

УДК 699.86:699.82

професор **Володимир Лабай**,
volodymyr.y.labai@lpnu.ua, ORCID: 0000-0003-3149-2573

Національний університет «Львівська політехніка»

викладачка **Галина Верещинська**,
vereshchynskahalyna@lteknuip.ukr.education, ORCID: 0009-0003-9044-7956

ВСП «Техніко-економічний фаховий коледж
Національного університету «Львівська політехніка»

СПОСІБ УЛАШТУВАННЯ ВНУТРІШНЬОЇ ТЕПЛОВОЇ ІЗОЛЯЦІЇ ЗОВНІШНІХ ЗАХИСНИХ КОНСТРУКЦІЙ ПРИМІЩЕННЯ

***Анотація.** Ця стаття має на меті обговорити умови утеплення та уникнення конденсації вологи в огорожувальних конструкціях будівель, фасади яких не можуть бути утеплені ззовні через історичну та культурну цінність. У роботі представлено дослідження енергоефективної конструкції фасаду житлового будинку, у якому використовується ізоляційні матеріали, які придатні для внутрішньої теплоізоляції історичних будівель. Проведений аналіз вітчизняних та європейських літературних джерел, щодо підвищення рівня теплового захисту будівель, свідчить про те, що підвищення енергоефективності є важливим для забезпечення сталої, доступної та безпечної енергетичної системи. У роботі представлені результати дослідження, спрямованого на підвищення енергоефективності в житлових будинках, а також аналіз вологісного стану та можливості утворення конденсату при застосуванні внутрішнього утеплення. Для підтвердження результатів було проведено чисельне моделювання. Отримані результати свідчать про те, що використання мінерального утеплювача "БЕТОЛЬ®" та алюмінієвої фольги в ролі паробар'єру, накладених зсередини, сприяє покращенню теплоізоляції стін і знижує ризики утворення конденсату. Комп'ютерне моделювання продемонструвало, що за розглянутих умов конденсація не виникає. Відносна вологість у конструкції не досягає 90 %. Це дослідження вносить важливий внесок у розвиток енергоефективних рішень для будівельної галузі, оскільки дозволить забезпечити мінімально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій та подовжити термін експлуатації їх і будівель в цілому.*

Ключові слова: внутрішня тепла ізоляція, паробар'єр, пароізоляція, паропроникнення, відносна вологість, енергоефективність, енергозбереження.

Вступ. Зменшення енергоспоживання наявних будівель зараз є однією з ключових проблем у будівельній галузі. Діяльність, яка проводиться у сфері модернізації будівель, в основному зосереджена на покращенні теплоізоляційних характеристик фасадів. Енергія, необхідна для опалення та охолодження будівель, залежить головним чином від теплових параметрів фасадів і вікон і становить 25-30 % загальних втрат енергії в будівлях [1]. У будівлях з низьким енергоспоживанням втрати теплоти не повинні перевищувати 5 %. Отже, існує нагальна потреба покращити теплові характеристики зовнішніх стін шляхом теплоізоляції, щоб покращити енергетичні характеристики наявних будівель та досягти покращеної енергоефективності після реконструкції. У сучасному будівництві, зазвичай, застосовують зовнішнє утеплення стін будинків, проте трапляються випадки, (пам'ятки архітектури) коли такий спосіб виконання є неприпустимим, тоді внутрішня ізоляція стає єдиним доступним рішенням. На ринку є різні системи внутрішньої ізоляції, які відповідають високим вимогам стандартів енергоефективності.

Актуальність дослідження. З одного боку, підвищення енергоефективності будівництва є важливою складовою енергонезалежності країни, а з іншого збереження пам'яток історії та архітектури є невід'ємною частиною збереження генофонду нації. Тому вирішення проблеми енергоефективності будівель зі збереженням історичних фасадів є актуальним завданням.

Останні дослідження та публікації. Останні дослідження показують, що використання внутрішньої теплової ізоляції може значно знизити енергоспоживання будівель. Однак, необхідно правильно обрати матеріали і технології улаштування внутрішньої теплоізоляції, щоб уникнути проблем з конденсацією і підвищеним ризиком утворення плісняви [2].

Для ефективного використання будь-яких теплоізоляційних матеріалів необхідно дослідити теплову стійкість будівлі, визначити тепловий баланс із врахуванням розподілення температур в різних точках огорожувальних конструкцій, а також отримати залежності зміни теплотехнічних характеристик під дією сторонніх факторів та їх впливу на загальний коефіцієнт теплопередачі теплоізоляційної оболонки будинку [3].

Метою роботи є улаштування внутрішнього теплоізоляційного шару на зовнішній стіні приміщення з використанням мінерального утеплювача "БЕТОЛЬ®". Стаття звертає увагу на проблему випадання конденсату на внутрішньому теплоізоляційному шарі, що може призвести до руйнування зовнішньої стіни. Автори пропонують вирішення цієї проблеми шляхом улаштування багатошарової конструкції з паробар'єром.

Матеріали і методи. ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель [4] встановлює вимоги до теплотехнічних показників огорожувальних конструкцій (теплоізоляційної оболонки) будинків і споруд і порядку їх розрахунку з метою забезпечення раціонального використання енергетичних ресурсів на обігрівання, забезпечення нормативних санітарно-гігієнічних параметрів мікроклімату приміщень, довговічності огорожувальних конструкцій під час експлуатації будинків та споруд.

Одним з показників є фактичний опір теплопередачі однорідної непрозорої огорожувальної конструкції, який розраховують відповідно до ДСТУ 9191:2022 [5] за формулою

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{h_{si}} + \sum_{i=1}^n R_i + \frac{1}{h_{se}} = \frac{1}{h_{si}} + \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\lambda_{ip}} + \frac{1}{h_{se}}, \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}, \quad (1)$$

де h_{si} та h_{se} – коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої та зовнішньої поверхонь огорожувальної конструкції, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, які приймають згідно з додатком Б ДСТУ 9191:2022 [5]; $R_i = d_i/\lambda_{ip}$ – опір теплопровідності i -го шару конструкції, $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$; d_i – товщина i -го шару конструкції, м; λ_{ip} – коефіцієнт теплопровідності матеріалу i -го шару конструкції в розрахункових умовах експлуатації (згідно з додатком А [5]), $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

Фактичний опір теплопередачі огорожувальної конструкції повинен задовольняти вимогу

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

де $R_{q \min}$ – мінімально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції, $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$.

Під час реконструкції або капітального ремонту, визначених проектною документацією частин будівлі, зокрема з метою термомодернізації, для непрозорих огорожувальних конструкцій, світлопрозорих огорожувальних конструкцій та зовнішніх дверей в місцях загального користування багатоквартирних житлових і громадських будівель допускається зниження значень приведенного опору теплопередачі до рівня 75 % від $R_{q \min}$ згідно з таблицею 1 ДБН В.2.6-31:2021.

Старі будинки, а особливо будинки, фасади яких є історичною цінністю, а також багатоповерхівки радянської доби, як правило, не мають достатньої теплової ізоляції зовнішніх стін, яка б могла забезпечити хоча б мінімально допустиме значення опору теплопередачі цих стін. Отже, опалення таких

будинків упродовж холодного періоду року потребує значних витрат енергії. З урахуванням постійного зростання вартості енергоносіїв, щороку ставатиме дорожчим. У теплий період року у таких будинках є інша проблема. Завдяки недостатньому опору теплопередачі зовнішніх стін температура в приміщенні стає надто високою, що призводить або до дискомфорту мешканців, або до додаткових втрат на кондиціонування чи охолодження повітря в приміщеннях.

Доцільним з точки зору вологісного режиму огорожувальних конструкцій є суцільна теплова ізоляція зовнішніх стін всього будинку ззовні. Проте виконати таку роботу в даному випадку в будинку історичної забудови неможливо через цінність фасаду, а в багатоповерхових будинках – майже неможливо через ментальні та фінансові проблеми великої кількості мешканців цих будинків.

Улаштування внутрішнього теплоізоляційного шару на зовнішній стіні приміщення із застосуванням доцільного для цього випадку матеріалу – мінерального утеплювача «БЕТОЛЬ®» дає можливість вирішити вказані проблеми: зберегти оригінальний фасад, проводити індивідуальне утеплення мешканцями зовнішніх стін своїх квартир, забезпечити швидке нагрівання приміщень. Аналогічний матеріал довгі роки вирішує такі ж проблеми в Швейцарії, Австрії, Німеччині, Польщі та інших європейських країнах.

Але у випадку улаштування внутрішнього теплоізоляційного шару на зовнішній стіні приміщення виникає проблема випадання конденсату у цій стіні в холодний період року, а значить її руйнування. У зв'язку з цим обов'язково для внутрішньо утепленої зовнішньої огорожувальної конструкції треба оцінювати її вологісний стан і визначати можливість випадання конденсату. Разом з тим, нами встановлено, що для уникання випадання конденсату за внутрішньої теплоізоляції зовнішньої стіни приміщення в ній треба улаштовувати певну багат шарову конструкцію з шаром паробар'єру.

Зона конденсації визначається за характером розподілу парціального тиску водяної пари $e(x)$, Па, і насиченої водяної пари $E(x)$, Па, у товщі шарів огорожувальної конструкції. Парціальний тиск водяної пари у товщі матеріалу в перерізі x , визначається за формулою:

$$e(x) = e_6 - \frac{e_6 - e_3}{R_{e\Sigma}} \cdot R_{ex}, \text{ Па}, \quad (3)$$

де e_6 – парціальний тиск водяної пари внутрішнього повітря, Па, що визначається за розрахунковим значенням відносної вологості φ_{60} залежно від призначення будинку значення парціального тиску насиченої водяної пари E_6 , Па, що залежить від температури, за формулою:

$$e_s = 0,01 \cdot \varphi_{s0} \cdot E_s, \text{ Па}, \quad (4)$$

e_s – парціальний тиск водяної пари зовнішнього повітря, Па, що визначається за ДСТУ-Н Б В.2.6-192:2013; $R_{e\Sigma}$ – опір паропроникненню огорожувальної конструкції, $\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па} / \text{мг}$; R_{ex} – опір паропроникненню огорожувальної конструкції на відстані x , м, від внутрішньої поверхні, $\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па} / \text{мг}$.

Парціальний тиск насиченої водяної пари $E(x)$, Па, визначається згідно з довідковими даними залежності $E(t)$, Па, за розподілення температури $t(x)$, $^{\circ}\text{C}$, що розраховується за формулою:

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

де t_{ze} – розрахункова температура зовнішнього повітря для процесу накопичення вологи в конструкції, що визначається згідно з ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 для періоду найхолоднішого місяця року, $^{\circ}\text{C}$; R_x – опір теплопередачі 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 формулами:

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

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

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

У разі, якщо $e(x) > E(x)$, Па, у певній товщі огорожувальної конструкції, то в ній відбувається конденсація вологи.

Результати. Розглянемо розподілення температури $t(x)$, $^{\circ}\text{C}$, розподілення парціального тиску насиченої водяної пари $E(x)$, Па, та її парціального тиску $e(x)$, Па, і розподілення відносної вологості $\varphi(x) = 100 \cdot e(x) / E(x)$, %, у товщі

двох внутрішньо теплоізолюваних огорожувальних конструкцій у холодний період року, одна з яких є без паробар'єру з опором теплопередачі $R_{\Sigma} = 2,02 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ (рис. 1), а друга – із запропонованим нами паробар'єром з алюмінієвої фольги з опором теплопередачі $R = 2,07 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ (рис. 2), що знаходяться у м. Львові, який належить до I температурної зони, для якої $0,75 \cdot R_{\text{норм}} = 3,0 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, а умови експлуатації огорожувальних конструкцій – Б.

Рис. 3 і 4 показують критичну потребу недопущення конденсації в товщі цегляної кладки, яка практично вся опиняється під дією негативної температури. Тому конденсація призводитиме до руйнування конструкції від замерзання та розширення води в ній.

З рис. 5-8 видно, що випадання конденсату має місце лише за внутрішньої теплової ізоляції огорожувальних конструкцій приміщень без паробар'єру, адже $e(x) > E(x)$ і $\varphi(x) > 100\%$, а паробар'єр (алюмінієва фольга) унеможливує випадання конденсату, оскільки $E(x) > e(x)$ і $\varphi(x) < 100\%$ у всій товщі конструкції.

Висновки

Під час улаштування внутрішньої теплової ізоляції огорожувальних конструкцій приміщень потрібно виконати не тільки оцінку теплового, але й вологісного стану конструкції.

Внутрішня тепла ізоляція огорожувальних конструкцій приміщень з використанням мінерального утеплювача «БЕТОЛЬ®» можлива з використанням паробар'єру – алюмінієвої фольги.

References

1. Basińska M., Kaczorek D., Koczyk H. “Economic and Energy Analysis of Building Retrofitting Using Internal Insulations”. *Energies*, vol. 14, iss. 9, 2021, pp. 2446. <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 Study. *Applied Sciences*, vol. 10, iss. 21, 2020 p. 7484. <https://doi.org/10.3390/app10217484>
3. Tsykh V.S. Analysis of the thermal insulation materials main characteristics for enclosures. International scientific and practical conference “Applied scientific and technical research”, 3 - 5 April 2019, Ukraine technical sciences academy, Ivano-Frankivsk, Ukraine, p. 168. <http://repository.vsau.org/getfile.php/28120.pdf>
4. *Теплова ізоляція та енергоефективність будівел.* ДБН V.2.6-31:2021, *Ukrarkhbudininform*, 2022. (in Ukrainian)
5. *Теплоізоляція будівел. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу.* DSTU 9191:2022, *UkrNDNTS* 2023. (in Ukrainian)

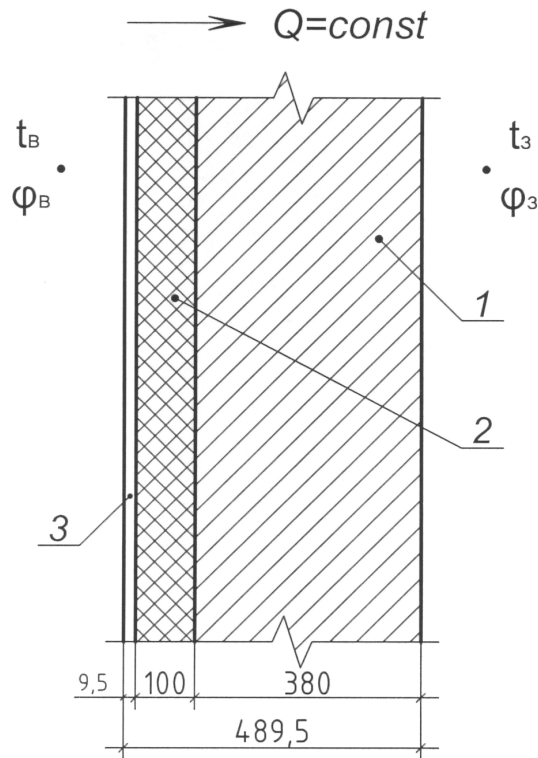


Рис. 1. Внутрішньо теплоізолювана огорожувальна конструкція без паробар'єру:

- 1 – кладка з цегли звичайної повнотілої – зовнішній шар: густина в сухому стані $\rho_{10} = 1800 \text{ кг/м}^3$; товщина шару $\delta_2 = 380 \text{ мм}$; коефіцієнт теплопровідності за умов експлуатації Б $\lambda_{1Б} = 0,81 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$; паропроникність $\mu_1 = 0,11 \text{ мг/(м}\cdot\text{год}\cdot\text{Па)}$;
- 2 – кладка із теплоізоляційної плити «БЕТОЛЬ®» – внутрішній шар: густина в сухому стані $\rho_{20} = 200 \text{ кг/м}^3$; $\delta_2 = 100 \text{ мм}$; $\lambda_{2Б} = 0,074 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$; $\mu_2 = 0,28 \text{ мг/(м}\cdot\text{год}\cdot\text{Па)}$;
- 3 – лист гіпсокартонний: $\rho_{30} = 800 \text{ кг/м}^3$; $\delta_2 = 9,5 \text{ мм}$; $\lambda_{3Б} = 0,21 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$; $\mu_3 = 0,075 \text{ мг/(м}\cdot\text{год}\cdot\text{Па)}$

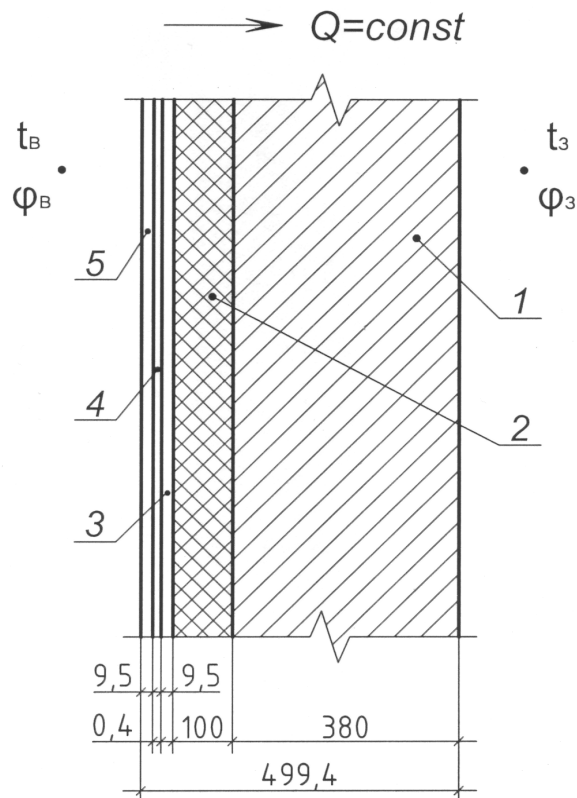


Рис. 2. Внутрішньо теплоізольована огорожувальна конструкція з паробар'єром:

1 – кладка з цегли звичайної повнотілої – зовнішній шар: густина в сухому стані $\rho_{10} = 1800 \text{ кг/м}^3$; товщина шару $\delta_2 = 380 \text{ мм}$; коефіцієнт теплопровідності за умов експлуатації Б $\lambda_{1Б} = 0,81 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$;

паропроникність $\mu_1 = 0,11 \text{ мг/(м}\cdot\text{год}\cdot\text{Па)}$;

2 – кладка із теплоізоляційної плити «БЕТОЛЬ®» – внутрішній шар: густина в сухому стані $\rho_{20} = 200 \text{ кг/м}^3$; $\delta_2 = 100 \text{ мм}$; $\lambda_{2Б} = 0,074 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$;

$\mu_2 = 0,28 \text{ мг/(м}\cdot\text{год}\cdot\text{Па)}$;

3 – лист гіпсокартонний: $\rho_{30} = 800 \text{ кг/м}^3$; $\delta_2 = 9,5 \text{ мм}$;

$\lambda_{3Б} = 0,21 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$; $\mu_3 = 0,075 \text{ мг/(м}\cdot\text{год}\cdot\text{Па)}$;

4 – паробар'єр: $\rho_{40} = 2600 \text{ кг/м}^3$;

$\delta_4 = 0,4 \text{ мм}$; $\lambda_{4Б} = 221 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$; $\mu_4 = 0,00001 \text{ мг/(м}\cdot\text{год}\cdot\text{Па)}$;

5 – лист гіпсокартонний: $\rho_{50} = 800 \text{ кг/м}^3$; $\delta_5 = 9,5 \text{ мм}$;

$\lambda_{5Б} = 0,21 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$; $\mu_5 = 0,075 \text{ мг/(м}\cdot\text{год}\cdot\text{Па)}$

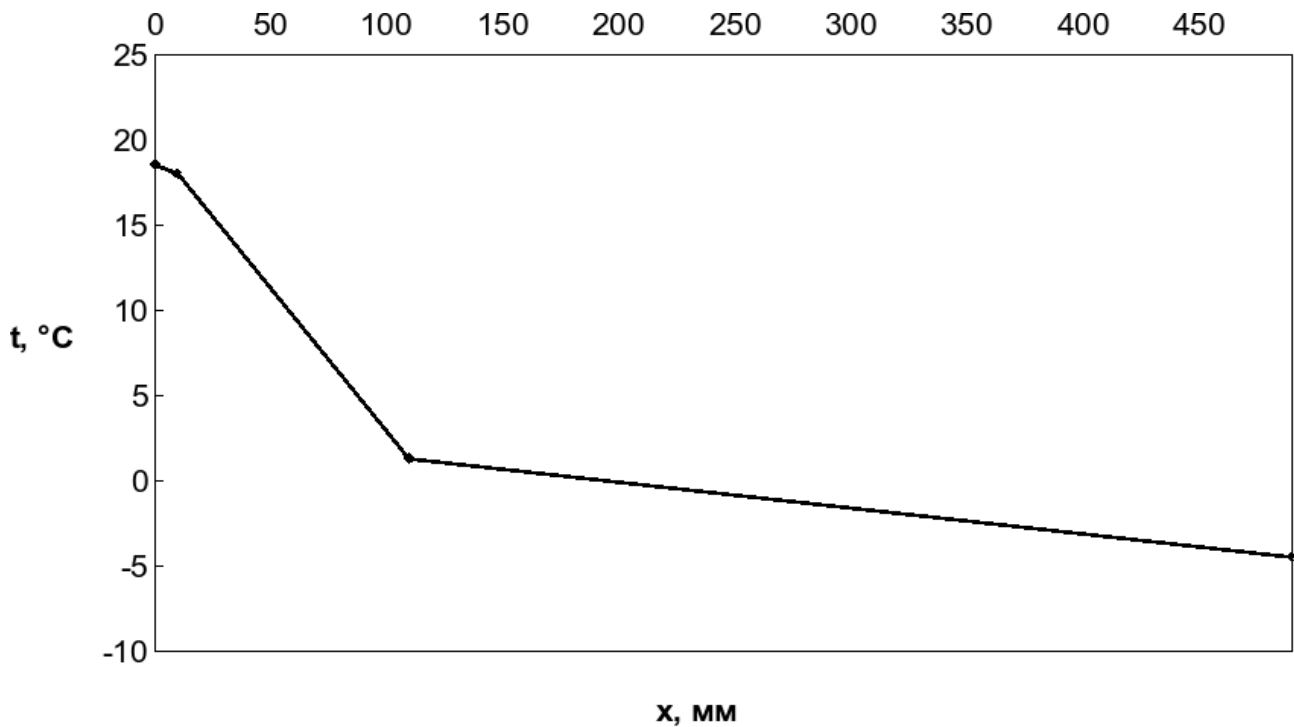


Рис. 3. Розподілення температури $t(x)$ у товщі внутрішньо теплоізолюваної огорожувальної конструкції без паробар'єру в холодний період року

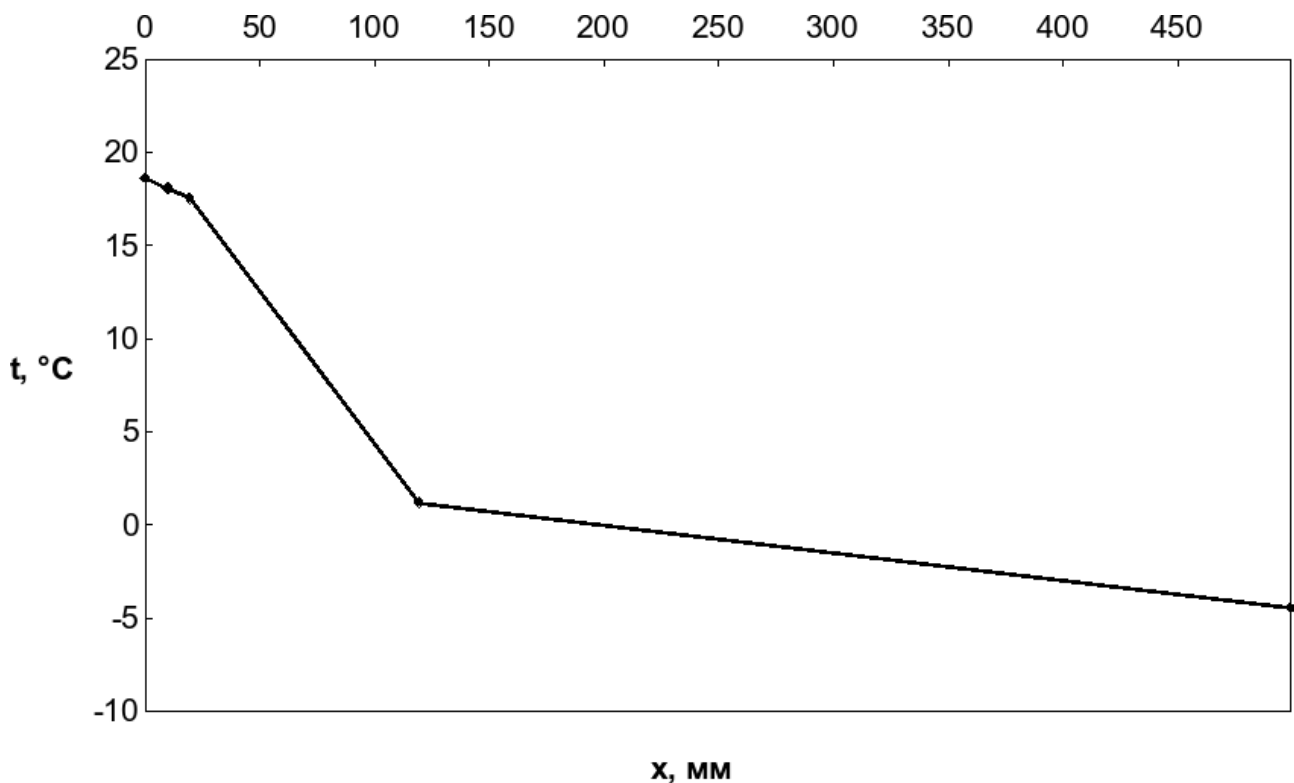


Рис. 4. Розподілення температури $t(x)$ у товщі внутрішньо теплоізолюваної огорожувальної конструкції із паробар'єром у холодний період року

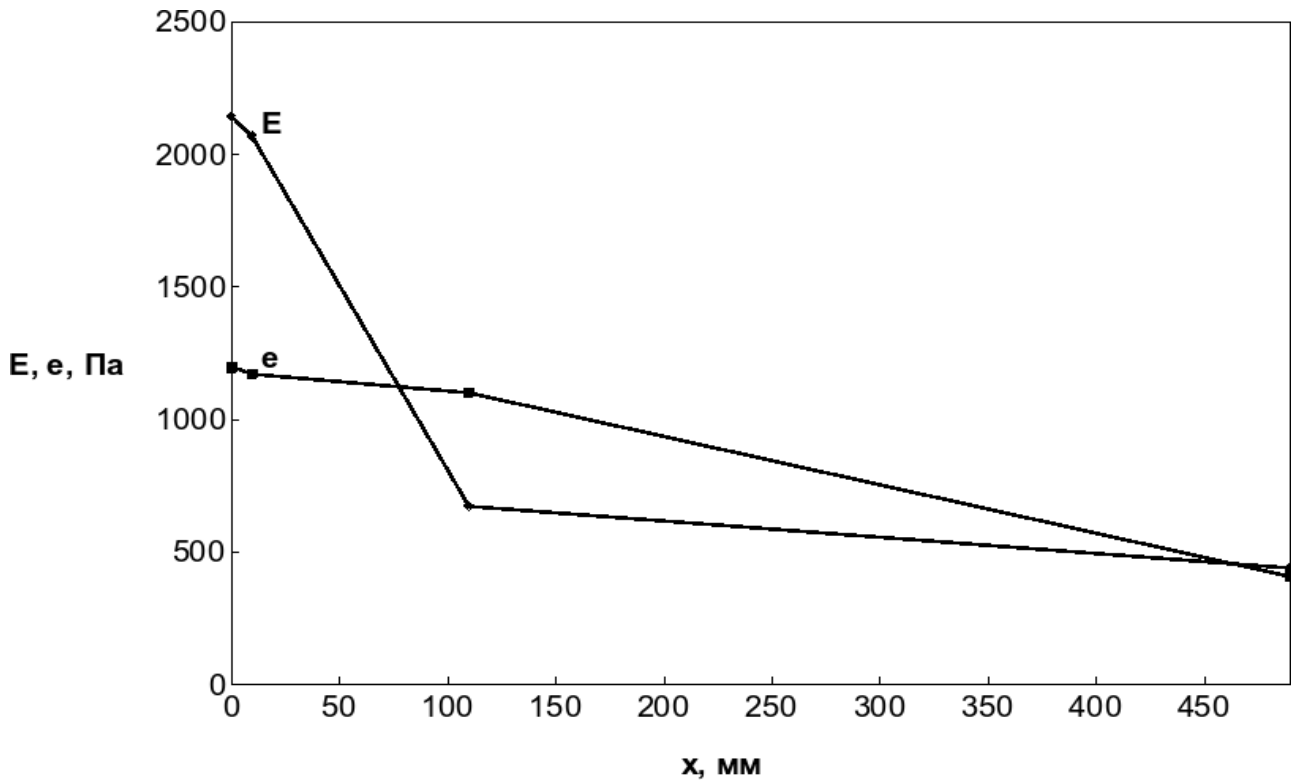


Рис. 5. Розподілення парціального тиску насиченої водяної пари $E(x)$ та фактичного парціального тиску $e(x)$ у товщі внутрішньо теплоізольованої огорожувальної конструкції без паробар'єру у холодний період року

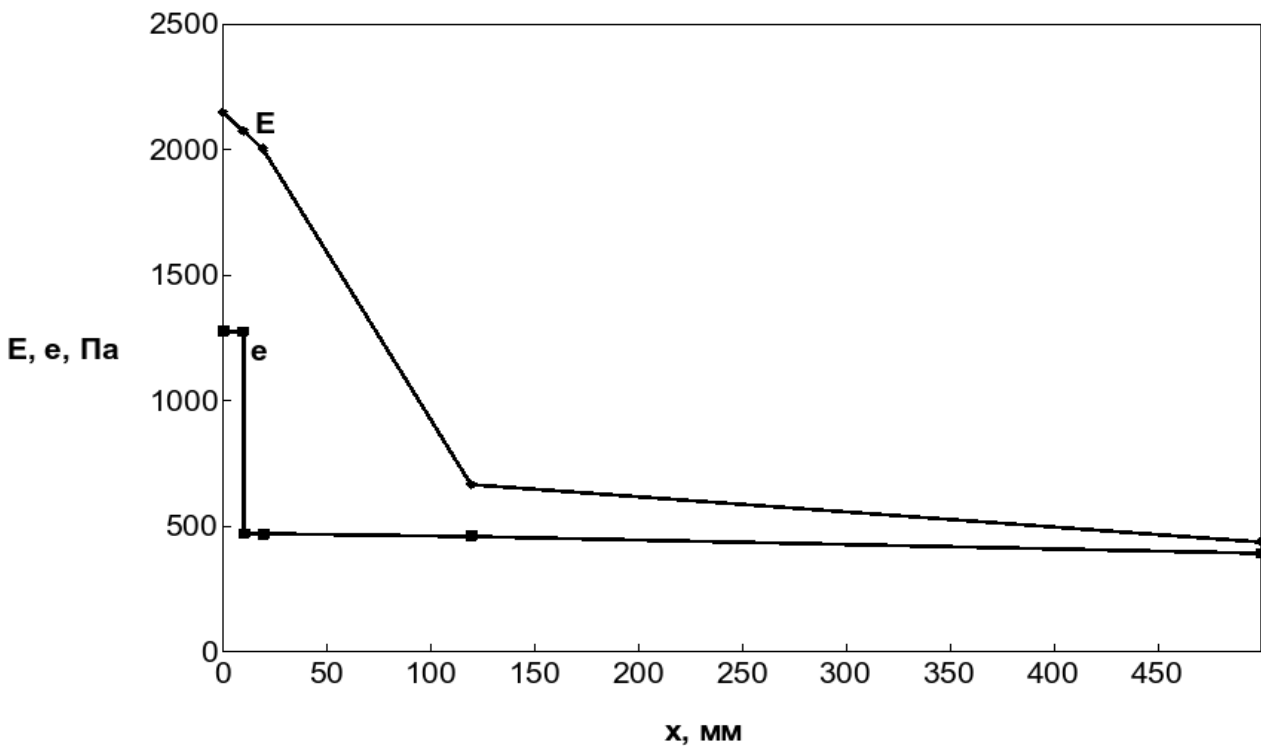


Рис. 6. Розподілення парціального тиску насиченої водяної пари $E(x)$ та її парціального тиску $e(x)$ у товщі внутрішньо теплоізольованої огорожувальної конструкції із паробар'єром у холодний період року

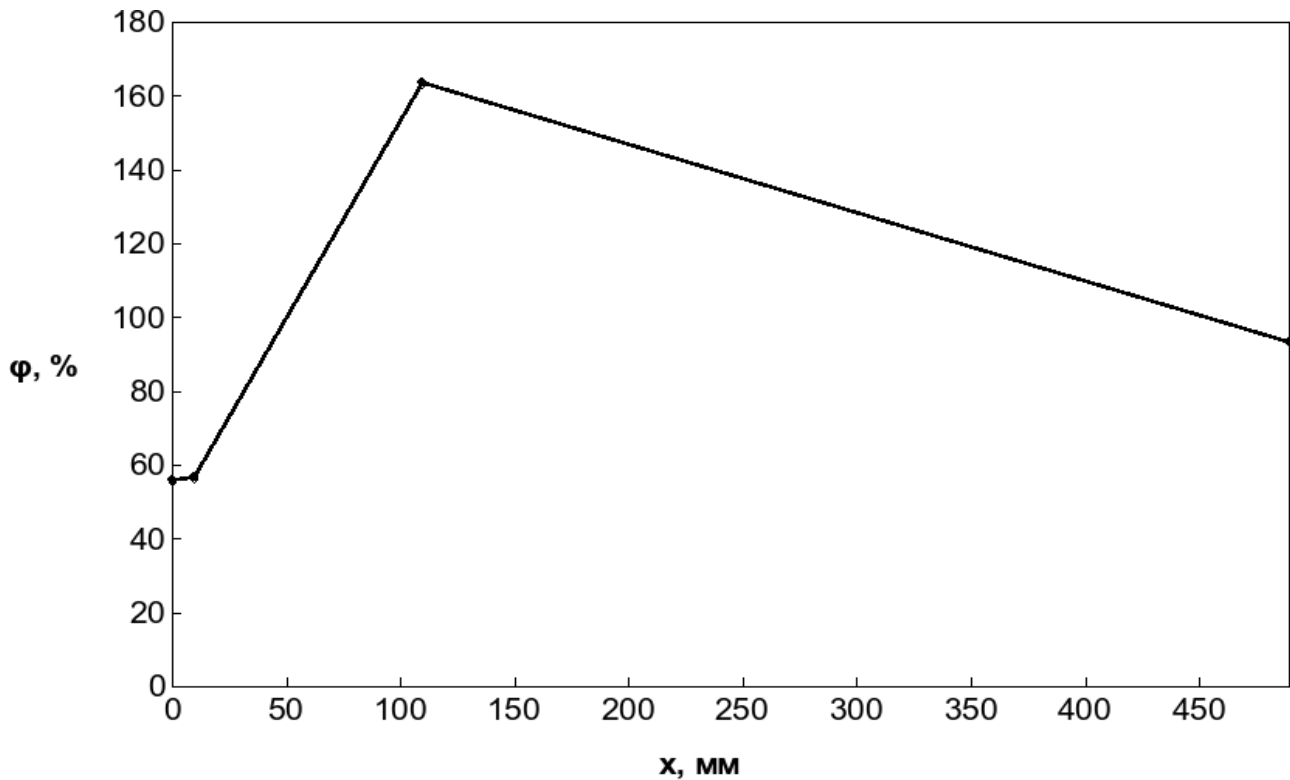


Рис. 7. Розподілення відносної вологості $\varphi(x) = e(x) \cdot 100 / E(x)$, %, у товщі внутрішньо теплоізолюваної огорожувальної конструкції без паробар'єру у холодний період року

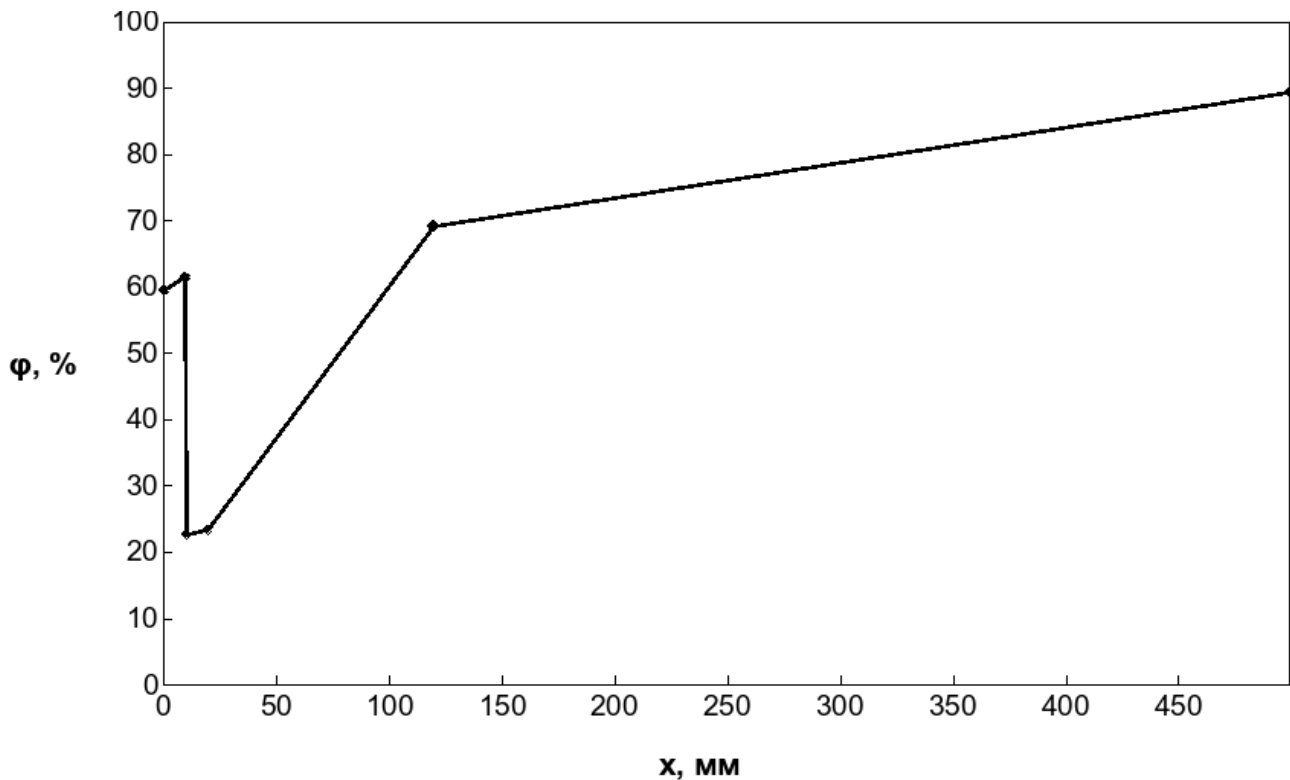


Рис. 8. Розподілення відносної вологості $\varphi(x) = e(x) \cdot 100 / E(x)$, %, у товщі внутрішньо теплоізолюваної огорожувальної конструкції з паробар'єром у холодний період року

УДК 699.86:699.82

Professor **Volodymyr Labai**,
volodymyr.y.labai@lpnu.ua, ORCID: 0000-0003-3149-2573

Lviv Polytechnic National University

lecturer **Halyna Vereshchinska**,
vereshchynskahalyna@lteknuip.ukr.education, ORCID: 0009-0003-9044-7956

SSU "Technical and economic professional college
of Lviv Polytechnic National University

METHOD OF ARRANGEMENT OF INTERNAL THERMAL INSULATION OF EXTERNAL PROTECTIVE STRUCTURES OF THE ROOM

***Annotation.** This article aims to discuss the conditions of insulation and avoidance of moisture condensation in the enclosing structures of buildings whose facades cannot be insulated from the outside due to historical and cultural value. The paper presents a study of the energy-efficient design of the facade of a residential building, which uses insulating materials that are suitable for internal thermal insulation of historical buildings. The analysis of domestic and European literary sources regarding the improvement of the level of thermal protection of buildings shows that the improvement of energy efficiency is important for ensuring a sustainable, affordable and safe energy system. The paper presents the results of a study aimed at increasing energy efficiency in residential buildings, as well as an analysis of the humidity state and the possibility of condensation when using internal insulation. Numerical simulations were performed to confirm the results. The obtained results indicate that the use of mineral insulation "BETOL®" and aluminium foil as a vapour barrier, applied from the inside, contributes to the improvement of thermal insulation of the walls and reduces the risks of condensation. Computer simulations have shown that under the considered conditions, condensation does not occur. The relative humidity in the structure does not reach 90%. The same structure without the vapour barrier causes condensation because the relative humidity exceeds 100 % in whole thickness of the brickwork, which will cause destruction of the historical structure. This research makes an important contribution to the development of energy-efficient solutions for the construction industry, as it will ensure the minimum permissible value of the heat transfer resistance of the enclosing structures and extend the service life of them and buildings as a whole.*

***Key words:** internal thermal insulation, vapour barrier, vapour penetration, relative humidity, energy efficiency,*