУДІВЕЛЬНИХ ВИРОБІВ І КОНСТРУКЦІЙ

Мета заняття: навчитися вибирати засоби безпосереднього вимірювання параметрів будівельних виробів і конструкцій з умови забезпечення достатньої точності результатів.

Вихідні дані: найменування параметра, який необхідно виміряти (розмір, маса тощо) та орієнтовні або номінальні значення цього параметра виробу за відповідним стандартом.

Завдання: виходячи з номінального значення вимірюваного параметра будівельного виробу та технічних характеристик можливих засобів вимірювання, обрати засіб вимірювання, використання якого забезпечить простоту вимірювань і достатню точність результатів.

Розв'язання зводиться до вибору засобу вимірювання, який забезпечить достатню точність результатів вимірювання. Критерієм вибору є очікувана величина відносної похибки результату. Вибір засобу вимірювання здійснюється в такому порядку:

1. За технічними умовами на виріб, його кресленням чи описом встановлюється орієнтовне очікуване значення вимірюваного параметра.

2. За паспортними даними засобів вимірювання, які можна використати, встановлюються їх ціни поділок на шкалі, що відповідає очікуваному значенню вимірюваного параметра. Вибірковий перелік засобів вимірювання різних фізичних величин з їх характеристиками наведено в додатку А.

3. Для кожного з обраних засобів вимірювання визначається відносна похибка результату за формулою

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta_x}{2 \cdot X_0} \times 100\%, \quad (4.1)$$

де Δ_x – ціна поділки засобу вимірювання;

X_0 – очікуване значення вимірюваного параметра.

Формула (4.1) враховує, що похибка правильно виконаного вимірювання не перевищує половини ціни поділки використаного засобу вимірювання.

4. Остаточний вибір засобу вимірювання здійснюється шляхом порівняння відносних похибок, які дають усі проаналізовані вимірювальні прилади. При цьому слід орієнтуватися не на досягнення найменшої можливої похибки, а враховувати також складність і трудомісткість процесу вимірювання. Вибір засобу вимірювання повинен задовольняти практичні потреби з урахуванням як точності результату, так і простоти його отримання.

Рекомендовані джерела інформації:

[1] – 1.6, 1.7, 1.8.1, 1.8.2, с. 43-50, 51-54

[2] – 1.4, 1.5, 2.1, 2.2

ДСТУ – технічні умови на досліджуваний виріб

Приклад виконання. Необхідно обрати прилад для вимірювання лінійних розмірів керамічної цегли.

1. Вимоги до керамічної цегли встановлені в ДСТУ Б В.2.7-61:2008 (EN 771-1:2003, NEQ) "Цегла та камені керамічні рядові та лицьові. Технічні умови". Згідно з таблицею 4.2 ДСТУ Б В.2.7-61:2008, одинарна керамічна цегла нормального формату, яка зазвичай виготовляється й використовується в Україні, повинна мати розміри 250×120×65 мм. Отже, при виборі засобу вимірювання слід проаналізувати три значення очікуваних розмірів цегли.

2. Згідно з додатком А, вимірювання розмірів цегли можна реально виконати сталевую лінійкою з ціною поділки 1 мм та штангенциркулем з ціною поділки 0,1 мм.

3. Для кожного з обраних засобів вимірювання та кожного з трьох розмірів цегли обчислюємо відносну похибку вимірювання за формулою (4.1). Результати обчислень зводимо в таблицю:

Засіб вимірювання	Відносні похибки вимірювання за (4.1):		
	довжини 250 мм	ширини 120 мм	товщини 65 мм
Лінійка з $\Delta_x = 1$ мм	0,20%	0,42%	0,77%
Штангенциркуль з $\Delta_x = 0,1$ мм	0,02%	0,04%	0,08%

4. Результати обчислень вказують на цілком задовільну точність вимірювання сталевую лінійкою з ціною поділки 1 мм. Найбільша відносна похибка вимірювання товщини цегли не перевищує 1%, а ширина й довжина вимірюються набагато точніше. Використання штангенциркуля дає надмірну точність і при цьому істотно ускладнює процес вимірювання.

Висновки. Вимірювання лінійних розмірів керамічної цегли слід виконувати сталевую лінійкою з ціною поділки 1 мм. Це відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-61:2008, де в пункті 9.5 вказано, що "визначення лінійних розмірів виробів, відхилів від прямолінійності ребер та площинності граней, відбитості кутів, відбитості і притуплення ребер виконують згідно з ГОСТ 26433.1 з похибкою не більше 1 мм".

Практичне заняття № 5

СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ РОЗМІРІВ БУДІВЕЛЬНИХ ВИРОБІВ І КОНСТРУКЦІЙ

Мета заняття: за результатами обмірювань партії будівельних виробів чи конструкцій встановити їх відповідність до вимог стандартів.

Вихідні дані: результати вимірювання розмірів партії з 10...30 виробів чи конструкцій та технічні умови з вимогами до їх розмірів.

Завдання: виконати статистичну обробку результатів вимірювань як вибірки випадкової величини, отримати її закон розподілу та імовірність попадання виміряного розміру в межі, встановлені технічними умовами.

Порядок розв'язання базується на методиці статистичної обробки вибірок випадкових величин, детально викладеній в посібнику [3]. Розрахунки слід виконувати в такій послідовності:

1. За методикою підрозділу 3.3 посібника [3] виконати статистичну обробку наявної вибірки розмірів X_i обсягом N значень з визначенням мінімального $X_{\min}$ та максимального $X_{\max}$ значення, а також числових характеристик вибірки:

середнього значення
$$M = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \quad (5.1)$$

стандартного відхилення
$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - M)^2}{N - 1}} \quad (5.2)$$

коефіцієнта варіації
$$V = S/M \quad (5.3)$$

Статистичну обробку можна виконувати вручну, як вказано в наведеному нижче прикладі, або в середовищі Microsoft Excel, з використанням функцій: МИН(список), МАКС(список), СРЗНАЧ(список), СТАНДОТКЛОН.В(список). Аргумент (список) визначає область комірок, які містять вибірку розмірів виробу чи конструкції X_i . Можна також скористатися готовим розрахунковим бланком, наведеним в додатку Б до посібника [3] на аркуші "Б.1".

2. За методикою підрозділу 3.2 посібника [3] побудувати гістограму розподілу наявної вибірки розмірів. Для побудови гістограми в середовищі Microsoft Excel використовують функцію ЧАСТОТА(список, С_j), яка визначає кількість даних в області „список”, менших або рівних заданій межі j -того інтервалу C_j . Як і для визначення числових характеристик, можна скористатися готовим розрахунковим бланком, наведеним в додатку Б до посібника [3] на робочому аркуші Б.1.

3. Візуально перевірити можливість опису побудованої гістограми розподілу нормальним законом розподілу, який описаний у пункті 2.4.2 посібника [3]. Крива густини нормального розподілу (розподілу Гауса) має симетричну пагорбоподібну форму та описується аналітичним виразом:

$$f(x) = \frac{1}{S \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(x-M)^2}{2 S^2} \right], \quad (5.4)$$

де M і S – середнє значення та стандартне відхилення за формулами (2.1) і (2.2).

4. За технічними умовами на виріб чи за кресленням конструкції визначити номінальне значення L_0 розміру, що аналізуються, допустиме відхилення від номінального значення $\pm \Delta_L$, а також мінімальне $L_{\min} = L_0 - \Delta_L$ та максимальне $L_{\max} = L_0 + \Delta_L$ допустимі значення розміру.

5. Виходячи з закону нормального розподілу (5.4) обчислити імовірності того, що розмір L випадково вибраного виробу буде:

- меншим від мінімально допустимого значення $L_{\min}$ – згідно з формулою (2.5) з посібника [3], а саме $P_{\min} = F(t_{\min})$;
- більшим від максимально допустимого значення $L_{\max}$ – згідно з формулою (2.6) з посібника [3], а саме $P_{\max} = 1 - F(t_{\max})$;
- відповідати вимогам стандарту чи креслення $L_{\min} \leq L \leq L_{\max}$ – згідно з формулою (2.3) з посібника [3], а саме $P_0 = F(t_{\max}) - F(t_{\min})$.

Вказані імовірності визначаються за функцією нормального розподілу $F(t)$, яка наведена в додатку Б згідно з таблицею А.1 посібника [3]. Для цього необхідно обчислити нормовані значення аргументу нормального розподілу, що відповідають мінімально та максимально допустимому значенням дослідженого розміру виробу:

$$t_{\min} = (L_{\min} - M) / S, \quad t_{\max} = (L_{\max} - M) / S. \quad (5.5)$$

При використанні таблиці нормального розподілу слід пам'ятати, що $F(-t) = 1 - F(t)$. Для обчислень у середовищі Microsoft Excel можна скористатися статистичною функцією *НОРМРАСП*($x, M, S, 1$).

Результати проведеного аналізу дозволяють зробити висновки щодо якості виготовлення дослідженого виробу чи конструкції та їх відповідності вимогам технічних умов чи креслень. Різниця середнього (5.1) та номінального значення $M - L_0$ вказує на систематичне відхилення розміру виробів від вимог стандарту. Досить висока імовірність перебування дослідженого розміру в межах встановлених вимог $P_0 \geq 0,95$ дозволяє зробити загальний висновок про відповідність стандарту, а імовірності виходу за мінімальну $P_{\min}$ та за максимальну $P_{\max}$ встановлену межу вказують на необхідність і напрям коригування технологічного процесу виготовлення виробу.

Рекомендовані джерела інформації:

[1] – 1.9.1–1.9.3

[2] – 2.3

[3] – 2.2, 2.3, 2.4.2, 3.1–3.3, 3.6, 6.1

[4] – 1.1–1.4, 2.1, 2.3, 3.1, 3.2

ДСТУ – технічні умови на досліджуваний виріб

Приклад виконання. У результаті вимірювання довжини $N = 10$ зразків рядової керамічної цегли отримані такі значення (в міліметрах):

249 247 251 255 251 253 250 252 249 253

1. Статистичну обробку наявної вибірки з 10 значень довжини цегли виконуємо вручну за формулами (5.1)...(5.3). Мінімальне та максимальне значення дорівнюють $X_{\min} = 247$ мм та $X_{\max} = 255$ мм. Середнє значення і стандартне відхилення обчислюємо в таблиці, нижній рядок якої містить суми довжин для формули (2.1) та суми квадратів відхилень для формули (5.2):

Номер i	X_i	$X_i - M$	$(X_i - M)^2$
1	249	-2	4
2	247	-4	16
3	251	0	0
4	255	4	16
5	251	0	0
6	253	2	4
7	250	-1	1
8	252	1	1
9	249	-2	4
10	253	2	4
Суми:	2510	0	50

Середнє значення дорівнює
$$M = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i = \frac{2510}{10} = 251,0 \text{ мм.}$$

Стандартне відхилення дорівнює
$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - M)^2}{N - 1}} = \sqrt{\frac{50}{9}} = 2,36 \text{ мм}$$

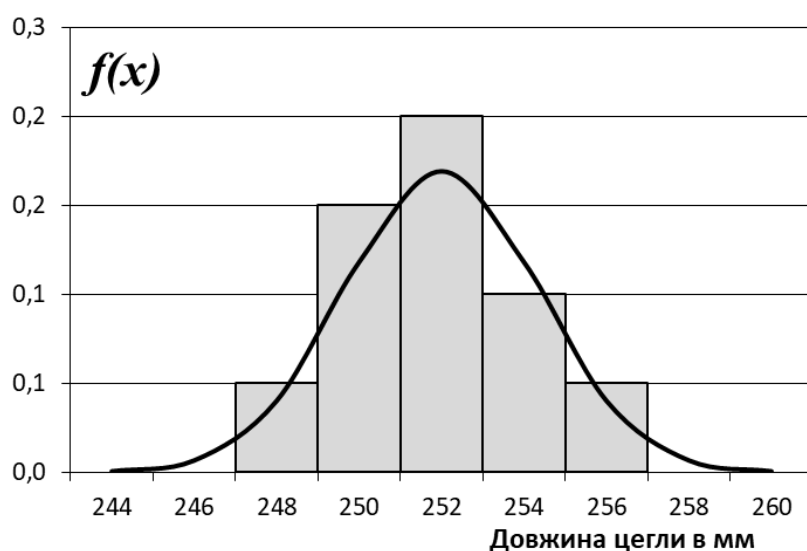
Коефіцієнт варіації дорівнює
$$V = S/M = 2,36/251 = 0,009 = 0,9\%.$$

2. Для побудови гістограми розподілу область визначення випадкової величини довжини цегли розбиваємо на 5 інтервалів довжиною 2 мм кожен. Перша колонка таблиці містить межі обраних інтервалів C_j . Підрахунок кількості даних у кожному інтервалі N_j , імовірності попадання в інтервал P_j та дослідної густини розподілу f_j виконуємо за методикою підрозділу 3.2 посібника [3] у формі таблиці:

C_j	N_j	P_j	f_j	f_t
246	0	0,0000	0,0000	0,0066
248	1	0,1000	0,0500	0,0401
250	3	0,3000	0,1500	0,1181
252	4	0,4000	0,2000	0,1693
254	2	0,2000	0,1000	0,1181
256	1	0,1000	0,0500	0,0401

Остання колонка таблиці містить теоретичні значення густини нормального розподілу, обчислені за формулою (5.4).

3. За даними таблиці побудована гістограма розподілу з нанесеною кривою густини нормального розподілу. З рисунка видно, що не дивлячись на малу кількість даних, ця крива досить добре описує дослідну гістограму. Отже, нормальний закон розподілу можна використовувати для опису випадкової величини довжини керамічної цегли.



4. Вимоги до керамічної цегли встановлені в ДСТУ Б В.2.7-61:2008 (EN 771-1:2003, NEQ) "Цегла та камені керамічні рядові та лицьові. Технічні умови". Згідно з таблицею 4.2 ДСТУ Б В.2.7-61:2008, одинарна керамічна цегла нормального формату повинна мати довжину 250 мм. В таблиці 5.1 ДСТУ Б В.2.7-61:2008 вказано, що допустиме значення відхилення довжини рядової цегли складає ± 5 мм. Отже, стандартом допускається використання рядової цегли довжиною 245...255 мм. Виявлені у пункті 1 фактичні розміри обміряних зразків рядової цегли $X_{\min} = 247$ мм та $X_{\max} = 255$ мм відповідають цим вимогам.

5. Проведений аналіз показав, що випадкова величина довжини цегли може бути описана законом нормального розподілу (5.4). Це дозволяє оцінити імовірності того, що розмір L випадково вибраного виробу буде відповідати чи не відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.7-61:2008. Нормовані значення аргументу нормального розподілу, що відповідають мінімально та максимально допустимому значенням довжини рядової керамічної обчислюються за формулами (5.5):

$$t_{\min} = (L_{\min} - M) / S = (245 - 251) / 2,36 = -2,54,$$

$$t_{\max} = (255 - 251) / 2,36 = 1,69.$$

Отримані значення аргументу дозволяють визначити функцію нормального розподілу за таблицею, наведеною в додатку Б.

Імовірність того, що розмір L випадково вибраної цеглини буде меншим від мінімально допустимого значення $L_{\min} = 245$ мм, дорівнює

$$P_{\min} = F(t_{\min}) = F(-2,54) = 1 - 0,994 = 0,006.$$

Імовірність того, що розмір L випадково вибраної цеглини буде більшим від максимально допустимого значення $L_{\max} = 255$ мм, дорівнює

$$P_{\max} = 1 - F(t_{\max}) = 1 - F(1,69) = 1 - 0,954 = 0,046.$$

Імовірність того, що розмір L випадково вибраної цеглини буде відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.7-61:2008 $L_{\min} \leq L \leq L_{\max}$, дорівнює

$$P_0 = F(t_{\max}) - F(t_{\min}) = F(1,69) - F(-2,54) = 0,954 - 0,006 = 0,948.$$

Висновки. Результати виконаної статистичної обробки дозволяють стверджувати наступне:

1. Досліджена рядова керамічна цегла в середньому на 1 мм довша від вимог ДСТУ Б В.2.7-61:2008.
2. Довжина 0,6% цеглин з дослідженої партії є меншою від значення 245 мм, мінімально допустимого ДСТУ Б В.2.7-61:2008.
3. Довжина 4,6% цеглин з дослідженої партії є більшою від значення 255 мм, максимально допустимого ДСТУ Б В.2.7-61:2008.
4. Відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-61:2008 до довжини рядової керамічної цегли 94,8% цеглин з дослідженої партії, а 5% цеглин слід вважати браком.
5. За критерієм відповідності довжини вимогам чинного ДСТУ Б В.2.7-61:2008 досліджена рядова керамічна цегла придатна для використання при зведенні стін будівель.

Практичне заняття № 6

СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ І НОРМУВАННЯ МІЦНОСТІ БЕТОНУ ПРИ СТИСКУ

Мета заняття: за результатами випробувань зразків встановити марку і клас міцності бетону на стиск.

Вихідні дані: результати випробувань партії з 10...30 зразків бетону та вимоги, встановлені в ДСТУ Б В.2.7-176:2008 (EN 206-1:2000, NEQ) "Суміші бетонні та бетон. Загальні технічні умови".

Завдання: виконати статистичну обробку значень межі міцності при стиску бетонних зразків як вибірки випадкової величини, підтвердити можливість її опису законом нормального розподілу, встановити клас міцності випробуваного бетону на стиск.

Порядок розв'язання базується на методиці статистичної обробки вибірок випадкових величин, детально викладеній в посібнику [2] та використаній при виконанні практичного заняття № 5. Розрахунки слід виконувати в такій послідовності:

1. Згідно з вимогами пунктів 5.5.1.1. і 5.5.1.2 ДСТУ Б В.2.7-176:2008 (EN 206-1:2000, NEQ) "Суміші бетонні та бетон. Загальні технічні умови", клас міцності бетону на стиск визначається на зразках циліндричної форми діаметром 150 мм і висотою 300 мм або кубічної форми з довжиною ребра 150 мм у віці 28 діб із забезпеченістю 95 %. Підготовка та випробування зразків здійснюються згідно з ДСТУ Б В.2.7-214:2009. "Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками". Окрім стандартних зразків вказаних вище розмірів допускається використання зразків циліндричної форми діаметрами 100 мм, 200 мм і 300 мм з висотою, рівною двом діаметрам, а також зразків кубічної форми з довжиною ребра 100 мм, 200 мм і 300 мм. Міцність кожного зразка визначається за формулою (1) ДСТУ Б В.2.7-214:2009:

$$f_c = \frac{\alpha \cdot F \cdot k_w}{A}, \quad (6.1)$$

де F – руйнівне навантаження, Н;

A – площа робочого перерізу зразка, мм²;

α – масштабний коефіцієнт з таблиці 5 ДСТУ Б В.2.7-214:2009;

k_w – коефіцієнт з таблиці 6 ДСТУ Б В.2.7-214:2009, який враховує вологість ніздрюватого бетону на момент випробування.

Якщо надані для аналізу значення міцності обчислені без урахування коефіцієнтів α та k_w , їх необхідно привести до стандартних умов випробування згідно з формулою (6.1) та поясненнями до неї.

2. За методикою підрозділу 3.3 посібника [3] виконати статистичну обробку наявної вибірки розмірів X_i обсягом N значень з визначенням мінімального $X_{\min}$ та максимального $X_{\max}$ значення, а також числових характеристик вибірки:

- середнього значення за формулою (5.1) або функцією СРЗНАЧ(список);
- стандартного відхилення за (5.2) або функцією СТАНДОТКЛОН.В(список);
- коефіцієнта варіації за формулою (5.3).

Для обчислень у середовищі Microsoft Excel можна також скористатися розрахунковим бланком, наведеним в додатку Б до посібника [3] на аркуші "Б.1" або "Приклад_Бетон".

3. За методикою підрозділу 3.2 посібника [3] побудувати гістограму розподілу наявної вибірки значень межі міцності. Для побудови гістограми в середовищі Microsoft Excel використовують функцію ЧАСТОТА(список, С_j), яка визначає кількість даних в області „список”, менших або рівних заданій межі j -того інтервалу C_j .

4. Візуально перевірити можливість опису побудованої гістограми розподілу нормальним законом розподілу, який описаний у пункті 2.4.2 посібника [3]. Крива густини нормального розподілу (розподілу Гауса) будується на гістограмі за результатами обчислень за формулою (5.4), у яку слід підставити середнє значення M та стандартне відхилення S , які були обчислені в пункті 2 за формулами (5.1) і (5.2).

5. Показник класу міцності бетону дорівнює мінімальному значенню границі міцності із забезпеченістю 0,95. Виходячи з нормального закону розподілу, його можна визначити за формулою

$$B = M - 1,64 \cdot S, \quad (6.2)$$

де M і S – середнє значення і стандартне відхилення, отримані в пункт 2;

1,64 – аргумент функції нормального розподілу для забезпеченості 0,95.

За отриманим значенням (6.2) з урахуванням типу випробуваних зразків обирається стандартне позначення класу бетону за міцністю на стиск: за таблицею 4.7 ДСТУ Б В.2.7-176:2008 – для важкого бетону, а за таблицею 4.8 ДСТУ Б В.2.7-176:2008 – для легкого бетону. У позначенні класу бетону перша цифра відповідає міцності циліндричних зразків діаметром 150 мм, а друга цифра – міцності зразків кубічної форми з ребром довжиною 150 мм. Наприклад, 95% кубічних зразків важкого бетону класу С 20/25 будуть міцнішими за 25 МПа, а 95% циліндричних зразків легкого бетону класу LC 20/22 будуть міцнішими за 20 МПа.

Марка важкого чи легкого бетону за міцністю на стиск дорівнює середньому значенню границі міцності, отриманому за результатами випробування стандартних зразків.

Рекомендовані джерела інформації:

[1] – 1.9.1–1.9.3

[3] – 2.2, 2.4.2, 2.5, 3.2, 3.3, 3.6, 6.1

ДСТУ Б В.2.7-176:2008 (EN 206-1:2000, NEQ) "Суміші бетонні та бетон.

Загальні технічні умови"

ДСТУ Б В.2.7-214:2009. "Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками"

Приклад виконання. Проведені випробування на стиск 24 зразків важкого бетону кубічної форми з розміром ребра 150 мм. У результаті випробувань та обчислень за формулою (6.1) отримані такі значення границі міцності (в мегапаскалях):

30,8	30,8	27,1	30,3	40,7	39,7	29,6	32,6	36,2	30,5	25,9	34,1
27,0	29,2	35,0	31,5	27,4	33,1	32,4	33,1	31,8	34,2	31,3	35,5

Необхідно виконати статистичну обробку результатів випробувань і встановити клас бетону за міцністю на стиск.

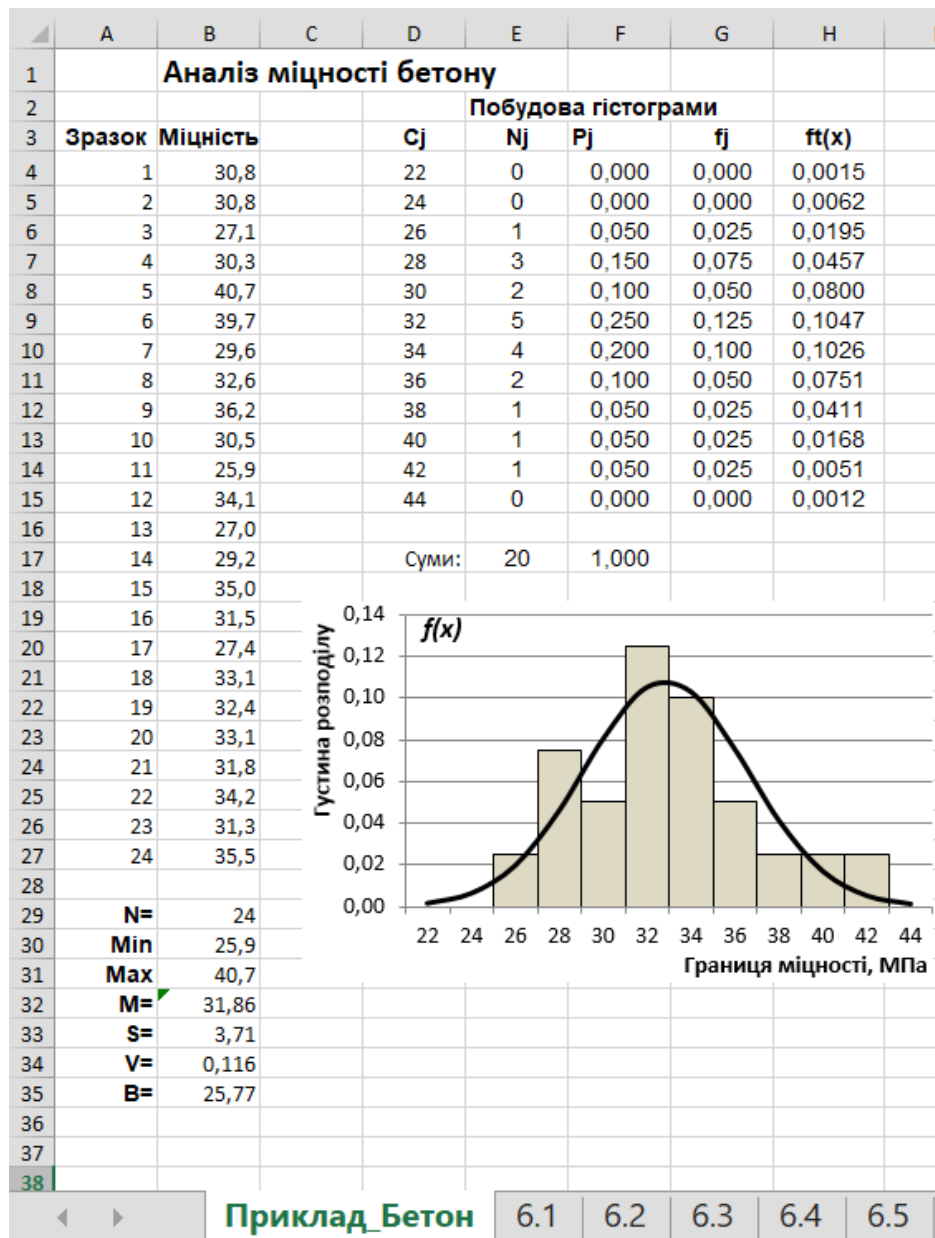
1. Згідно з умовами завдання, випробування виконувалося на кубічних зразках стандартного розміру, а тому наявні результати визначення міцності не вимагають коригування.

2. Статистична обробка наявної вибірки значень границі міцності при стиску виконана за методикою підрозділу 3.3 посібника [3] з використанням наведеного в додатку Б до цього посібника розрахункового бланку, модифікованого відповідно до поставленого завдання. Результати обчислень у середовищі Microsoft Excel наведені на рисунку нижче.

Задані значення границі міцності бетону вказані в комірках B4...B27, а визначені з використанням відповідних статистичних функцій числові характеристики вибірки наведені в комірках B29...B35, де записані відповідні формули для обчислень. Середнє значення міцності дорівнює $M = 31,86$ МПа, а стандартне відхилення $S = 3,71$ МПа. Коефіцієнт варіації $V = 0,116$ вказує на достатню однорідність випробуваного бетону.

3. Гістограму розподілу вибірки значень межі міцності побудована за методикою підрозділу 3.2 посібника [2]. Необхідні обчислення виконані в комірках D3...G17 з використанням функції ЧАСТОТА(список, C_j), а сама гістограма наведена під таблицею.

4. Графік густини нормального розподілу побудований на цьому ж рисунку за даними комірок H4...H15. Значення густини розподілу в цих комірках обчислені за функцією НОРМРАСП($X; M; S; 0$), у якій аргумент X відповідає серединам інтервалів гістограми, заданих у комірках D4...D15. З рисунка видно, що крива густини нормального розподілу (2.4) загалом задовільно описує дослідну гістограму.



5. Показник класу міцності бетону за формулою (6.2) дорівнює

$$B = M - 1,64 \cdot S = 31,86 - 1,64 \cdot 3,71 = 25,8 \text{ МПа}.$$

це значення вказане також у комірці B35 розрахункового бланка Excel.

За отриманим значенням показника класу міцності з таблиці 4.7 ДСТУ Б В.2.7-176:2008 обираємо стандартне позначення класу важкого бетону за міцністю на стиск С 20/25. Середнє значення міцності $M = 31,86$ МПа вказує на марку бетону М300.

Висновки. За результати виконаної статистичної обробки випробуваний важкий бетон слід віднести до марки М300 та класу міцності на стиск С 20/25.

Практичне заняття № 7

АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ НЕПРЯМИХ ВИМІРЮВАНЬ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ І ВИРОБІВ

Мета заняття: з урахуванням оцінок точності кінцевих результатів обрати засоби вимірювання окремих параметрів при експериментальному визначенні технічних характеристик будівельних матеріалів і виробів.

Вихідні дані: найменування технічної характеристики матеріалу чи виробу, метод її непрямого визначення за результатами випробувань і характеристики дослідних зразків.

Завдання: проаналізувати й порівняти імовірні похибки кінцевого результату непрямого вимірювання вказаної технічної характеристики (густини міцності, вологості тощо) на зразках нестандартних розмірів чи форми при використанні різних засобів вимірювання вхідних параметрів (лінійних розмірів, маси, сили) та обрати засоби вимірювання, які забезпечують достатню точність кінцевого результату.

Порядок розв'язання базується на методиці оцінювання невизначеності результатів непрямих вимірювань технічних характеристик, викладеній в [4]. Ця методика зводиться до лінеаризації функцій випадкових величин за відомими правилами теорії імовірностей [3]. В додатку В наведені готові робочі формули для оцінювання імовірних похибок визначення вологості, середньої густини та границі міцності при стиску будівельних матеріалів, запозичені з роботи [5]. Аналіз точності кінцевого результату та вибір засобів вимірювання вхідних параметрів рекомендується виконувати в такій послідовності:

1. За стандартами на методи випробувань, довідковою та навчальною літературою ознайомитися з методами визначення технічної характеристики, яка розглядається.

2. За технічними умовами, кресленнями чи описом встановити орієнтовні значення параметрів виробів чи зразків, які вимірюються безпосередньо. За паспортними даними та описами в літературі вибрати можливі засоби вимірювання цих параметрів. Вибірковий перелік засобів вимірювання з їх основними технічними характеристиками наведено в додатку А.

3. За формулами з додатку В обчислити імовірні відносні похибки кінцевого результату непрямого визначення досліджуваної технічної характеристики при різних можливих комбінаціях засобів прямих вимірювань вхідних параметрів.

4. Шляхом порівняння отриманих значень імовірних відносних похибок вибрати комплект засобів вимірювання, який забезпечить достатню точність кінцевого результату та мінімальну трудомісткість вимірювань.

Рекомендовані джерела інформації:

- [1] – 1.9.2
- [4] – 1.3, 1.4.1, 1.4.2, 2.1, 2.3
- [5]

Приклад виконання. З метою контролю міцності конструкції з монолітного пінобетону проводяться випробування на стиск циліндричних зразків нестандартного розміру. Зразки, висвердлені з монолітного масиву, мають діаметр 5 см і висоту 10 см. Необхідно обрати засіб вимірювання діаметра зразка і характеристики випробувальної машини, якщо проектна марка пінобетону становить М 25.

1. Згідно з ДСТУ Б В.2.7-214:2009. "Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками", міцність бетону на стиск може визначатися за результатами випробувань зразків циліндричної форми діаметром 100...300 мм. Границя міцності обчислюється за формулою (6.1), тобто діленням руйнівного навантаження при стиску на площу робочого перерізу зразка. Використання зразків меншого діаметра обумовлене необхідністю їх висвердлювання з існуючого масиву без істотного пошкодження зведеної конструкції.

2. Для визначення границі міцності згідно з ДСТУ Б В.2.7-214:2009 необхідно безпосередньо виміряти діаметр зразка та значення руйнівного навантаження. З додатку встановлюємо, що діаметр зразка можна виміряти сталевією лінійкою з ціною поділки 1 мм або штангенциркулем, який має ціну поділки 0,1 мм.

При діаметрі 50 мм площа перерізу зразка дорівнює 19,6 см². При марці бетону М 25 міцність окремих зразків може бути більшою, але не перевищить 50 кг/см². Найбільше можливе руйнівне навантаження для таких зразків не перевищує $19,6 \times 50 = 980 \text{ кгс} = 9800 \text{ Н} = 9,8 \text{ кН}$, а його середнє значення становить 4900 Н. Прес для випробування рекомендується обирати таким чином, щоб очікуване руйнівне навантаження становило близько половини максимального зусилля преса. У результаті інформаційного пошуку на інтернет-сторінці <https://flagma.ua/press-ispytatelny-gidravlicheskiy-p-10-pres-viprobuvalniy-dlya-ispytaniya-o11072931.html> знайдено гідравлічний лабораторний прес П-10 з максимальним зусиллям 100 кН та ціною поділки вказівника сили 0,2 кН = 200 Н.

3. Імовірна відносна похибка визначення межі міцності циліндричних зразків діаметром d обчислюється за формулою з додатку В:

$$\Delta_R = \frac{38,2 \cdot t_\beta}{R \cdot d^3} \cdot \sqrt{d^2 \cdot D_F^2 + F^2 \cdot D_d^2}, \quad (7.1)$$

де d – діаметр зразка в мм;

D_d – ціна поділки приладу для вимірювання діаметра, мм;

F – руйнівне зусилля, Н;

D_F – ціна поділки приладу для вимірювання зусилля, Н;

R очікуване значення границі міцності, Н/мм²;

$t_\beta = 1,96$ визначає рівень забезпеченості похибки $\beta = 0,95$.

Розглядаємо два варіанти випробування, які відрізняються точністю вимірювання діаметра зразка. При вимірюванні лінійкою з ціною поділки $D_d = 1$ мм імовірна похибка дорівнює

$$\Delta_R = \frac{38,2 \cdot 1,96}{5 \cdot 50^3} \cdot \sqrt{50^2 \cdot 200^2 + 4900^2 \cdot 1^2} = 1,33\%.$$

При вимірюванні діаметра зразка штангенциркулем з ціною поділки $D_d = 0,1$ мм імовірна похибка дорівнює

$$\Delta_R = \frac{38,2 \cdot 1,96}{5 \cdot 50^3} \cdot \sqrt{50^2 \cdot 200^2 + 4900^2 \cdot 0,1^2} = 1,20\%.$$

Виконані розрахунки показують, що точність вимірювання діаметра зразка мало впливає на імовірну похибку визначення границі міцності при стиску. Імовірні похибки, рівні 1,33% та 1,20%, вказують на придатність обох способів вимірювання вхідних параметрів. Для подальшого уточнення результату бажано вибрати випробувальну машину з меншим максимальним навантаженням та меншою ціною поділки шкали зусиль.

Висновки. Вимірювання діаметра циліндричного зразка у процесі визначення границі міцності пінобетону при стиску можна виконувати як сталевією лінійкою з ціною поділки 1 мм, так і штангенциркулем з ціною поділки 0,1 мм.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Гара О.А. Основи метрології і стандартизації в будівництві [Навчальний посібник] / О. А. Гара. – Одеса: ПОЛІГРАФ, 2016. – 256 с. Режим доступу: <http://mx.ogasa.org.ua/handle/123456789/3845>
2. Метрологія і стандартизація. Конспект лекцій (для студентів 2 - 4 курсів денної і заочної форм навчання за напрямом підготовки 0921 – «Будівництво»). Авт.: Є.С. Сєдишев. – Харків: ХНАМГ, 2008. – 84 с. Режим доступу: <https://eprints.kname.edu.ua/47159/1/2017%20Л%20Є.С.Сєдишев.Метрологія.Конспект%20лекцій%202017.pdf>
3. Статистичні методи в інженерних дослідженнях. Навчальний посібник для здобувачів вищої освіти з інженерних спеціальностей. / В.А. Пашинський: – Кропивницький: ЦНТУ, 2020. – 106 с. Режим доступу: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/10108>
4. Поджаренко В. О., Васілевський О. М., Кучерук В. Ю. Опрацювання результатів вимірювань на основі концепції невизначеності. Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2008. – 128 с. Режим доступу: https://www.researchgate.net/profile/Oleksandr-Vasilevskyi/publication/303252530_Opracuvanna_rezultativ_vimiruvan_na_osnovi_koncepcii_neviznacenosti/links/573a094c08ae9f741b2c9d78/Opracuvanna-rezultativ-vimiruvan-na-osnovi-koncepcii-neviznacenosti.pdf
5. Пашинський В.А., Пашинський М.В., Дарієнко В.В. Метрологічне забезпечення контролю технічних характеристик будівельних матеріалів і виробів // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. Вип. 5(36). Кропивницький: ЦНТУ. 2022. <http://mapiea.kntu.kr.ua/eng/archive.html>
6. ДБН А.1.1-1-2009 Система нормування та стандартизації у будівництві. Основні положення. К.: 2013. – 13 с. Режим доступу: <https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2016/12/DBN-A.1.1-1-2009.pdf>
7. ДСТУ 1.0:2003 Національна стандартизація. Основні положення. – Київ, 2003. – 14 с. Режим доступу: https://dnaop.com/html/60448/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3_1.0_2003
8. Каталог будівельних норм та нормативних документів національного рівня у галузі будівництва та промисловості будівельних матеріалів України (станом на 1 січня 2018 року). – Режим доступу: <https://dbn.co.ua/load/book/17-1-0-790> , <https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2018/10/KATALOG-NOVIY-2018.pdf>
9. Каталог нормативних документів у галузі будівництва і промисловості будівельних матеріалів (за станом на 01.01.2008 року) – Режим доступу: <https://dnaop.com/get/45544/>

Додаток А

Технічні характеристики часто вживаних засобів вимірювання

Вимірювані величини	Назви і марки засобів вимірювання	Межі вимірювань	Точність вимірювань
Лінійні розміри	Сталеві рулетки	0...10 м	1 мм
	Сталеві лінійки	0...1 м	1 мм
	Штангенциркулі	0...250 мм	0,1 мм
	Мікрометри	0...100 мм	0,001 мм
Маса	Терези поштові	до 20 кг	10 г
	Терези технічні	до 1000 г	0,1 г
	Терези аналітичні	до 1000 г	0,01 г
	Терези електронні	до 6 кг	0,01...0,1 г
Навантаження, зусилля	Динамометри (пружинні, гідравлічні, тензометричні) Випробувальні машини	до 500 кН і більше 5...5000 кН	близько 0,01 максимального навантаження
Переміщення	Прогиномір-лінійка	до 200 мм	1 мм
	Прогиномір важільний	до 20 мм	0,1 мм
	Прогиномір Аістова	необмежені	0,01 мм
	Індикатор годинникового типу	10 мм	0,01 мм
Відносні деформації	Тензометр Гугенбергера з базою 20 мм	0,05 мм	0,001 мм (0,00005)
	Тензометр Гугенбергера з базою 250 мм	0,05 мм	0,001 мм (0,000004)
	Тензометр Аістова з базою 20 мм	необмежені	0,001 мм (0,00005)
	Тензометр Аістова з базою 500 мм	необмежені	0,001 мм (0,0000002)
	Електричні тензометри (тензорезистори) з базами 5...200 мм)	0,00001–0,01	0,00001

Примітка: В таблиці вказані орієнтовні технічні характеристики найбільш поширених засобів вимірювання. Більш точні значення необхідно встановлювати за паспортними даними конкретних приладів.

Додаток Б

Функція нормального розподілу

(наведені лише десяткові знаки після коми)

t	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	50000	50398	50797	51196	51595	51993	52392	52790	53188	53585
0,1	53982	54379	54775	55171	55567	55961	56355	56749	57142	57534
0,2	57925	58316	58706	59095	59483	59870	60256	60641	61026	61409
0,3	61791	62171	62551	62930	63307	63683	64057	64430	64802	65173
0,4	65542	65909	66275	66640	67003	67364	67724	68082	68438	68793
0,5	69146	69497	69846	70194	70540	70884	71226	71566	71904	72240
0,6	72574	72906	73237	73565	73891	74215	74537	74857	75174	75490
0,7	75803	76114	76423	76730	77035	77337	77637	77935	78230	78523
0,8	78814	79103	79389	79673	79954	80233	80510	80784	81057	81326
0,9	81594	81858	82121	82381	82639	82894	83147	83397	83645	83891
1,0	84134	84375	84613	84849	85083	85314	85542	85769	85992	86214
1,1	86433	86650	86864	87076	87285	87492	87697	87899	88099	88297
1,2	88493	88686	88876	89065	89251	89435	89616	89795	89972	90147
1,3	90319	90490	90658	90824	90987	91149	91308	91465	91620	91773
1,4	91924	92073	92219	92364	92506	92647	92785	92921	93056	93188
1,5	93319	93447	93574	93699	93821	93942	94062	94179	94294	94408
1,6	94520	94630	94738	94844	94949	95052	95154	95254	95352	95448
1,7	95543	95636	95728	95818	95907	95994	96079	96163	96246	96327
1,8	96406	96485	96562	96637	96711	96784	96855	96925	96994	97062
1,9	97128	97193	97257	97319	97381	97441	97500	97558	97614	97670
2,0	97724	97778	97830	97882	97932	97981	98030	98077	98123	98169
2,1	98213	98257	98299	98341	98382	98422	98461	98499	98537	98573
2,2	98609	98644	98679	98712	98745	98777	98808	98839	98869	98898
2,3	98927	98955	98982	99009	99035	99061	99086	99110	99134	99157
2,4	99180	99202	99223	99245	99265	99285	99305	99324	99343	99361
2,5	99379	99396	99413	99429	99445	99461	99476	99491	99505	99520
2,6	99533	99547	99560	99573	99585	99597	99609	99620	99631	99642
2,7	99653	99663	99673	99683	99692	99702	99710	99719	99728	99736
2,8	99744	99752	99759	99767	99774	99781	99788	99794	99801	99807
2,9	99813	99819	99824	99830	99835	99841	99846	99851	99855	99860
3,0	99865	99869	99873	99877	99881	99885	99889	99892	99896	99899
3,1	99903	99906	99909	99912	99915	99918	99921	99923	99926	99928
3,2	99931	99933	99935	99938	99940	99942	99944	99946	99948	99949
3,3	99951	99953	99954	99956	99958	99959	99961	99962	99963	99965
3,4	99966	99967	99968	99969	99970	99971	99972	99973	99974	99975
3,5	99976	99977	99978	99979	99979	99980	99981	99982	99982	99983
3,6	99984	99984	99985	99985	99986	99986	99987	99987	99988	99988
3,7	99989	99989	99990	99990	99990	99991	99991	99991	99992	99992
3,8	99992	99993	99993	99993	99993	99994	99994	99994	99994	99994
3,9	99995	99995	99995	99995	99995	99996	99996	99996	99996	99996

Додаток В

Робочі формули для оцінювання результатів непрямих вимірювань технічних характеристик будівельних матеріалів і виробів

У цьому додатку наведені робочі формули для оцінювання імовірних відносних похибок результатів непрямих вимірювань основних технічних характеристик будівельних матеріалів і виробів, запозичені зі статті [5]. Наведені також рівняння непрямих вимірювань, які відповідають формулам для визначення технічних характеристик матеріалів згідно зі стандартами на методи випробувань. У формулах (В.1)...(В.14) використані такі позначення:

a, b, c, d – розміри зразка, виміряні з однаковою точністю;

m_c і m_n – маси сухого і вологого (насиченого водою) зразка;

D_F, D_m, D_a – ціни поділок засобів вимірювання зусилля, маси та розмірів зразка.

F – руйнівне зусилля при випробуванні на стиск;

t_β – аргумент функції нормального розподілу, що відповідає забезпеченості β .

Формули імовірних відносних похибок результатів непрямих вимірювань характеристик припускають, що усі розміри зразка вимірюються з однаковою точністю, тобто $D_a = D_b = D_c = D_d$. Значення t_β відповідає двосторонній забезпеченості, тобто забезпеченість β дорівнює імовірності перебування дослідженої характеристики в межах $M - \Delta \dots M + \Delta$. За наведеною в додатку Б таблицею нормального розподілу при $t_\beta = 1,64$ отримуємо забезпеченість результату $\beta = 0,9$, при $t_\beta = 1,96 - \beta = 0,95$, а при $t_\beta = 2,58 - \beta = 0,99$. Це означає, що відносна похибка результату визначення технічної характеристики не перевищує наведених нижче значень для 90%, 95% чи 99% випадків.

Нижче наведені формули для обчислення за результатами випробувань та оцінювання імовірних відносних похибок непрямого визначення таких технічних характеристик будівельних матеріалів і виробів:

Водопоглинання та вологість за масою:

$$W = \frac{m_n - m_c}{m_c} \cdot 100\% \quad (\text{В.1})$$

$$\Delta_W = \frac{3000 \cdot t_\beta \cdot D_m}{W \cdot m_c^2} \cdot \sqrt{m_c^2 + m_n^2}. \quad (\text{В.2})$$

Середня густина зразків у формі паралелепіпеда з розмірами $a \times b \times c$:

$$\rho = \frac{m}{a \cdot b \cdot c} \quad (\text{В.3})$$

$$\Delta_\rho = \frac{30 \cdot t_\beta}{\rho \cdot a^2 \cdot b^2 \cdot c^2} \cdot \sqrt{a^2 \cdot b^2 \cdot c^2 \cdot D_m^2 + (a^2 \cdot b^2 + a^2 \cdot c^2 + b^2 \cdot c^2) \cdot m^2 \cdot D_a^2} \quad (\text{В.4})$$

Середня густина зразків кубічної форми з ребром a :

$$\rho = \frac{m}{a^3} \quad (\text{B.5})$$

$$\Delta_\rho = \frac{30 \cdot t_\beta}{\rho \cdot a^4} \cdot \sqrt{a^2 \cdot D_m^2 + 3 \cdot m^2 \cdot D_a^2} \quad (\text{B.6})$$

Середня густина циліндричних зразків діаметром d та висотою c :

$$\rho = \frac{4 \cdot m}{\pi \cdot c \cdot d^2} \approx \frac{1,27 \cdot m}{c \cdot d^2} \quad (\text{B.7})$$

$$\Delta_\rho = \frac{38,2 \cdot t_\beta}{\rho \cdot c^2 \cdot d^2} \cdot \sqrt{c^2 \cdot d^2 \cdot D_m^2 + (d^2 + c^2) \cdot m^2 \cdot D_c^2} \quad (\text{B.8})$$

Границя міцності при стиску призматичних зразків з прямокутним перерізом розмірами $a \times b$:

$$R = \frac{F}{a \cdot b} \quad (\text{B.9})$$

$$\Delta_R = \frac{30 \cdot t_\beta}{R \cdot a^2 \cdot b^2} \cdot \sqrt{a^2 \cdot b^2 \cdot D_F^2 + (a^2 + b^2) \cdot F^2 \cdot D_a^2} \quad (\text{B.10})$$

Границя міцності при стиску зразків квадратного перерізу зі стороною a :

$$R = \frac{F}{a^2} \quad (\text{B.11})$$

$$\Delta_R = \frac{30 \cdot t_\beta}{R \cdot a^3} \cdot \sqrt{a^2 \cdot D_F^2 + 2 \cdot F^2 \cdot D_a^2} \quad (\text{B.12})$$

Границя міцності при стиску циліндричних зразків діаметром d та висотою c :

$$R = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot d^2} \approx \frac{1,27 \cdot F}{d^2} \quad (\text{B.13})$$

$$\Delta_R = \frac{38,2 \cdot t_\beta}{R \cdot d^3} \cdot \sqrt{d^2 \cdot D_F^2 + F^2 \cdot D_d^2} \quad (\text{B.14})$$

Розрахунки за формулами (B.1)...(B.14) з урахуванням фактичних значень вхідних параметрів та можливої точності їх вимірювання дозволяють оцінити відносні похибки непрямих вимірювань основних технічних характеристик будівельних матеріалів і виробів та здійснити обґрунтований вибір засобів вимірювання для забезпечення необхідної точності результатів.

Навчально-методичне електронне видання

СТАНДАРТИЗАЦІЯ І МЕТРОЛОГІЯ В БУДІВНИЦТВІ

Методичні рекомендації до практичних занять
для здобувачів освіти усіх форм навчання
спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія.

Укладач – д.т.н., професор Пашинський В.А.

Рецензент – к.т.н., доцент Яцун В.В

© ЦНТУ, Кропивницький, пр. Університетський, 8

© Пашинський В.А.