

ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В БУДІВНИЦТВІ

УДК 621.791

DOI 10.31649/2311-1429-2025-2-149-155

А. О. Лялюк

ПЛАНУВАННЯ БАГАТОФАКТОРНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ ВПЛИВУ ВОЛОГОВІСТУ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ НА ЙОГО ТЕПЛОПРОВІДНІСТЬ

Вінницький національний технічний університет

Аналіз вітчизняних та зарубіжних досліджень свідчить, що підвищення енергоефективності теплоізоляційної оболонки будівель є суттєвим шляхом з реалізації програми декарбонізації. Для зменшення тепловтрат через зовнішні огорожувальні конструкції використовують будівельні матеріали з певними теплофізичними, екологічними та економічними характеристиками. Теплопровідність теплоізоляційних матеріалів змінюється під впливом антропогенних та природно-кліматичних чинників протягом життєвого циклу будівель. Суттєвим негативним чинником теплоізоляційних матеріалів є їх гігроскопічність, яка є причиною збільшення вологовмісту. В результаті цього збільшується щільність теплоізоляційного матеріалу та відповідно зменшується термічний опір огорожувальних конструкцій. Відсутність системних досліджень впливу вологовмісту теплоізоляційних матеріалів на його теплопровідність зумовило до пошуку впливу визначальних чинників на цільову функцію, а саме термічний опір огорожувальних конструкцій.

Для розроблення методики проведення натурного експериментального дослідження впливу вологовмісту теплоізоляційного матеріалу на його теплопровідність доцільно використовувати результати планування багатofакторного експерименту. Виконано математичне планування експерименту з метою виявлення визначальних чинників, що характеризують фізичні властивості теплоізоляційного матеріалу на цільову функцію. Побудовані поверхні відгуку цільової функції термічного опору та їх довірчі перерізи залежно від вологовмісту. Отримано регресію моделі для функції відгуку параметрів, що характеризують теплофізичні властивості теплоізоляційного матеріалу. Виявлено пріоритетність впливу параметрів теплоізоляційних матеріалів на їх термічний опір. Встановлено, що вологовміст суттєво впливає на теплопровідність теплоізоляційного матеріалу, який використовується для підвищення енергоефективності огорожувальних конструкцій будівель.

Ключові слова: багатofакторний експеримент, вологовміст, огорожувальні конструкції, теплоізоляційні матеріали, теплопровідність, термічний опір.

Вступ

Енергоефективність будівель та оптимальні параметри мікроклімату приміщень визначаються параметрами та станом теплоізоляційної оболонки, при влаштуванні якої використовують будівельні матеріали з різними теплофізичними властивостями [1,2,3,4]. Вибір теплоізоляційних матеріалів при влаштуванні огорожувальних конструкцій є суттєвою домінантою при проектуванні та термомодернізації будівель і потребує врахування різних [4,5,6] чинників та державних будівельних норм [4,5,6]. Теплоізоляційні матеріали огорожувальних конструкцій характеризуються різним рівнем гігроскопічності, тобто здатність адсорбувати воду оточуючого середовища [7,8]. Підвищена гігроскопічність теплоізоляційного матеріалу є причиною збільшення його щільності як наслідок зміни його теплопровідності [8,9,10]. Для захисту теплоізоляції від зовнішньої вологи влаштовують гідроізоляційний шар, який може ушкоджений в разі дії антропогенних факторів, особливо в умовах небезпекової ситуації при дії уражаючих факторів під час воєнних дій [11,12]. Тому питання вивчення впливу вологовмісту теплоізоляційного матеріалу на його теплопровідність є досить вагомим при проектуванні та термомодернізації огорожувальних конструкцій з врахуванням безпекової ситуації в Україні.

Актуальність та аналіз останніх досліджень і публікацій

Однією із визначальних домінант підвищення енергоефективності будівель та теплової надійності огорожувальних конструкцій будівель є зменшення тепловтрат шляхом влаштування ефективної теплоізоляційної оболонки [1,2,3].

Проблемами інтелектуальної підтримки прийняття рішень з управління та організації реалізації заходів з підвищення енергоефективності будівель та їх окремих конструктивних елементів висвітлено в роботах [1,4,14]. Однак потребують подальшого розвитку системного дослідження з оптимізації організаційно-технологічних рішень з влаштування та термомодернізації теплоізоляційної оболонки

будівель, особливо з врахуванням техногенних факторів в умовах небезпекової ситуації [11,13].

Матеріали, які використовуються при влаштуванні огорожувальних конструкцій будівель, в тому числі теплоізоляційні, характеризуються гігроскопічністю, тобто мають властивість адсорбувати воду з оточуючого середовища [7,8]. Підвищений вологовміст матеріалів є причиною збільшення його щільності, так як наслідок зміни його теплопровідності [8,9,10].

Причинами збільшення вологовмісту теплоізоляційних матеріалів можуть бути ґрунтові води внаслідок капілярного всмоктування, недотримання технологічних вимог при виконанні будівельних робіт, недостатній захист від паропроникнення [8].

Пошкодження захисного гідроізоляційного шару теплоізоляційного матеріалу під впливом техногенних факторів та особливо в умовах небезпекової ситуації призводить до збільшення вологовмісту та як наслідок до зменшення термічного опору огорожувальних конструкцій [9].

Відповідно до нормативних вимог [5] теплоізоляційні властивості будівельних матеріалів визначають експериментальним шляхом за результатами вимірювання температури внутрішнього та зовнішнього середовища.

Для визначення теплопровідності теплоізоляційних матеріалів експериментальним шляхом розроблено установку з кліматичною камерою, яка дозволяє створювати гомогенний тепловий потік, що направлений на досліджуваний зразок. Теплопровідність розраховується за реєстрацією зміни температури в різних точках зразка [15].

Методику з розрахункової оцінки тепловологісного стану огорожувальних конструкцій будівель наведено в нормативній літературі [8]. Також підкреслено, що вологісний стан зовнішніх огорожувальних конструкцій характеризується збільшенням вологості матеріалу за масою. Допустимі значення вологості регламентуються в залежності від найменування матеріалу та в холодний період року становлять від 1,2% до 7,0%. Для теплоізоляційних виробів із мінеральної вати допускається вологість до 2,5%.

В роботі [16] для встановлення кількісного взаємозв'язку нараховано елементів конструктивного виконання теплоізоляційної оболонки, а саме вузлів примикання, на термічний опір зовнішніх огорожувальних конструкцій, розглянуто методику та результати планування багатофакторного експерименту, отримано рівняння регресії та поверхні відгуку термічного опору від товщини утеплювача та коефіцієнта теплопровідності теплоізоляційного матеріалу.

Таким чином, аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить про відсутність системних досліджень впливу вологовмісту теплоізоляційного матеріалу на його теплопровідність. Тому дослідження обґрунтування впливу зміни теплофізичних властивостей матеріалів огорожувальних конструкцій, особливо в умовах безпекової ситуації, є актуальними.

Формування мети та постановка задачі статті

Аналіз динаміки досліджень впливу щільності теплоізоляційних матеріалів, які може змінюватися із збільшенням їхньої вологовмістності, при оцінюванні енергоефективності огорожувальних конструкцій будівель дозволив сформулювати мету та задачі досліджень. Метою роботи є обґрунтування оптимальних теплофізичних параметрів теплоізоляційного матеріалу за результатами планування багатофакторного експерименту дослідження чинників, в тому числі вологовмісту, які впливають на термічний опір огорожувальних конструкцій будівель.

Для реалізації мети статті необхідно вирішити наступні задачі:

- за результатами аналізу попередніх досліджень обґрунтувати чинники впливу на термічний опір огорожувальних конструкцій з врахуванням вологовмісту теплоізоляційного матеріалу;
- здійснити обґрунтований вибір динаміки всіх факторів та інтервали варіювань, що впливають на цільову функцію;
- за результатами моделювання багатофакторного експерименту отримати рівняння регресії для функції відгуку для проведення параметричної оптимізації величини термічного опору огорожувальної конструкції з врахуванням чинників теплоізоляційного матеріалу.

Результати досліджень

Між теплопровідністю теплоізоляційного матеріалу та його щільністю існує тісний прямопропорційний зв'язок, тобто із збільшенням щільності матеріалу підвищується теплопровідність виробу із нього.

Розрахунковий приріст вологи ΔW у шарі теплоізоляційного матеріалу огорожувальної конструкції, вологовміст якого збільшується за формулою [8]

$$\Delta W = \frac{W_{\text{зп}}}{\delta_k \rho_k} 100\%, \quad (1)$$

де $W_{\text{зп}}$ – сумарна кількість вологи, що накопичується в шарі теплоізоляційного матеріалу, м³;
 δ_k – товщина шару теплоізоляційного матеріалу, в якому відбувається накопичення вологи, м;
 ρ_k – густина шару теплоізоляційного матеріалу, в якому відбувається накопичення вологи, кг/м³.

Так як теплоізоляційні матеріали характеризуються гігроскопічністю, то під впливом відповідних чинників їх вологовміст підвищується, що спонукає збільшенню їхньої щільності.

Енергоефективність огорожувальних конструкцій будівель відповідно до [1] характеризується приведеним термічним опором

$$R = f(\delta_k, \rho_k, \gamma_k) \quad (2)$$

де γ_k – коефіцієнт теплопровідності теплоізоляційного матеріалу, Вт (м·К).

Для дослідження впливу означених в формулі (1) факторів на термічний опір огорожувальних конструкцій доцільно виконати багатофакторний експеримент методом Бокса-Уїлсона [17,18], що дозволить отримати рівняння регресії для функції відгуку (ф. 2).

Рівні варіювання факторів впливу (ф. 2) на цільову функцію передбачено з врахуванням нормативних вимог до параметрів теплоізоляційних матеріалів, які використовуються в практиці влаштування огорожувальних конструкцій [1,8]. При цьому передбачається, що всі фактори в межах передбачених експериментальним шляхом можуть бути реалізовані та не визивати протиріччя [19]. Для отримання поверхні відгуку для цільової функції здійснено кодування факторів впливу шляхом перетворення факторного простору за формулою)

$$\gamma_j = \frac{(\bar{X}_j - \bar{X}_{jL})}{I_j}, \quad (3)$$

де \bar{X}_j, \bar{X}_{jL} – відповідні рівні факторів,
 I_j – інтервал варіювання факторів.

Прийнято такі значення рівнів факторів в умовному масштабі: мінімальний -1, середній 0, максимальний +1, а зірлові значення +1,681 та -1,681. Основні рівні факторів, інтервали варіювання та можливі істинні значення факторів впливу на цільову функцію наведено в табл. 1.

Перевірка адекватності регресійної моделі виконується за критерієм Фішера шляхом порівняння розрахункового значення критерію з критичним [19].

Кількість дослідів для дрібнофакторного експерименту при квадратичній регресії обчислювалося за формулою

$$N = 2^{k-1} + 2^k + N_0, \quad (4)$$

де k – кількість дослідів,

2 – кількість рівнів,

N_0 – кількість дослідів в центрі плану.

Таблиця 1

| Фактори | Рівні факторів | | | | | Інтервал варіювання |
|--|----------------|------|------|------|--------|---------------------|
| | -1,681 | -1,0 | 0 | +1,0 | +1,681 | |
| X_1 – товщина шару матеріалу | 0,25 | 0,20 | 0,15 | 0,10 | 0,05 | 0,05 |
| X_2 – густина, кг/м ³ | 500 | 400 | 300 | 200 | 100 | 100 |
| X_3 – вологовміст приросту вологи, % | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 1 |
| Теплопровідність, Вт/м ² К | 0,12 | 0,10 | 0,08 | 0,06 | 0,04 | 0,02 |

Для планування експерименту відповідно до залежності (ф.2) та кількість рівнів (табл. 2) кількість дослідів рівна 20.

Таблиця 2

Матриця планування експерименту для цільової функції– термічного опору

| № досліду | X1 | X2 | X3 | X4 | X1X2 | X1X3 | X1X4 | X2X3 | X2X4 | X3X4 | X ₁ ² | X ₂ ² | X ₃ ² | X ₄ ² | Y |
|-----------|----|----|----|----|------|------|------|------|------|------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3,40 |
| 2 | 1 | -1 | 1 | 1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3,85 |
| 3 | 1 | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3,19 |
| 4 | 1 | -1 | -1 | 1 | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3,64 |
| 5 | 1 | 1 | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3,02 |
| 6 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 | 1 | -1 | -1 | 1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3,48 |
| 7 | 1 | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2,70 |
| 8 | 1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3,29 |
| 9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2,80 |
| 10 | 1 | -1 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3,40 |
| 11 | 1 | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 | 1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3,20 |
| 12 | 1 | -1 | -1 | 1 | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2,90 |
| 13 | 1 | 1 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2,70 |
| 14 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3,14 |
| 15 | 1 | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2,40 |
| 16 | 1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2,88 |
| 17 | 1 | -2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 4,00 |
| 18 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 3,20 |
| 19 | 1 | 0 | -2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 2,70 |
| 20 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 3,20 |
| 21 | 1 | 0 | 0 | -2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 2,19 |
| 22 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 2,90 |
| 23 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 2,90 |
| 24 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 3,60 |
| 25 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,50 |
| 26 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,40 |
| 27 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,60 |
| 28 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,50 |
| 29 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,30 |
| 30 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,60 |
| 31 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,70 |

Згідно рекомендацій [18] довірча ймовірність при нормуванні величини результуючої та випадкової похибок знаходиться в межах 0,8...0,9. Значимість коефіцієнта регресії здійснюється за t-критерієм Стьюдента [19].

За результатами планування багатофакторного експерименту для функцій відгуку (ф.2) рівняння регресії для кодових значень факторів (табл. 2) має вигляд

$$R=1.7434X_1-0.1987X_2+0.1079X_3+0.1746X_4-0.0456X_1X_2+0.0372X_1X_3-0.0335X_1X_4-0.0344X_2X_3+0.0169X_2X_4-0.0309X_3X_4+1.7434X_1^2+0.0241X_2^2-0.1384X_3^2-0.2396X_4^2 \quad (5)$$

Причому критерій Фішера не перевищує критичне значення, що свідчить про адекватність математичної моделі значення коефіцієнта кореляції R² = 0,9.

Для дійсних значень факторів впливу (табл. 1) рівняння регресії для функцій відгуку (ф.2) – термічний опір огорожувальних конструкцій виглядає таким чином

$$R=1.4937+10.5821\delta +0.2254\phi +3.3718\lambda-1.7325\delta^2-0.0712\phi^2-5.4823\lambda^2 \quad (6)$$

На рис. 1-3 наведено поверхні відгуку залежності термічного опору огорожувальних конструкцій від факторів впливу, що характеризують параметри теплоізоляційних матеріалів

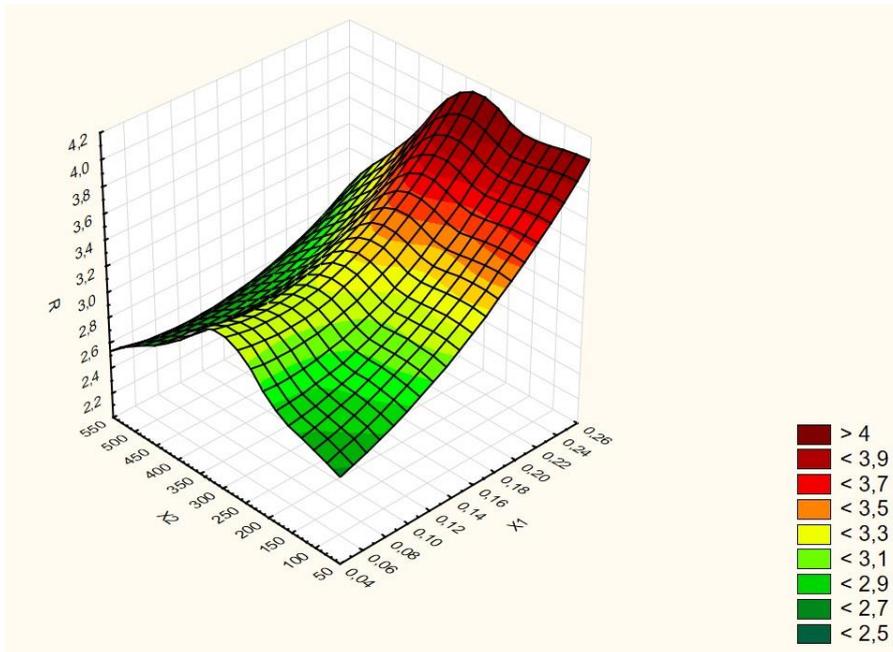


Рисунок 1 – Поверхня відгуку залежності термічного опору від товщини матеріалу та густини матеріалу

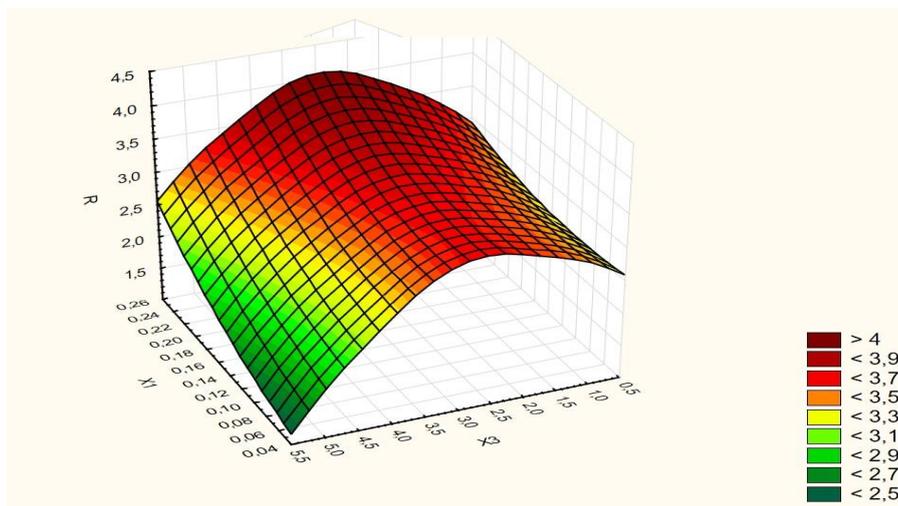


Рисунок 2 – Поверхня відгуку залежності термічного опору від товщини матеріалу та вологовмісту приросту вологи

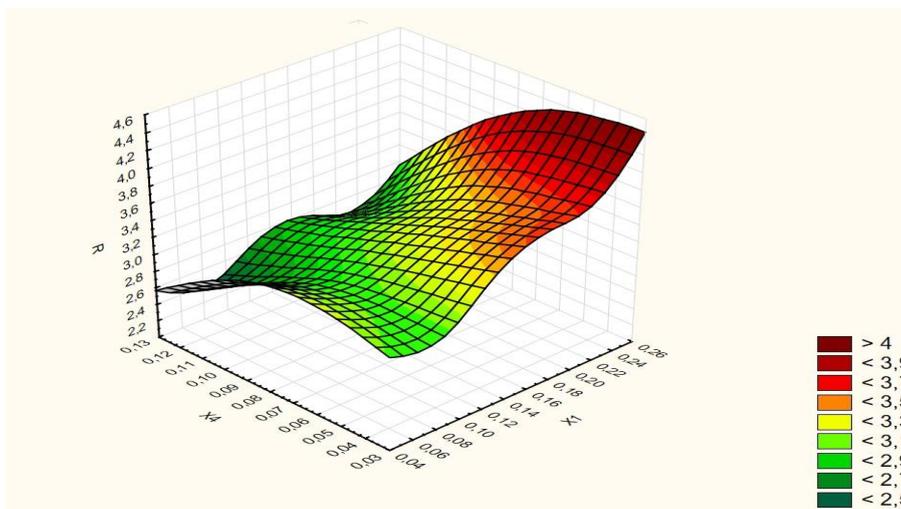


Рисунок 3 – Поверхня відгуку залежності термічного опору від товщини матеріалу та його коефіцієнта теплопровідності

Отримане рівняння регресії дозволяє провести параметричну оптимізацію величини термічного опору огорожувальних конструкцій з врахуванням “містків холоду” (рис. 1-3).

Висновки

- Результати планування багатофакторного експерименту при дослідженні вологовмісту теплоізоляційного матеріалу на його теплопровідність є підґрунтям для розроблення методики проведення натурних експериментів. Отримані функції відгуку факторів впливу на цільову функцію – термічний опір огорожувальних конструкцій дозволяють оптимально обґрунтувати параметри матеріалів при влаштуванні теплоізоляційної оболонки будівель та її експлуатації з врахуванням безпекової ситуації.
- Вибір оптимальних параметрів для влаштування та термомодернізації огорожувальних конструкцій дозволить забезпечити нормативні вимоги до енергоефективності зовнішніх огорожувальних конструкцій та будівлі в цілому.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- [1] ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель [Чинний від 01.09.2022]. Вид. офіц. Київ Мінрегіон України. 2022. 23 с.
- [2] Дудар І.Н., Риндюк С.В. Енергоефективні матеріали і конструкції для теплового захисту будівель і споруд. Будівельні конструкції. 2017. №2. С. 31-35.
- [3] Фаренюк Г.В. Основи забезпечення енергоефективності будинків та теплової надійності огорожувальних конструкцій. Монографія. Київ. 2009. 137 с.
- [4] Бікс Ю.С., Ратушняк Г.С., Лялюк О.Г., Ратушняк О.Г. Потенціал енергоефективності огорожувальних конструкцій із біосферосумісних матеріалів: монографія. Вінниця, ВНТУ. 2022. 132 с.
- [5] ДСТУ Б.В.2.6-189.2014. Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будинків. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2014. 55 с.
- [6] ДСТУ Б.В.2.6-101.2010 Конструкції будинків і споруд. Метод визначення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій. Київ: Мінрегіонбуд України. 2010. 25 с.
- [7] Маляренко В.А., Герасимова О.М., Малєєв О.Г. Будівельна теплофізика. Курс лекцій. Харків, ХНАМГ, 2007. 100 с.
- [8] ДСТУ-Н Б.В.2.6-192.2013 Настава з розрахункової оцінки тепловологісного стану огорожувальних конструкцій [Чинний з 01.01.2014] Київ: Мінрегіон України, 2014. 50 с.
- [9] Ратушняк Г.С., Бікс Ю.С., Лялюк А.О. Дослідження впливу вологовмісту теплоізоляційного матеріалу на його теплопровідність. Матеріали LIV Всеукраїнської науково-технічної конференції факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії. Вінниця. 2025. 2 с. <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2025/paper/view/23693/19568>
- [10] Ратушняк Г.С., Бікс Ю.С., Лялюк А.О. Дослідження теплопровідності теплоізоляційного матеріалу з врахуванням вологовмісту. Матеріали III Всеукраїнської конференції здобувачів освіти і молодих вчених «Відбудова транспортної інфраструктури України». Київ, НТУ. 2025. 2 с. <https://drive.google.com/file/d/1rYmW-l8i9qIM0yGFqKIntPD0SmWiqI/view>
- [11] Менейлок О.І., Руссий В.В. Аналіз відомих методик пошуку оптимальних рішень пошкоджених будівель. Технічні науки та технології. 2023. №2(32). С. 355-362. DOI: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2023-2\(32\)-355-362](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2023-2(32)-355-362).
- [12] Meheiljuk A., Kyryliuk S., Cherepashchuk I. Development of costeffective enelosing strnetures with high heat transfer resistance. 2023. DOI://10/1051/e3sconf/2021/25809040
- [13] Ратушняк Г.С., Панкевич В.В. Ідентифікація факторів, які визначають безпеку вікон при дії вибухової хвилі. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2023. Т.35, №2. С. 42-48.
- [14] Бабій І.М., Кучеренко Л.В., Борисов О.О., Олійник Н.В. Вибір організаційно-технологічних рішень улаштування огорожувальних конструкцій офісної будівлі за допомогою багатокритеріального аналізу. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2023. Т. 33. №2. С. 119-127. DOI: <https://doi.org/10.31649/2314-1429-2022-2-119-137>
- [15] Ратушняк Г.С., Бікс Ю.С., Лялюк А.О. Експериментальні дослідження теплопровідності теплоізоляційних матеріалів із мінеральної вати. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2022. Том 22. Вип. 1. С. 43-48.
- [16] Ратушняк Г.С., Горюн О.Ю. Планування експерименту з дослідження впливу конструктивного виконання вузла примикання на термічний опір огорожувальних конструкцій будівлі. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2025. Т. 37. №2. С. 105-111.
- [17] Голоскоков О.Є. Основи регресійного аналізу. Навчальний посібник. Харків: НТУ «ХП». 2008. 91 с.
- [18] Грабар І.Г., Воляницький Г.П. Теорія та технологія наукових досліджень. Навчальний посібник. Житомир: ЖДТУ. 2013. 260 с.
- [19] Штовба С.Д., Галушак А.В. Ідентифікація багатофакторних залежностей за допомогою баз знань. Лабораторний практикум: електронний навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ. 2015. 96 с.

REFERENCES

- [1] DBN V.2.6-31:2021 Teplova izoliatsiia ta enerhoefektyvnist budivel [Chynnyi vid 01.09.2022]. Vyd. ofits. Kyiv Minrehion Ukrainy. 2022. 23 s.
- [2] Dudar I.N., Ryndiuk S.V. Enerhoefektyvni materialy i konstruktсии dlia teplovoho zakhystu budivel i sporud. Budivelni konstruktсии. 2017. №2. S. 31-35.
- [3] Farenjuk H.V. Osnovy zabezpechennia enerhoefektyvnosti budynkiv ta teplovoi nadiinosti ohorodzhualnykh konstruktсии. Monohrafiia. Kyiv. 2009. 137 s.
- [4] Biks Yu.S., Ratushniak H.S., Lialiuk O.H., Ratushniak O.H. Potentsial enerhoefektyvnosti ohorodzhualnykh konstruktсии iz biosferosumisnykh materialiv: monohrafiia. Vinnytsia, VNTU. 2022. 132 s.
- [5] DSTU B.V.2.6-189.2014. Metody vyboru teploizoliatsiinoho materialu dlia utepлення budynkiv. Vyd. ofits. Kyiv: Minrehion Ukrainy, 2014. 55 s.
- [6] DSTU B.V.2.6-101.2010 Konstruktсии budynkiv i sporud. Metod vyznachennia oporu teploperedachi ohorodzhualnykh konstruktсии. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy. 2010. 25 s.
- [7] Maliarenko V.A., Herasymova O.M., Maliciev O.H. Budivelna teplofizyka. Kurs lektсии. Kharkiv, KhNAMH, 2007. 100 s.
- [8] DSTU-N B.V.2.6-192.2013 Nastanova z rozrakhunkovoi otsinky teplovolohisnogo stanu ohorodzhualnykh konstruktсии [Chynnyi z 01.01.2014] Kyiv: Minrehion Ukrainy, 2014. 50 s.
- [9] Ratushniak H.S., Biks Yu.S., Lialiuk A.O. Doslidzhennia vplyvu volohovmistu teploizoliatsiinoho materialu na yoho teploprovidnist. Materialy LIV Vseukrainskoi naukovy-tekhnichnoi konferentsii fakultetu budivnytstva, tsyvilnoi ta ekolohichnoi inzhenerii. Vinnytsia. 2025. 2 s. <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2025/paper/view/23693/19568>
- [10] Ratushniak H.S., Biks Yu.S., Lialiuk A.O. Doslidzhennia teploprovidnosti teploizoliatsiinoho materialu z vrakhuvanniam volohovmistu. Materialy III Vseukrainskoi konferentsii zdobuvachiv osvity i molodykh vchenykh «Vidbudova transportnoi infrastruktury Ukrainy». Kyiv, NTU. 2025. 2 s. https://drive.google.com/file/d/1rYmW-l8i9qIM0yGFqKIntPD0SmWiq_il/view
- [11] Meneiliuk O.I., Russyi V.V. Analiz vidomykh metodyk poshuku optymalnykh rishen poskodzhennykh budivel. Tekhnichni nauky ta tekhnolohii. 2023. №2(32). S. 355-362. DOI: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2023-2\(32\)-355-362](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2023-2(32)-355-362).
- [12] Meheiljuk A., Kyryliuk S., Cherepashchuk I. Development of costeffective enelosing strnetures with high heat transfer resistance. 2023. DOI://10/1051/e3sconf/2021/25809040
- [13] Ratushniak H.S., Pankevych V.V. Identyfikatsiia faktoriv, yaki vyznachaiut bezpeku vikon pry dii vybukhovoi khvyli. Suchasni tekhnolohii, materialy i konstruktсии v budivnytstvi. 2023. T.35, №2. S. 42-48.
- [14] Babii I.M., Kucherenko L.V., Borysov O.O., Oliinyk N.V. Vybir orhanizatsiino-tekhnolohichnykh rishen ulashtuvannia ohorodzhualnykh konstruktсии ofisnoi budivli za dopomohoiu bahatokryterialnogo analizu. Suchasni tekhnolohii, materialy i konstruktсии v budivnytstvi. 2023. T. 33. №2. S. 119-127. DOI: <https://doi.org/10.31649/2314-1429-2022-2-119-137>
- [15] Ratushniak H.S., Biks Yu.S., Lialiuk A.O. Eksperymentalni doslidzhennia teploprovidnosti teploizoliatsiinykh materialiv iz mineralnoi vaty. Suchasni tekhnolohii, materialy i konstruktсии v budivnytstvi. 2022. Tom 22. Vyp. 1. S. 43-48.
- [16] Ratushniak H.S., Horiun O.Yu. Planuvannia eksperymentu z doslidzhennia vplyvu konstruktyvnoho vykonannia vuzla prykykannia na termichnyi opir ohorodzhualnykh konstruktсии budivli. Suchasni tekhnolohii, materialy i konstruktсии v budivnytstvi. 2025. T. 37. №2. S. 105-111.
- [17] Holoskokov O.Ye. Osnovy rehresiinoho analizu. Navchalnyi posibnyk. Kharkiv: NTU «KhPI». 2008. 91 s.
- [18] Hrabar I.H., Volianyskyi H.P. Teoriia ta tekhnolohiia naukovykh doslidzhen. Navchalnyi posibnyk. Zhytomyr: ZhDTU. 2013. 260 s.
- [19] Shtovba S.D., Halushchak A.V. Identyfikatsiia bahatofakturnykh zalezhnosti za dopomohoiu baz znan. Laboratornyi praktykum: elektronnyi navchalnyi posibnyk. Vinnytsia: VNTU. 2015. 96 s.

Лялюк Андрій Олександрович – аспірант, Вінницький національний технічний університет, e-mail: 1b16blyalyuk@gmail.com, ORCID-0000-0002-4803-1629.