

МЕТОДИ СТАТИСТИЧНОЇ ОЦІНКИ ДОСТОВІРНОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ У БУДІВНИЦТВІ

С. Хачатурян, кандидат технічних наук, доцент
Центральноукраїнський національний технічний університет
Н. Бурхан, викладач
Кропивницький будівельний фаховий коледж

Розвиток сучасного будівництва супроводжується активним упровадженням нових матеріалів, технологій та конструктивних рішень, ефективність яких визначається результатами експериментальних і теоретичних досліджень. Разом із цим підвищуються вимоги до достовірності наукових результатів, оскільки навіть незначні похибки у статистичній обробці даних можуть спричинити помилки в інженерних розрахунках, зниження надійності конструкцій та економічні втрати під час реалізації будівельних проєктів.

Особливістю будівельних досліджень є значна варіативність експериментальних показників, яка обумовлюється неоднорідністю структури матеріалів, зміною умов навантаження, температурно-вологісними впливами та технологічними відхиленнями під час виготовлення конструкцій. У таких умовах використання лише середніх значень показників не забезпечує об'єктивної оцінки результатів. Саме тому виникає необхідність застосування статистичних методів, здатних визначити ступінь достовірності отриманих даних, оцінити межі випадкових похибок та встановити статистичну значущість виявлених закономірностей.

Проблемам статистичної оцінки експериментальних результатів присвячені праці багатьох українських і зарубіжних учених. У роботах І.В. Костюка розглядаються основи математичної статистики та особливості використання параметричних критеріїв для оцінки достовірності результатів технічних досліджень [1, с. 24-31]. О.В. Масюк приділяє увагу застосуванню дисперсійного аналізу й методів перевірки статистичних гіпотез під час обробки експериментальних даних у технічних системах [2, с. 58-63].

У дослідженнях С.М. Петренка обґрунтовано доцільність використання коефіцієнта варіації для оцінки однорідності вибірок у будівельних експериментах [3, с. 49-52]. Ю.В. Шабатура зазначає, що для багатофакторних будівельних досліджень найбільш ефективним є застосування дисперсійного аналізу, який дозволяє визначити ступінь впливу окремих технологічних факторів на кінцеві властивості конструкцій [4, с. 101-106].

Разом із цим аналіз наукових джерел показує, що більшість досліджень присвячена окремим статистичним методам, тоді як питання їх комплексного використання для оцінки достовірності результатів будівельних досліджень висвітлено недостатньо. Це зумовлює необхідність систематизації основних статистичних підходів та визначення особливостей їх практичного застосування у сфері будівництва.

Метою роботи є дослідження методів статистичної оцінки достовірності результатів наукових досліджень у будівництві та визначення особливостей їх застосування під час аналізу експериментальних даних. Для досягнення поставленої мети передбачено здійснити аналіз основних статистичних показників, дослідити можливості використання параметричних критеріїв оцінювання, визначити роль коефіцієнта варіації у встановленні однорідності вибірок, а також обґрунтувати доцільність застосування дисперсійного аналізу при дослідженні багатофакторних процесів у будівництві.

Достовірність результатів наукових досліджень у будівництві визначається не лише точністю вимірювань, а й правильністю статистичної інтерпретації отриманих даних. У більшості випадків будівельні експерименти характеризуються значною варіативністю показників, що пов'язано з неоднорідністю фізико-механічних властивостей матеріалів та

складністю технологічних процесів. Тому одним із ключових завдань статистичної обробки є встановлення меж допустимих коливань результатів та оцінка їх репрезентативності.

Для аналізу експериментальних даних у будівництві найбільш поширеним є використання середнього арифметичного значення:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i.$$

Однак застосування лише середнього значення не дозволяє оцінити ступінь розсіювання результатів. У зв'язку з цим важливого значення набуває визначення стандартного відхилення:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}.$$

На основі аналізу статистичних даних встановлено, що для будівельних матеріалів із високим рівнем структурної неоднорідності величина стандартного відхилення може становити 8÷15 % від середнього значення показника. Це свідчить про необхідність оцінки не лише абсолютних, а й відносних характеристик варіації.

У цьому контексті важливим показником є коефіцієнт варіації:

$$V = \frac{S}{\bar{x}} \cdot 100\%.$$

Практика проведення будівельних експериментів показує, що при значенні коефіцієнта варіації до 10% вибірка може вважатися статистично однорідною, тоді як перевищення цього показника свідчить про нестабільність результатів або наявність прихованих факторів впливу [3, с. 51].

У табл. 1 наведено результати статистичної оцінки міцності бетонних зразків, отриманих у процесі експериментальних досліджень.

Таблиця 1 – Результати статистичної оцінки експериментальних даних

Показник	Серія А	Серія Б
Середня міцність, МПа	42,8	45,1
Стандартне відхилення	2,6	3,9
Коефіцієнт варіації, %	6,1	8,6
Довірча ймовірність	0,95	0,95

Аналіз даних табл. 1 свідчить, що обидві серії випробувань характеризуються достатньо високою статистичною однорідністю, оскільки коефіцієнт варіації не перевищує граничного значення 10%. Разом із тим для серії Б спостерігається більший рівень розсіювання результатів, що може бути пов'язано з неоднорідністю структури бетонної суміші або відмінностями у режимах тверднення. Це підтверджує необхідність урахування статистичних параметрів під час оцінювання експериментальних даних.

Для перевірки статистичної значущості відмінностей між результатами досліджень використовується критерій Стюдента:

$$t = \frac{x_1 - x_2}{\sqrt{m_1^2 + m_2^2}}.$$

Застосування цього критерію дозволяє встановити, чи є різниця між показниками наслідком впливу досліджуваного фактору, чи вона виникла випадково. У будівельних дослідженнях критерій Стюдента широко використовується для порівняння ефективності різних технологій ущільнення бетонних сумішей, визначення впливу модифікуючих добавок та оцінки змін міцності матеріалів під дією зовнішніх факторів [5, с. 73-75].

Важливу роль у забезпеченні достовірності результатів відіграє дисперсійний аналіз, який дозволяє оцінити ступінь впливу окремих факторів на результуючий показник. Зокрема, у дослідженнях технології виготовлення бетонів встановлено, що найбільший вплив на кінцеву міцність мають водоцементне співвідношення та режим ущільнення суміші [4, с. 103].

На рис. 1 наведено структурну схему статистичної оцінки достовірності результатів будівельних досліджень. Даний рисунок є повноцінною логічною моделлю обробки даних. Він демонструє перехід від інтуїтивного оцінювання (одиничне випробування) до доказового управління якістю в будівництві. Це дозволяє не просто констатувати факт міцності, а прогнозувати поведінку будівлі протягом усього життєвого циклу.



Рисунок 1 – Послідовність статистичної оцінки результатів будівельних досліджень

Рис. 1 візуалізує системний підхід до обробки експериментальних даних у будівництві – від «сирих» результатів випробувань до прийняття відповідальних інженерних рішень. Як видно з рисунка, статистична оцінка достовірності результатів є багатоступеневим процесом, який передбачає послідовне застосування комплексу методів математичної статистики та метрології. Процес перетворення вхідних даних на інформацію для звітності має лінійну структуру з логічними переходами, що мінімізує ризик суб'єктивної оцінки результатів. При цьому найбільш важливим етапом є перевірка статистичних гіпотез, оскільки саме вона дозволяє обґрунтувати достовірність встановлених закономірностей та забезпечити наукову об'єктивність отриманих результатів.

Важливим аспектом є відсів промахів (outliers) (етап 1). У будівництві це важливо, адже один аномальний результат випробування бетону на стиск може спотворити загальну картину міцності конструкції.

Оцінка закону розподілу (етап 3) є «фундаментом» статистичного аналізу. Вибір між нормальним розподілом (Гауса) чи розподілом Вейбулла визначає, які формули будуть використані далі. Для будівельних матеріалів перевірка за критеріями Пірсона (χ^2) або Колмогорова-Смирнова є обов'язковою процедурою згідно з ДСТУ.

На етапі 5 відбувається наукова перевірка того, чи є різниця між двома серіями випробувань (наприклад, різними партіями цементу) випадковою, чи вона зумовлена реальними факторами.

На відміну від чистої математики, дана послідовність завершується прийняттям інженерного рішення (етап 6). Це інтеграція статистичної ймовірності у площину нормативних вимог (ДБН). Тут визначається, чи відповідає надійність конструкції встановленим коефіцієнтам безпеки.

Отже, комплексне застосування статистичних методів забезпечує підвищення точності наукових досліджень у будівництві, дозволяє зменшити вплив випадкових похибок та створює підґрунтя для прийняття обґрунтованих інженерних рішень.

У результаті проведеного дослідження встановлено, що статистична оцінка достовірності є необхідною складовою наукових досліджень у будівництві, оскільки саме вона забезпечує об'єктивність отриманих результатів та підвищує надійність інженерних рішень.

Доведено, що використання лише середніх значень показників не дозволяє повною мірою оцінити характер експериментальних даних, тому важливого значення набуває аналіз параметрів варіації та статистичної однорідності вибірок.

У ході дослідження визначено, що коефіцієнт варіації є одним із найбільш ефективних показників оцінки стабільності результатів будівельних експериментів, оскільки дозволяє встановити рівень розсіювання даних та виявити можливі відхилення у процесі випробувань. Обґрунтовано доцільність застосування критерію Стюдента для перевірки статистичної значущості відмінностей між результатами досліджень, що забезпечує можливість підтвердження або спростування впливу досліджуваних факторів.

Встановлено, що використання дисперсійного аналізу є особливо ефективним у багатофакторних будівельних дослідженнях, де необхідно визначити ступінь впливу окремих технологічних параметрів на властивості матеріалів і конструкцій. Комплексне застосування статистичних методів дозволяє мінімізувати вплив випадкових похибок, підвищити достовірність експериментальних результатів та створити наукове підґрунтя для вдосконалення сучасних будівельних технологій.

Список літератури

1. Костюк І.В. Біостатистика та методи статистичної обробки результатів досліджень : навч. посіб. Ужгород : УжНУ, 2023. 148 с.
2. Масюк О.В. Методика статистичної обробки результатів досліджень : монографія. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2024. 186 с. URL: https://lpnu.ua/?utm_source=chatgpt.com
3. Петренко С.М. Методи оцінки достовірності експериментальних даних у технічних дослідженнях. Київ : Освіта України, 2022. 132 с.
4. Шабатура Ю.В. Теорія та практика дисперсійного аналізу у технічних системах : монографія. Харків : ХНАДУ, 2021. 174 с. URL: https://www.khadi.kharkov.ua/?utm_source=chatgpt.com
5. Гончаренко О.П. Основи математичної статистики у наукових дослідженнях : навч. посіб. Київ : Центр учбової літератури, 2020. 210 с.