

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПИТАНЬ УТЕПЛЕННЯ ІСТОРИЧНИХ БУДІВЕЛЬ

*Білоус І.Ю., Гавриш А.В.*

*Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

**Мета роботи.** Метою роботи є обґрунтування застосування внутрішнього утеплення із використанням конопляного утеплювача, для термомодернізації історичних будівель, а також проведення порівняльного аналізу його теплотехнічних характеристик з традиційними утеплювачами

Вступ. Будівлі з близьким до нульовим споживанням енергії (NZEB) є пріоритетним напрямком у політиці сталого розвитку в Україні та ЄС [1]. Водночас, адаптація принципів NZEB до історичних об'єктів становить особливу складність, вимагаючи балансу між підвищенням енергоефективності та збереженням архітектурної спадщини. Такі об'єкти, як правило, знаходяться під охороною і мають обмеження на зовнішнє втручання, що робить внутрішнє утеплення одним із небагатьох реалістичних шляхів термомодернізації, але водночас використання внутрішнього утеплення вимагає додаткових досліджень на паропроникність.

Матеріали і результати дослідження.

*Об'єкт дослідження.* Для дослідження проблематики термомодернізації історичних будівель було обрано 6-й корпус КПІ ім.Ігоря Сікорського, яка знаходиться в м.Київ та була побудована 1898 році. Це триповерхова будівля, яка включає офісні приміщення, лабораторії та музей, загальною площею 9572 м<sup>2</sup> та опалювальною площею 6757 м<sup>2</sup>.

Огороджувальні конструкції будівлі мають низький рівень теплозахисту і жоден елемент не відповідає нормативним вимогам ДБН В.2.6-31:2021 [2]. Варто зазначити, що чинні будівельні норми України не містять окремих вимог до теплової ізоляції історичних будівель. Через це, для оцінки енергоефективності застосовуються нормативи для найближчої за функціональним призначенням категорії. Об'єкт дослідження знаходиться в І температурній зоні, мінімально допустиме значення приведенного опору теплопередачі для зовнішніх стін становить 4,0 м<sup>2</sup>·К/Вт [2], але враховуючи, що будівля є історичною, то мінімальні вимоги до теплового захисту не є обов'язковими.

Оскільки історичний статус будівлі виключає зовнішнє утеплення, ключова увага приділяється технологіям внутрішньої теплоізоляції.

Європейська Директива з енергоефективності будівель EPBD [3, Стаття 5] та загальносвітові рекомендації для історичних будівель передбачають використання спеціальних технологій, таких як внутрішня теплоізоляція та інтеграція ВДЕ без шкоди для зовнішнього вигляду.

Вибір матеріалу для внутрішнього утеплення є критичним, оскільки застосування невідповідних матеріалів може призвести до ризику утворення цвілі та конденсації вологи всередині конструкції. У цьому контексті, біосумісні матеріали, такі як конопляний утеплювач, пропонують ефективну альтернативу, яка враховує не лише теплозахист, а й гігротермічні (вологісні) характеристики.

Конопляний утеплювач має низку переваг для застосування у старому будівельному фонді: 1) висока паропроникність та гігроскопічність, що дозволяє конструкції «дихати» і мінімізує ризики вологонакопичення; 2) екологічність та біосумісність із традиційними будівельними матеріалами; 3) забезпечення необхідного рівня теплоізоляції при помірній товщині шару; 4) Негативний вуглецевий слід, оскільки технічні коноплі під час росту активно поглинають CO<sub>2</sub>, а вапняне в'язуче продовжує цей процес під час карбонізації, абсорбуючи вуглекислий газ з атмосфери, що робить матеріал екологічно відповідальним рішенням [4].

Для обґрунтування вибору оптимального рішення з внутрішнього утеплення було проведено порівняльний розрахунок теплотехнічних та вологісних характеристик зовнішньої стіни 6-го корпусу КПП. Розрахунки виконано за допомогою онлайн-платформи CAD E.E. PRO [5] відповідно до вимог ДСТУ 9191:2022 [6] та ДБН В.2.6-31:2021 [2] для кліматичних умов м. Києва. Вхідні дані для розрахунку включали фізичні характеристики матеріалів кожного шару стіни, їх товщину, а також кліматичні дані для м. Києва (середньомісячні температури та відносну вологість повітря). Для візуалізації та аналізу критичних умов був обраний січень, оскільки він є найхолоднішим місяцем опалювального періоду для кліматичної зони Києва. Саме в цей період створюється максимальний перепад температур між внутрішнім та зовнішнім середовищем, що призводить до найінтенсивнішої дифузії водяної пари та, відповідно, найвищого ризику утворення конденсату в товщі конструкції.

Розглянуто три сценарії: Сценарій 1 (Існуючий стан): Зовнішня стіна з повнотілої керамічної цегли товщиною 500 мм на цементно-піщаному розчині, вкрита штукатуркою 20 мм; Сценарій 2 (Внутрішнє утеплення мінеральною ватою): Існуюча стіна, утеплена зсередини мінеральною ватою (базальтове волокно,  $\rho = 150 \text{ кг/м}^3$ ) товщиною 150 мм, вкрита штукатуркою 20 мм; Сценарій 3 (Внутрішнє утеплення конопляним утеплювачем): Існуюча стіна, утеплена зсередини конопляним утеплювачем (Рис.1,а) ( $\rho = 200 \text{ кг/м}^3$ ) товщиною

150 мм, вкрита штукатуркою 20 мм. Конопляний утеплювач утворюється на основі заливної суміші конопляної кастри (рис. 1,б) та вапняної суміші «П'ятий елемент», що дозволяє досягти від'ємний карбоновий слід [4]. Результати розрахунків зведені в табл. 1.

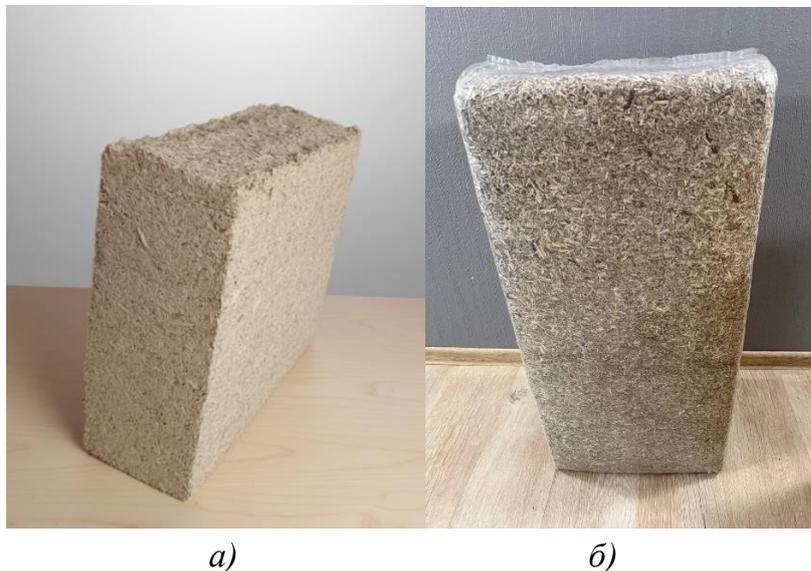


Рисунок 1 – Конопляний утеплювач Hempire Mix

Таблиця 1 – Порівняльні характеристики сценаріїв утеплення

Показник	Сценарій 1	Сценарій 2	Сценарій 3
Теплопровідність, $\lambda$ , Вт/(м·К)	0,81	0,05	0,048
Коефіцієнт паропроникності, $\delta$ , мг/(м·год·Па)	0,11	0,38	0,35
Приведений опір теплопередачі, $R_q$ , м <sup>2</sup> ·К/Вт	0,797	3,797	3,922
Результат перевірки на накопичення вологи	Конденсація відсутня	Не виконується	Виконується
Приріст вологості утеплювача за холодний період, $\Delta W_1$ , %	–	4,67	2,94
Допустимий приріст вологості, $\Delta W_d$ , %	–	2,5	7,0

Існуючий стан. Стіна не відповідає сучасним вимогам до теплового захисту, опір теплопередачі стіни  $R = 0,797 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ . Варто зазначити, що у конструкції не відбувається накопичення вологи протягом року.

Утеплення мінеральною ватою 15 см дозволяє досягти термічного опору стіни  $= 3,797 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ . Розрахунок тепловологісного стану показує критичну проблему: в товщі утеплювача відбувається конденсація водяної пари в холодний період року.

На рис.2а показано розподіл парціальних тисків водяної пари на прикладі січня – найхолоднішому місяці, коли дифузія водяної пари є найбільш

інтенсивною, а ризик конденсації – найвищим. Хоча в інші місяці опалювального періоду (листопад-березень) конденсація також спостерігається, січень є показовим для демонстрації максимального вологонакопичення. Розрахунковий приріст вологості матеріалу становить 4,67%, що майже вдвічі перевищує допустиму норму для мінеральної вати у 2,5% [2]. Це свідчить про те, що дане рішення є неприйнятним, оскільки може призвести до деградації утеплювача, появи плісняви та пошкодження конструкції.

Утеплення на основі конопляної кастри товщиною 15 см демонструє найкращий показник опору теплопередачі  $R=3,922 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ . Незважаючи на конденсацію вологи в холодний період, як показано на рис. 2б для найхолоднішого місяця року - січня, розрахунковий приріст вологості в шарі утеплювача становить 2,94%, що є значно меншим за допустиму для цього матеріалу норму у 7,0% [2]. Аналіз помісячних даних показав, що, попри конденсацію в холодні місяці, річний баланс вологи є позитивним – кількість вологи, що випарувалась за теплий період, перевищує кількість накопиченої за зимовий. Це означає, що конструкція здатна до самостійного висихання.

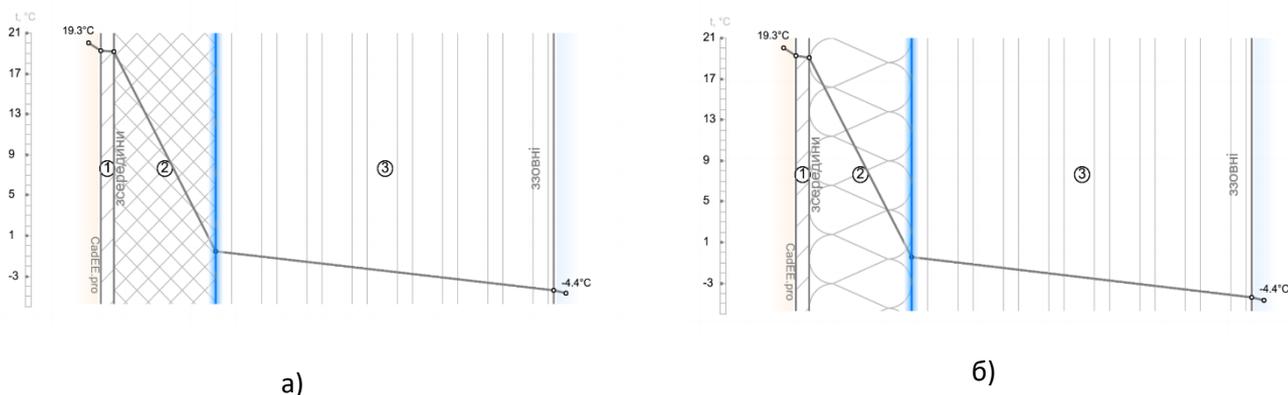


Рисунок 2 – Розподіл температур у товщині огороджуючої конструкції (січень). а) для мінеральної вати б) для конопляного утеплювача

Таким чином, використання біосумісних утеплювачів, як-от конопляний утеплювач, є технічно обґрунтованим та екологічно відповідальним рішенням для внутрішнього утеплення історичних будівель. Вони не лише забезпечують високі показники енергоефективності, але й створюють здоровий мікроклімат та сприяють збереженню архітектурної спадщини завдяки своїм природним властивостям.

За результатами проведених досліджень і демонстрації переваг декарбонізованих будівельних рішень, зокрема, в історичних будівлях, конопляний утеплювач проводиться утеплення демонстраційній зоні Центру декарбонізації енергетики – Енерго-Інноваційний Хаб, навчальний корпус №6 КПІ ім. Ігоря Сікорського загальна опалювальна площа біля  $100 \text{ м}^2$ . Цей

дослідний майданчик дозволить здійснювати моніторинг експлуатаційних характеристик матеріалу в реальних умовах, підтверджуючи його потенціал для сталого будівництва.

**Висновок.** В роботі проведено дослідження на паропроникність зовнішніх огорожувальних конструкцій історичної будівлі університету КПІ ім.Ігоря Сікорського. Модельні дослідження проведені з використанням платформи CAD E.E. PRO [5], розрахунок проведений для варіанту існуючих огорожень та утеплення з середини класичним утеплювачем на основі мінеральної вати та альтернативним утеплювачем на основі конопляної кастри та вапняної суміші, що дозволяє забезпечити від'ємний вуглецевий слід. Результати дослідження показують ефективність використання для внутрішнього утеплення конопляного утеплювача.

#### Список використаних джерел:

1. Білоус І. Ю., Гетманчук Г. О., Крамаренко С. О., Гавриш А. В. Будівлі з близьким до нульового споживанням енергії в сучасних та історичних будівлях: виклики та рішення // Холодильна техніка та технологія. – 2025. – 61(2). – С. 160-177.
2. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. На заміну ДБН В.2.6-31:2016; чинний від 2022-01-31. Вид. офіц. Київ: Укрархбудінформ, 2022. 23 с.
3. Directive (EU) 2024/1275 of the European Parliament and of the Council of 24 April 2024 on the energy performance of buildings (recast). Official Journal of the European Union, L/2024/1275. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/1275/oj>
4. Hempire UA: екологічне будівництво з конопель. URL: <https://www.hempire.com.ua/>
5. Онлайн-платформа для теплотехнічних розрахунків CAD E.E. PRO. URL: <https://cadee.pro/>
6. ДСТУ 9191:2022. Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. На заміну [ДСТУ Б В.2.6-189:2013](#); чинний від 2023-03-01. Вид. офіц. Київ, 2022. 63 с.