

ЕНЕРГЕТИКА ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

Метод запобігання утворенню конденсату в зовнішніх захисних конструкціях внутрішньо утеплених будівель

В. Й. Лабай¹, Г. І. Верещинська², М. П. Генсецький³¹Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013, Україна;²⁻³ВСП «Техніко-економічний фаховий коледж Національного університету «Львівська політехніка», вул. Пасічна, 87, Львів, 79032, Україна✉ e-mail: ¹volodymyr.y.labai@lpnu.uaORCID: ¹<https://orcid.org/0000-0003-3149-2573>; ²<https://orcid.org/0009-0003-9044-7956>;³<https://orcid.org/0000-0002-0460-8131>

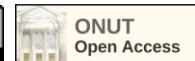
Метою статті є обговорення екстремальних умов, за яких можна уникнути утворення конденсату і, таким чином, руйнування огорожувальних конструкцій будівлі. У статті представлено дослідження з енергозберігаючого будівництва фасадів житлових будинків з використанням ізоляційних матеріалів, придатних для внутрішнього утеплення історичних будівель. Аналіз вітчизняних та європейських літературних джерел, пов'язаних з підвищенням рівня теплоізоляції та енергозбереження в будівлях, показує, що енергоефективність має важливе значення для забезпечення сталої, доступної та безпечної енергетичної системи. У статті представлено результати дослідження, спрямованого на підвищення енергоефективності житлових будинків, а також проаналізовано умови вологості та потенціал утворення конденсату під час використання внутрішньої ізоляції. Для підтвердження результатів було проведено чисельне моделювання. За результатами моделювання можна зауважити, що на внутрішній ізоляції огорожувальних конструкцій без пароізоляції може виникати конденсат, коли $e(x) > E(x)$ і $\varphi(x) > 100\%$, а також, що використання паробар'єру – алюмінієвої фольги усуває можливість випадання конденсату за внутрішньої теплової ізоляції огорожувальних конструкцій приміщень тому що $E(x) > e(x)$ і $\varphi(x) < 100\%$ у всій товщі конструкції. Отримані результати показують, що використання 100 мм пінополімерної ізоляції та алюмінієвої фольги використаної в якості пароізоляції зсередини покращує теплоізоляцію стін і знижує ризик утворення конденсату. Комп'ютерне моделювання продемонструвало, що за розглянутих умов конденсація не виникає. Дослідження є важливим внеском у розробку енергоефективних рішень для будівельної галузі з точки зору забезпечення мінімально допустимих значень термічного опору теплопередачі огорожувальних конструкцій, подовження терміну їх експлуатації та терміну служби будівель в цілому.

Ключові слова: Внутрішня ізоляція; Пароізоляція; Запобігання утворенню конденсації; Паропроникнення; Відносна вологість; Енергоефективність.

doi: <https://doi.org/10.15673/ret.v59i4.2787>

© The Author(s) 2023. This article is an open access publication

This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY)

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

1. Вступ

Зменшення споживання енергії в існуючих будівлях на сьогоднішній день є одним з ключових викликів у будівельній галузі. Заходи, що проводяться у сфері модернізації будівель, в основному

зосереджені на покращенні теплоізоляційних характеристик фасадів. Енергія, необхідна для опалення та охолодження будівель, залежить головним чином від теплотехнічних характеристик параметрів фасаду та вікон, на які припадає 25-30% загальних втрат енергії в будівлях [1]. У будівлях з

низьким споживання енергії втрати тепла не повинні перевищувати 5%. Тому існує нагальна потреба у покращенні теплотехнічних характеристик зовнішніх огорожувальних конструкцій за допомогою утеплення, щоб покращити енергетичні характеристики існуючих будівель та досягти підвищення енергоефективності після модернізації. Зовнішня ізоляція зазвичай використовується в сучасних будівлях, але в деяких випадках (будівлях) цей метод є неприйнятним і єдиним рішенням є внутрішня ізоляція. На ринку доступні різні системи внутрішньої ізоляції, які відповідають високим вимогам стандартів енергоефективності.

Нещодавні дослідження показали, що використання внутрішньої ізоляції може значно знизити енергоспоживання будівель. Однак необхідно вибрати відповідні матеріали і технології для монтажу внутрішньої ізоляції, щоб уникнути проблем з конденсатом і підвищеного ризику розвитку цвілі [2]. Для ефективного використання будь-якого теплоізоляційного матеріалу необхідно дослідити термічну стійкість будівлі, визначити тепловий баланс з урахуванням розподілу температури в різних частинах огорожувальних конструкцій та залежність зміни теплофізичних властивостей під впливом зовнішніх факторів та їх вплив на загальний коефіцієнт теплопередачі огорожувальних конструкцій [10].

Мета роботи є влаштування внутрішнього теплоізоляційного шару на зовнішніх стінах приміщення з використанням 100 мм пінополістирольної теплоізоляції. Основна увага приділена проблемі утворення конденсату на внутрішньому шарі утеплювача, що призводить до руйнування зовнішньої стіни. Автори пропонують вирішення цієї проблеми шляхом розміщення багатошарової конструкції з пароізоляцією.

2. Матеріали і методи

ДБН В.2.6-31:2021 «Ізоляція та енергетична ефективність будівель» стосується теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій (теплоізоляційної оболонки) будинків і споруд для забезпечення раціонального використання порядку їх розрахунку з метою забезпечення раціонального використання енергетичних ресурсів на опалення, нормативних гігієнічних параметрів мікроклімату в приміщеннях та довговічності огорожувальних конструкцій під час експлуатації будинків і споруд.

Одним з показників є фактичний термічний опір теплопередачі однорідної непрозорої огорожувальної конструкції, який розраховується згідно з вказаним ДБН за формулою:

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum_{i=1}^n R_i + \frac{1}{\alpha_{\text{з}}} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_{i\text{п}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{з}}}, \text{ м}^2\text{К/Вт}, \quad (1)$$

де $\alpha_{\text{в}}$ і $\alpha_{\text{з}}$ – коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої і зовнішньої поверхонь огорожувальної конструкції, Вт/(м²·К), які приймають згідно з додатком Б ДСТУ Б В.2.6-189:2013 «Метод вибору теплоізоляційних матеріалів для утеплення будівель»; R_i – термічний опір теплопровідності i -го шару конструкції, м²·К/Вт; δ_i – товщина i -го шару конструкції, м; λ_i – теплопровідність матеріалу i -го шару конструкції в розрахункових умовах експлуатації (згідно з додатком А вказаного ДСТУ Б В.2.6-189:2013), Вт/(м·К).

Фактичний термічний опір теплопередачі огорожувальної конструкції повинен задовольняти вимогу:

$$R_{\Sigma} \geq R_{\text{норм}} = R_{q\text{min}}, \text{ м}^2\text{К/Вт}, \quad (2)$$

де $R_{\text{норм}}$ – нормоване значення термічного опору теплопередачі огорожувальної конструкції, м²·К/Вт; $R_{q\text{min}}$ – мінімально допустиме значення термічного опору теплопередачі огорожувальної конструкції, м²·К/Вт.

Під час реконструкції, зокрема під час капітального ремонту частин будівлі, визначених проектною документацією для термомодернізації, допускається зниження опору теплопередачі до рівня 75 % від $R_{q\text{min}}$ згідно з таблицею 1 ДБН В.2.6-31:2021 для непрозорих огорожувальних конструкцій, світлопрозорих огорожувальних конструкцій та зовнішніх дверей у місцях загального користування житлових комплексів та громадських будівель. Допускається, старі будівлі, особливо з історичними фасадами та багатоповерхівки радянських часів, зазвичай не мають достатнього утеплення зовнішніх стін для забезпечення хоча б мінімального допустимого значення опору теплопередачі зовнішніх стін. Як наслідок, опалення таких будівель у холодну пору року потребує значних витрат енергії, які, зважаючи на постійне зростання вартості енергоносіїв, з кожним роком стають все дорожчими. У теплу пору року такі будівлі мають інші проблеми. Термічний опір теплопередачі зовнішніх стін так само недостатній, що призводить

до надмірно високих внутрішніх температур, які спричиняють дискомфорт для мешканців або додаткові втрати на опалення та охолодження приміщень

Старі будівлі, особливо історичними фасадами та багатоповерхівки радянських часів, зазвичай не мають достатнього утеплення зовнішніх стін для забезпечення хоча б мінімально допустимого значення опору теплопередачі зовнішніх стін. Як наслідок, опалення таких будівель у холодну пору року потребує значних витрат енергії, які, зважаючи на постійне зростання вартості енергоносіїв, з кожним роком стають все дорожчими. У теплу пору року такі будівлі мають інші проблеми. Термічний опір теплопередачі зовнішніх стін так само недостатній, що призводить до надмірно високих внутрішніх температур, які спричиняють дискомфорт для мешканців або додаткові втрати на опалення та охолодження повітря в їх приміщеннях.

З точки зору контролю вологості в огорожувальних конструкціях, бажано було б утеплити всю огорожувальну конструкцію ззовні, але це неможливо в історичних будівлях через цінність фасаду, і майже неможливо в багатоквартирних будинках через психологічні та фінансові проблеми великої кількості мешканців.

Вирішити ці проблеми можна, розмістивши на зовнішніх стінах приміщень внутрішній ізоляційний шар з використанням 100-міліметрового піноплімерного утеплювача, який є ідеальним матеріалом у даному випадку. Оригінальний фасад може бути збережений, а мешканці можуть індивідуально утеплити зовнішні стіни своїх квартир і швидко обігріти приміщення. Подібні матеріали вже багато років вирішують подібні проблеми у Швейцарії, Австрії, Німеччині, Польщі та інших європейських країнах.

Однак проблема внутрішнього шару утеплювача на зовнішній стіні приміщення полягає в тому, що холодну пору року ця стіна схильна до утворення конденсату і руйнування. У зв'язку з цим обов'язковою є оцінка стану вологості внутрішньо утепленої зовнішньої стіни, щоб визначити її потенціал до утворення конденсату. При цьому встановлено, що для уникнення утворення конденсату за внутрішньому утеплювачі огорожувальних конструкцій приміщення необхідно влаштувати постійну багат шарову конструкцію з пароізоляційним шаром.

Зона конденсації визначається характером розподілу парціального тиску водяної пари $e(x)$ і на-

сиченої водяної пари $E(x)$ по товщині шару огорожувальної конструкції. Парціальний тиск водяної пари по товщині матеріалу в перерізі x , визначається за формулою:

$$e(x) = e_b - \frac{e_b - e_3}{R_{e\Sigma}} \cdot R_{ex}, \text{ Па}, \quad (3)$$

де e_b – парціальний тиск водяної пари внутрішнього повітря, Па, визначається розрахунковим значенням відносної вологості φ_{b0} відповідно до використання будівлі та значенням парціального тиску насиченої водяної пари E_b відповідно з таким рівнянням:

$$e_b = 0,01 \cdot \varphi_{b0} \cdot E_b, \text{ Па}, \quad (4)$$

e_3 – парціальний тиск водяної пари зовнішнього повітря, що визначається за ДСТУ-Н Б В.2.6-192:2013 «Настанова з розрахункової оцінки тепловологісного стану огорожувальних конструкцій для періоду найхолоднішого місяця року», Па; $R_{e\Sigma}$ – опір паропроникненню огорожувальної конструкції, $\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па} / \text{мг}$; R_{ex} – опір паропроникненню огорожувальної конструкції на відстані x від внутрішньої поверхні, $\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па} / \text{мг}$.

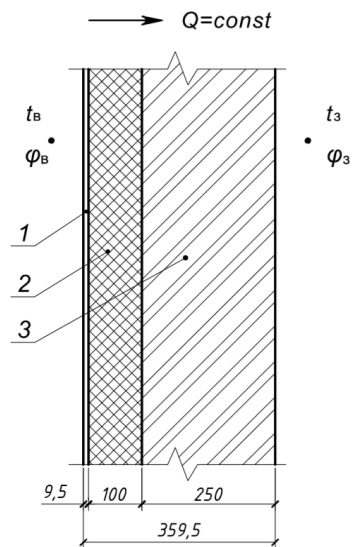


Рисунок 1 – Внутрішньо теплоізольована огорожувальна конструкція без паробар'єру:
 1 – звичайна цегляна повнотіла кладка – зовнішній шар: $\rho_0 = 1800 \text{ кг/м}^3$; $\delta_1 = 380 \text{ мм}$; $\lambda_{1B} = 0,81 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$; $\mu_1 = 0,11 \text{ мг/(м}\cdot\text{год}\cdot\text{Па)}$; 2 – кладка із полімерного утеплювача пінопласту 100 мм – внутрішній шар: $\rho_0 = 200 \text{ кг/м}^3$; $\delta_2 = 100 \text{ мм}$; $\lambda_{2B} = 0,35 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$; $\mu_2 = 0,12 \text{ мг/(м}\cdot\text{год}\cdot\text{Па)}$; 3 – лист гіпсокартонний: $\rho_0 = 800 \text{ кг/м}^3$; $\delta_3 = 9,5 \text{ мм}$; $\lambda_{3B} = 0,21 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$; $\mu_3 = 0,075 \text{ мг/(м}\cdot\text{год}\cdot\text{Па)}$

Парціальний тиск насиченої водяної пари $E(x)$ визначається за довідковими даними про залежність $E(t)$ від розподілу температури $t(x)$ і розраховується за формулою:

$$t(x) = t_B - \frac{t_B - t_{ze}}{R_\Sigma} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_B} + R_x \right), \text{ } ^\circ\text{C}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (5)$$

де $t_{зв}$ – розрахункова температура зовнішнього повітря під час процесу накопичення вологи в конструкції визначається згідно з ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Будівельна кліматологія (період найхолоднішого місяця року) і становить $^\circ\text{C}$; R_x – термічний опір огорожувальної конструкції на відстані x від внутрішньої поверхні, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$

Опір паропроникненню огорожувальної конструкції та окремих її шарів розраховується за такими рівняннями:

$$R_{e\Sigma} = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\mu_i}, \text{ } \text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па}/\text{мг}; \quad (6)$$

$$R_{ex} = \sum_{i=1}^m \frac{\delta_i}{\mu_i} + \frac{x - \sum_{i=1}^m \delta_i}{\mu_{m+1}}, \text{ } \text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па}/\text{мг}, \quad (7)$$

де n – загальна кількість шарів у конструкції; m – кількість повних шарів від внутрішньої поверхні до перерізу x ; μ_i – коефіцієнт паропроникнення матеріалу i -го шару конструкції, $\text{мг}/(\text{м} \cdot \text{год} \cdot \text{Па})$; μ_{m+1} – коефіцієнт паропроникнення матеріалу шару конструкції, $\text{мг}/(\text{м} \cdot \text{год} \cdot \text{Па})$, де розташований переріз x .

Для заданої товщини огорожувальної конструкції конденсація буде відбуватись, коли $e(x) > E(x)$.

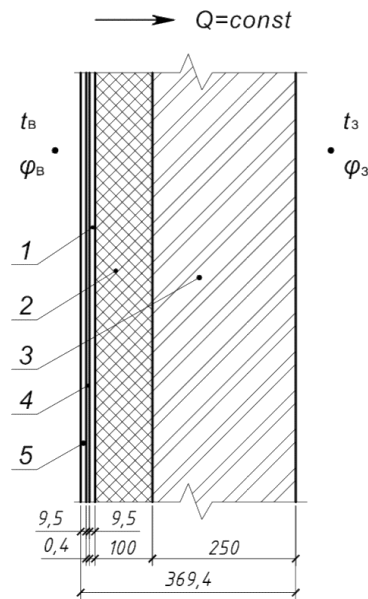


Рисунок 2 – Внутрішньо теплоізолювана огорожувальна конструкція із паробар'єром:

1 – звичайна цегляна повнотіла кладка – зовнішній шар: $\rho_0 = 1800 \text{ кг}/\text{м}^3$; $\delta_1 = 380 \text{ мм}$; $\lambda_{1Б} = 0,81 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$; $\mu_1 = 0,11 \text{ мг}/(\text{м} \cdot \text{год} \cdot \text{Па})$; 2 – кладка із полімерного утеплювача пінопласту 100 мм – внутрішній шар: $\rho_0 = 200 \text{ кг}/\text{м}^3$; $\delta_2 = 100 \text{ мм}$; $\lambda_{2Б} = 0,35 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$; $\mu_2 = 0,12 \text{ мг}/(\text{м} \cdot \text{год} \cdot \text{Па})$; 3 – лист гіпсокартонний: $\rho_0 = 800 \text{ кг}/\text{м}^3$; $\delta_3 = 9,5 \text{ мм}$; $\lambda_{3Б} = 0,21 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$; $\mu_3 = 0,075 \text{ мг}/(\text{м} \cdot \text{год} \cdot \text{Па})$; 4 – фольга алюмінієва – паробар'єр: $\rho_0 = 2600 \text{ кг}/\text{м}^3$; $\delta_4 = 0,4 \text{ мм}$; $\lambda_{4Б} = 221 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$; $\mu_4 = 0,00001 \text{ мг}/(\text{м} \cdot \text{год} \cdot \text{Па})$; 5 – лист гіпсокартонний: $\rho_0 = 800 \text{ кг}/\text{м}^3$; $\delta_5 = 9,5 \text{ мм}$; $\lambda_{5Б} = 0,21 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$; $\mu_5 = 0,075 \text{ мг}/(\text{м} \cdot \text{год} \cdot \text{Па})$.

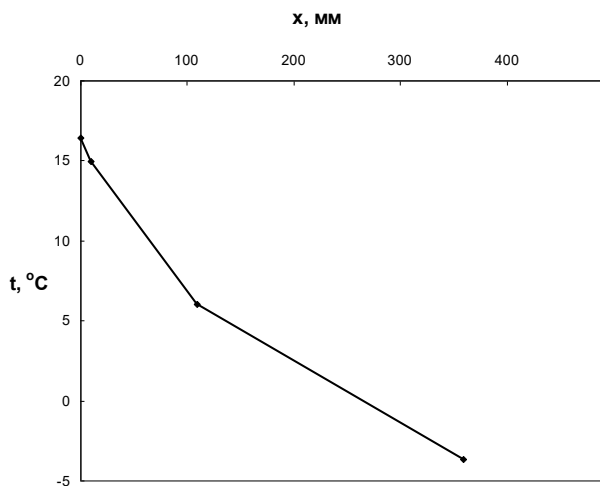


Рисунок 3 – Розподілення температури $t(x)$ у товщі внутрішньо теплоізолюваної огорожувальної конструкції без паробар'єру у холодний період року

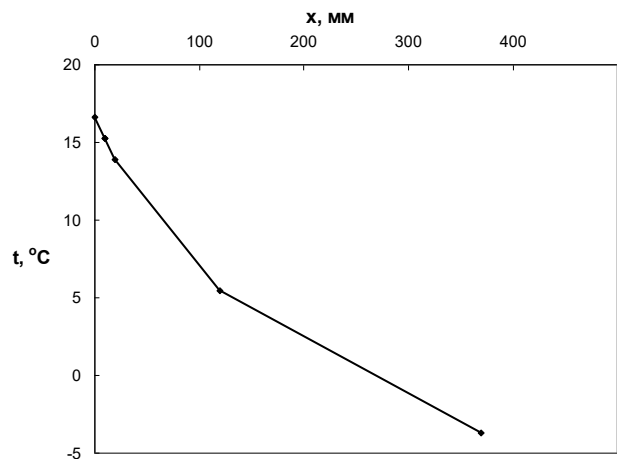


Рисунок 4 – Розподілення температури $t(x)$ у товщі внутрішньо теплоізолюваної огорожувальної конструкції із паробар'єром у холодний період року

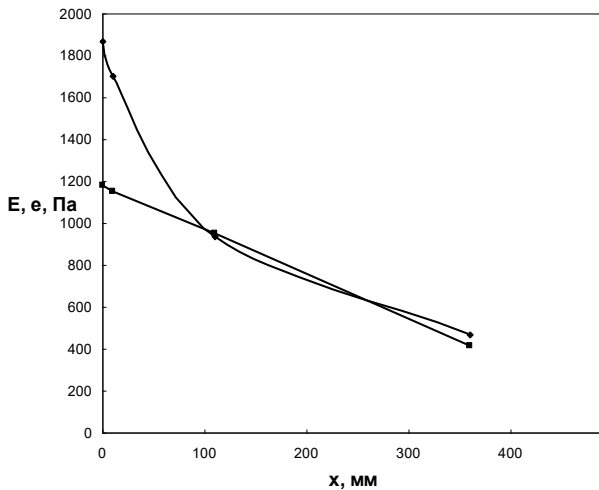


Рисунок 5 – Розподілення парціального тиску насиченої водяної пари $E(x)$ та її парціального тиску $e(x)$ у товщі внутрішньо теплоізолюваної огорожувальної конструкції без паробар'єру у холодний період року: \blacklozenge – $E(x)$; \blacksquare – $e(x)$

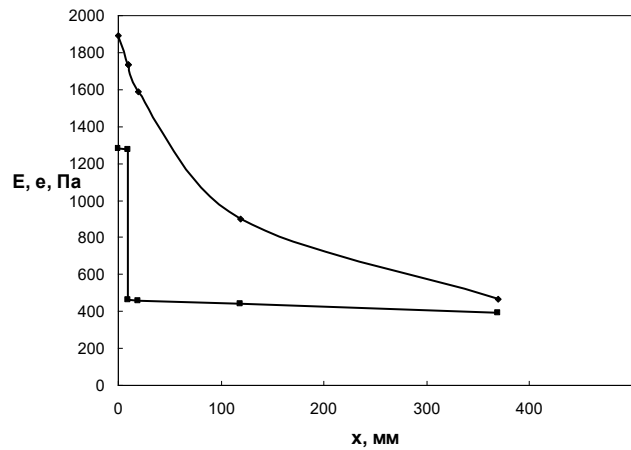


Рисунок 6 – Розподілення парціального тиску насиченої водяної пари $E(x)$ та її парціального тиску $e(x)$ у товщі внутрішньо теплоізолюваної огорожувальної конструкції із паробар'єром у холодний період року: \blacklozenge – $E(x)$; \blacksquare – $e(x)$

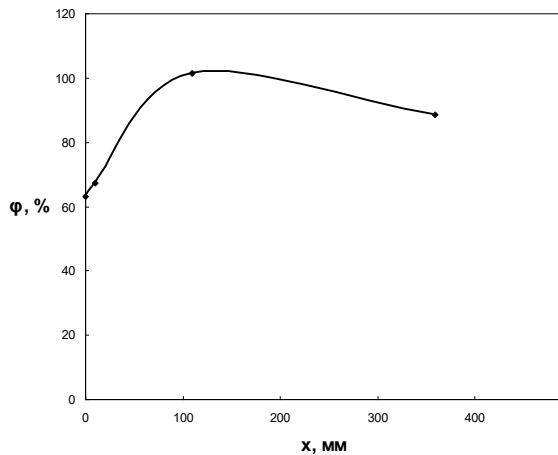


Рисунок 7 – Розподілення відносної вологості $\varphi(x) = e(x) \cdot 100/E(x)$, %, у товщі внутрішньо теплоізолюваної огорожувальної конструкції без паробар'єру у холодний період року

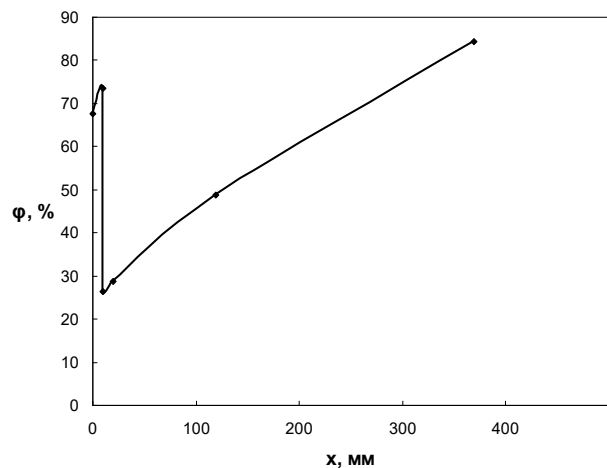


Рисунок 8 – Розподіл відносної вологості $\varphi(x) = e(x) \cdot 100/E(x)$, %, у товщі внутрішньо теплоізолюваної огорожувальної конструкції із паробар'єром у холодний період року

Розглянемо розподілення температури $t(x)$, розподілення парціального тиску насиченої водяної пари $E(x)$ та її парціального тиску $e(x)$ і розподілення відносної вологості $\varphi(x) = e(x) \cdot 100/E(x)$ у товщі двох внутрішньо теплоізолюваних огорожувальних конструкцій у холодний період року, одна з яких є без паробар'єру з термічним опором теплопередачі $R_{\Sigma} = 0,80 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ (рис. 1), а друга – із запропонованим нами паробар'єром з алюмінієвої фольги з термічним опором теплопередачі $R_{\Sigma} = 0,84 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ (рис. 2).

З рис. 5 і 7 видно, що на внутрішній ізоляції огорожувальних конструкцій без пароізоляції може виникати конденсат, коли $e(x) > E(x)$ і $\varphi(x) >$

100%, а з рис. 6 і 8 відповідно видно, що використання паробар'єру – алюмінієвої фольги усуває можливість випадання конденсату за внутрішньої теплової ізоляції огорожувальних конструкцій приміщень тому що $E(x) > e(x)$ і $\varphi(x) < 100\%$ у всій товщі конструкції.

3. Висновки

Під час встановлення внутрішньої теплової ізоляції огорожувальних конструкцій приміщень слід оцінювати як тепловий, так і вологісний стан конструкції.

Внутрішнє утеплення огорожувальних конст-

рукцій 100-міліметровим пінополістирольним утеплювачем можливе з використанням алюмінієвої фольги в якості пароізоляції – паробар’єру.

Особистий внесок авторів CRediТ

Лабай В.Й.: концептуалізація, методологія, формальний аналіз. **Г. І. Верещинська:** експериментальні дослідження, методичне забезпечення, обробка даних. **М. П. Генсецький:** інформаційний пошук, аналіз та узагальнення даних.

Література

1. **Basińska M., Kaczorek D. & Koczyk H.** Economic and Energy Analysis of Building Retrofitting Using Internal Insulations // *Energies*. – 2021. – Vol. 14(9). – P. 2446. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14092446>.
2. **Krause P., Nowoświat A., Pawłowski K.** The Impact of Internal Insulation on Heat Transport through the Wall: Case Stud // *Applied Sciences*. 2020. – Vol. 10(21). – P. 7484. DOI: <https://doi.org/10.3390/app10217484>.
3. **Paraschiv L., Paraschiv S., Ion V.** Increasing the energy efficiency of buildings by thermal insulation // *Energy Procedia*. – 2017. – Vol. 128. – P. 393-399. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.044>.
4. **Агєєва Г. М.** Аналіз конструктивних рішень утеплення житлового будинку // *Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит*. – 2013. – №11. – С.30-34.
5. **Гайдук О. В., Герлянд Т. М., Кулалаєва Н. В., Півторацька Н. В., Пятничук Т. В.** Технології утеплення фасадів будівель: підручник. – Житомир: Полісся, 2021. – 362 с.
6. **Дворкін Л.Й., Лаповська С.Д.** Будівельне матеріалознавство: підручник. – Рівне: НУВПГ, 2016. – 448 с.
7. **Дудар Н. І., Швець В. В., Максименко М. А.** Експлуатація утеплювачів з невентильованими повітряними прошарками та енерговідбиваючими екранами // *Науково-технічний журнал: Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*. – 2022. – №2. – С. 6-11. DOI: <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2022-2-6-11>
8. **Іволжатова Н., Дрімко Т., Холеван Т. та ін.** Передові системи термомодернізації будівель і споруд: навч. посіб. – Київ : Видавничий дім «Гельветика», 2020. – 116 с.
9. **Майстренко А. А., Амеліна Н.О., Бердник О.Ю., Рижанкова Л.М., Яковлева О.М.** Технологічний аналіз вибору системи утеплення зовнішніх стін // *Науковий вісник будівництва*. – 2020. – Вип. 1. – С. 110-124
10. **Цих В.С., Максим’юк С.О.** Аналіз основних характеристик утеплювальних матеріалів для огорожувальних конструкцій будівель // *Матеріали III міжнар. наук.-практ. конф., 3-5 квіт. 2019.* – Івано-Франківськ, 2019. – С. 77-78.
11. **Швець В.В., Максименко М.А., Козак В.Ю.** Моделювання проходження теплового потоку крізь фольговані термопанелі методом кореляційно-регресійного аналізу // *Науково-технічний журнал: Сучасні технології, матеріали та конструкції в будівництві*. – 2019. – Вип. 1. – С. 72-77.
12. **Labay V. Yo., Yaroslav, V. Yu., Dovbush O. M., Tszida A. Ye.** Mathematical modeling of a split-conditioner operation for evaluation of exergy efficiency of the R600A refrigerant application // *Mathematical Modeling and Computing*. – 2018. – Vol. 5. – No 2. – P. 169-177.
13. **Labay V. Yo., Yaroslav, V. Yu., Dovbush O. M., Tszida A. Ye.** Mathematical Modeling of an Air Split-Conditioner Heat Pump Operation for Investigation its Exergetic Efficiency // *Mathematical Modeling and Computing*. – 2020. – Vol. 7. – No 1. – P. 169-178.
14. **Labay V. Yo., Yaroslav, V. Yu., Dovbush O. M., Piznak B.** Dependence of Evaporation Temperature and Exergetic Efficiency of Air Split-Conditioners Heat Pumps from the External Air Temperature // *Proceedings of EcoComfort 2020. Lecture Notes in Civil Engineering*. – 2021. – Vol. 100. – P. 253-259.
15. **Labay V. Yo., Yaroslav, V. Yu., Dovbush O. M., Tszida A. Ye.** Mathematical modeling bringing the operation of air split-conditioners heat pumps to the same internal temperature conditions // *Mathematical Modeling and Computing*. – 2021. – Vol. 8. – No. 3. – P. 509-514.
16. **Labay V. Yo., Yaroslav, V. Yu., Gensetskyi M.** Investigation the Exergetic Efficiency of Refrigerant R290 (Propane) Application for Work of Air Split-Conditioner // *Theory and Building Practice*. – 2021. – Vol. 3. – No. 1. – P. 128-136.
17. **Labay V. Yo., Klymenko, H. M., Gensetskyi M.** Universal dependence for determining exergetic output-input ratio of air split-conditioner heat pump // *Mathematical Modeling and Computing*. – 2022. – Vol. 9. – No. 4. – P. 945-949.

A method of preventing the formation of condensate in the external protective structures of internally insulated buildings

Volodymyr Labay¹✉, Galyna Vereshchynska², Mykola Gensetskyi³

¹National University "Lviv Polytechnic", 12, S. Bandery str., Lviv, 79013, Ukraine;

²⁻³SSS "Technical and Economic College of the National University "Lviv Polytechnic", 87, Pasichna str., Lviv, 79032, Ukraine

✉ e-mail: ¹volodymyr.y.labai@lpnu.ua

ORCID: ¹<https://orcid.org/0000-0003-3149-2573>; ²<https://orcid.org/0009-0003-9044-7956>;

³<https://orcid.org/0000-0002-0460-8131>

The aim of the article is to discuss extreme conditions under which it is possible to avoid the formation of condensate and, thus, the destruction of the building's enclosing structures. The article presents research on the energy-saving construction of facades of residential buildings using insulating materials suitable for internal insulation of historical buildings. The analysis of domestic and European literary sources related to increasing the level of thermal insulation and energy saving in buildings shows that energy efficiency is important for ensuring a sustainable, affordable and safe energy system. The article presents the results of a study aimed at increasing the energy efficiency of residential buildings, as well as analyzes humidity conditions and the potential for condensation formation during the use of internal insulation. To confirm the results, numerical simulation was carried out. According to the simulation results, it can be noted that condensation can occur on the internal insulation of enclosing structures without vapor barrier when $e(x) > E(x)$ and $\varphi(x) > 100\%$, and also that the use of a vapor barrier – aluminum foil eliminates the possibility of condensation during the internal thermal insulation of the enclosing structures of the premises because $E(x) > e(x)$ and $\varphi(x) < 100\%$ in the entire thickness of the structure. The obtained results show that the use of 100 mm of foam polymer insulation and aluminum foil used as a vapor barrier from the inside improves the thermal insulation of the walls and reduces the risk of condensation. Computer modeling demonstrated that under the considered conditions, condensation does not occur. The research is an important contribution to the development of energy-efficient solutions for the construction industry from the point of view of ensuring the minimum permissible values of the thermal resistance of heat transfer of enclosing structures, extending their service life and the service life of buildings as a whole.

Keywords: Internal insulation; Vapor insulation; Prevention of condensation; Steam penetration; Relative humidity; Energy efficiency.

References

1. Basińska, M., Kaczorek, D. & Koczyk, H. (2021) Economic and Energy Analysis of Building Retrofitting Using Internal Insulations. *Energies*, 14(9), 2446.
2. Krause, P., Nowoświat, A., Pawłowski, K. (2020). The Impact of Internal Insulation on Heat Transport through the Wall: Case Stud. *Applied Sciences*, 10(21), 7484.
3. Paraschiv, L., Paraschiv, S., Ion, V. (2017) Increasing the energy efficiency of buildings by thermal insulation. *Energy Procedia*, 128, 393-399.
4. Ageeva, H. M. (2013) Analysis of constructive solutions for the insulation of a residential building. *Energy saving. Energy. Energy audit*, 11, 30-34.
5. Gayduk, O. V., Herlyand, T. M., Kulalayeva, N. V., Pivtoratska, N. V., Pyatnychuk, T. V. (2021) Building facade insulation technologies: textbook. *Zhytomyr: Polissya*, 362.
6. Dworkin, L.Y., Lapovska, S.D. (2016) Construction materials science: a textbook. *Rivne: NUVPG*, 448.
7. Dudar, N. I., Shvets, V. V., Maksimenko, M. A. (2022) Operation of insulation with non-ventilated air layers and energy-reflecting screens. *Scientific and technical journal: Modern technologies, materials and constructions in construction*, 2, 6-11.
8. Ivolzhatova, N., Drimko, T., Holevan, T. et al. (2020) Advanced systems of thermal modernization of buildings and structures: training. manual. *Kyiv: "Helvetyka" Publishing House*, 116.
9. Maistrenko, A.A., Amelina, N.O., Berdnyk,

- O.Yu., Ryzhankova, L.M., Yakovleva, O.M.** (2020) Technological analysis of the choice of the external wall insulation system. *Scientific Bulletin of Construction, 1, 110-124*
10. **Tsykh, V.S., Maksimyuk, S.O.** (2019). Analysis of the main characteristics of insulating materials for enclosing structures of buildings. Materials III International. science and practice conference, April 3-5 2019. *Ivano-Frankivsk, 77-78.*
11. **Shvets, V.V., Maksimenko, M.A., Kozak, V.Yu.** (2019) Modeling of the passage of heat flow through foil thermal panels by the method of correlation-regression analysis. *Scientific and technical journal: Modern technologies, materials and structures in construction, 1, 72-77.*
12. **Labay, V. Yo., Yaroslav, V. Yu., Dovbush, O. M., Tsizda, A. Ye.** (2018) Mathematical modeling of a split-conditioner operation for evaluation of exergy efficiency of the R600A refrigerant application. *Mathematical Modeling and Computing, 5, 2, 169-177.*
13. **Labay, V. Yo., Yaroslav, V. Yu., Dovbush, O. M., Tsizda, A. Ye.** (2020) Mathematical Modeling of an Air Split-Conditioner Heat Pump Operation for Investigation its Exergetic Efficiency. *Mathematical Modeling and Computing, 7, 1, 169-178.*
14. **Labay, V. Yo., Yaroslav, V. Yu., Dovbush, O. M., Piznak, B.** (2021) Dependence of Evaporation Temperature and Exergetic Efficiency of Air Split-Conditioners Heat Pumps from the External Air Temperature. *Proceedings of EcoComfort 2020. Lecture Notes in Civil Engineering, 100, 253-259.*
15. **Labay, V. Yo., Yaroslav, V. Yu., Dovbush, O. M., Tsizda, A. Ye.** (2021) Mathematical modeling bringing the operation of air split-conditioners heat pumps to the same internal temperature conditions. *Mathematical Modeling and Computing, 8, 3, 509-514.*
16. **Labay, V. Yo., Yaroslav, V. Yu., Gensetskyi, M.** (2021) Investigation the Exergetic Efficiency of Refrigerant R290 (Propane) Application for Work of Air Split-Conditioner. *Theory and Building Practice, 3, 1, 128-136.*
17. **Labay, V. Yo., Klymenko, H. M, Gensetskyi, M.** (2022) Universal dependence for determining exergetic output-input ratio of air split-conditioner heat pump. *Mathematical Modeling and Computing, 9, 4, 945-949.*
-

Received 01 December 2023
Approved 19 December 2023
Available in Internet 02 January 2024