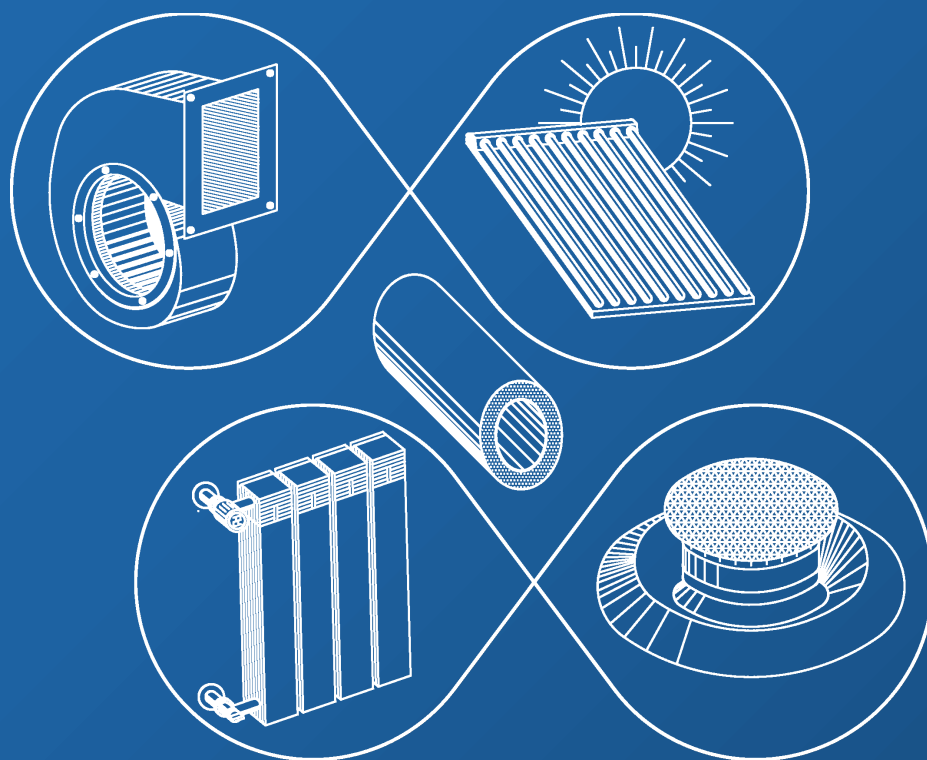


# ВЕНТИЛЯЦІЯ, ОСВІТЛЕННЯ ТА ТЕПЛОГАЗОПОСТАЧАННЯ



**2023**

**Випуск 47**



**КИЇВ 2023**

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE  
Kiev National University of Construction and Architecture

**VENTYLIATSIIA, OSVITLENNIA  
TA TEPLOHAZOPOSTACHANNIA**

SCIENTIFIC AND TECHNICAL COLLECTION

*founded in 2001*

ISSUE 47

Kyiv 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Київський національний університет  
будівництва і архітектури

# **ВЕНТИЛЯЦІЯ, ОСВІТЛЕННЯ ТА ТЕПЛОГАЗОПОСТАЧАННЯ**

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЗБІРНИК

*заснований у 2001 році*

ВИПУСК 47

Київ 2023

---

УДК 697

ISSN 2409-2606

**B29**

**Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання:** науково-технічний збірник. – Вип. 47 / відповідальний редактор В. О. Мілейковський. – Київ: КНУБА, 2023. – 63 с.

У збірнику висвітлюються результати наукових досліджень, питання теорії і практики з опалення, вентиляції і кондиціонування повітря, теплопостачання та газопостачання. Призначений для наукових працівників, викладачів, виробників, докторантів, аспірантів та студентів.

**Редакційна колегія:** докт. техн. наук, професор В. О. Мілейковський (відповідальний редактор); докт. техн. наук, професор В. П. Корбут (заступник відповідального редактора); ас. О.А. Дудніков (відповідальний секретар); докт. екон. наук, доцент К. М. Предун; докт. техн. наук, професор О. В. Приймак; докт. техн. наук, професорка Т. М. Ткаченко; докт. техн. наук, професор Г. В. Жук; докт. техн. наук, професор В. А. Кравець; докт. техн. наук, професор Г. Гавардашвілі (Грузія); докт. техн. наук, професор З. Гвішані (Грузія); докт. техн. наук, професор Н. Мамедов (Азербайджан); докт. техн. наук, професор Б. Рашуо (Сербія); доктор наук, професор А. Рогожа (Литва); докт. техн. наук, професор Г. Собчук (Польща); докт. техн. наук, професор М. Улевіч (Польща); доктор інженер, доцент А. Ліс (Польща); доктор інженер, доцент А. Уйма (Польща); докт. техн. наук, професор О. Токмаджян (Вірменія); докт. техн. наук, професор А. Маргарян (Вірменія); докт. техн. наук, доцент В. Токмаджян (Вірменія); доктор Г. Глінцерер (Австрія).

Рекомендовано до випуску Вченою радою Київського національного університету будівництва і архітектури 19 грудня 2023 р., протокол № 16.

Адреса редакційної колегії: Київський національний університет будівництва і архітектури, кафедра теплогазопостачання і вентиляції та кафедра теплотехніки, Повітрофлотський просп., 31, м. Київ, 03037, Україна.

тел. +380(44)245-48-33

© Київський національний  
університет  
будівництва і архітектури

## **З М І С Т**

Володимир Лабай, Галина Верещинська <i>Спосіб улаштування внутрішньої теплової ізоляції зовнішніх захисних конструкцій приміщення.....</i>	<i>6</i>
Юрій Франчук, Вікторія Коновалюк <i>Аналіз впливу теплоти згоряння газу на визначення діаметрів газопроводів.....</i>	<i>18</i>
Леонід Косенко, Олена Коваль, Євгеній Юрченко, Артем Коваль <i>Аналіз європейських нормативних вимог до будівель з близьким до нульового енергоспоживанням та можливості впровадження в Україні.....</i>	<i>28</i>
Андрій Редько, Ігор Редько, Дмитро Бородай, Сергій Андрух, Геннадій Циганенко <i>Застосування склопластикових труб у геотермальних циркуляційних системах.....</i>	<i>36</i>
Валерій Савін, Василь Желих <i>Огляд особливостей використання вітровловлювачів у системах енергоощадної вентиляції.....</i>	<i>53</i>

## CONTENTS

Volodymyr Labai, Halyna Vereshchinska <i>Method of arrangement of internal thermal insulation of external protective structures of the room.....</i>	6
Yurii Franchuk, Viktoriia Konovaliuk <i>Analysis of the influence of the heat of combustion of gas on the determination of gas pipeline diameters.....</i>	18
Leonid Kosenko, Olena Koval, Evhenii Yurchenko, Artem Koval <i>Analysis of European regulatory requirements for near to zero energy consumption buildings and the possibility of implementation in Ukraine.....</i>	28
Andriy Redko, Ihor Redko, Dmytro Borodai, Serhii Andruh, Hennadiy Tsyhanenko <i>Application of fiberglass pipes in geothermal circulation systems.....</i>	36
Valeri Savin, Vasyl Zhelykh <i>Review of peculiarities of using wind catchers in energy-saving ventilation systems.....</i>	77

УДК 699.86:699.82

професор **Володимир Лабай**,  
[volodymyr.y.labai@lpnu.ua](mailto:volodymyr.y.labai@lpnu.ua), ORCID: 0000-0003-3149-2573

Національний університет «Львівська політехніка»

викладачка **Галина Верещинська**,  
[vereshchynskahalyna@lteknuip.ukr.education](mailto: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,  $\text{м}$ ;  $\lambda_{ip}$  – 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 витрат 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  $\phi_{60}$  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  $x$ ;  $\mu_i$  – паропроникність матеріалу  $i$ -го шару конструкції,  $\text{мг} / (\text{м} \cdot \text{год} \cdot \text{Па})$ ;  $\mu_{m+1}$  – 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) унеможливає 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)

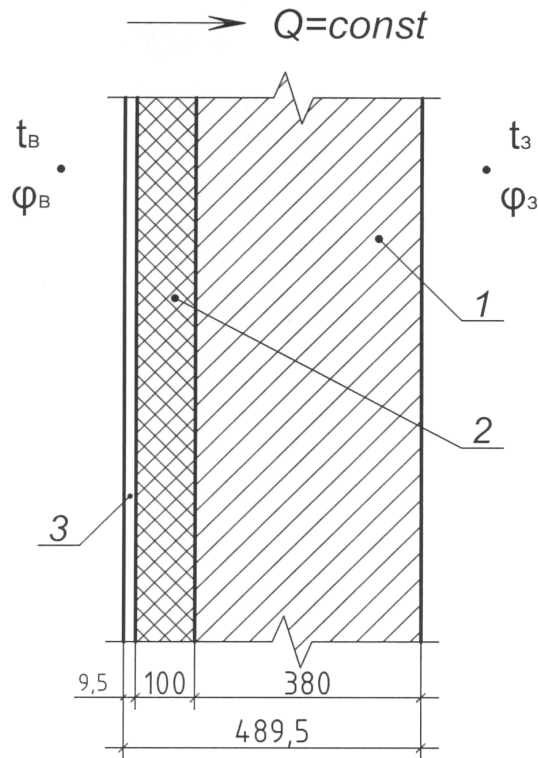


Рис. 1. Внутрішньо теплоізована огорожувальна конструкція без паробар'єру:

- 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:  $\rho_{30} = 800 \text{ кг/м}^3$ ;  $\delta_2 = 9,5 \text{ мм}$ ;  $\lambda_{3Б} = 0,21 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ;  $\mu_3 = 0,075 \text{ мг/(м}\cdot\text{год}\cdot\text{Па)}$

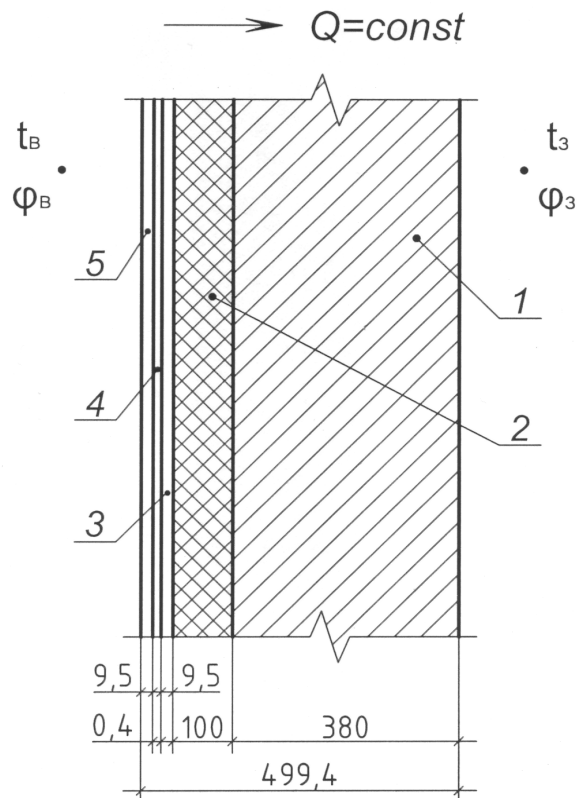


Рис. 2. Внутрішньо теплоізольована огорожувальна конструкція з паробар'єром:

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

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

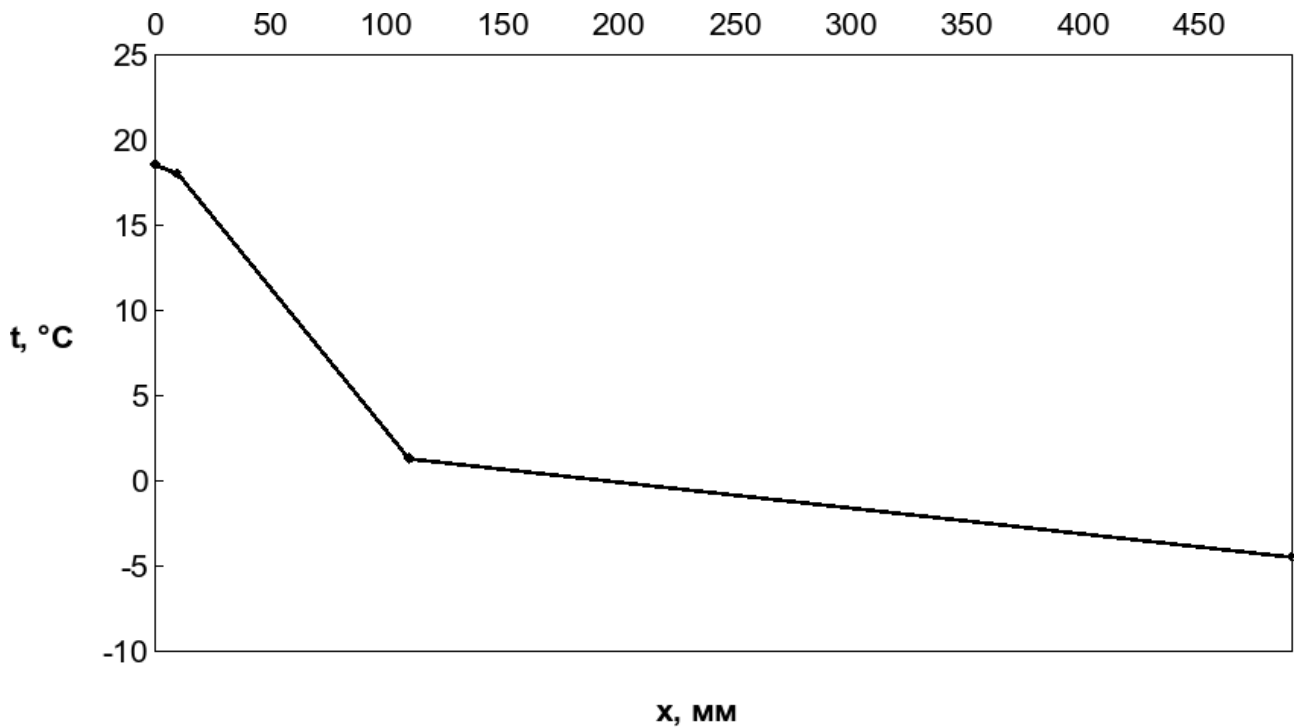


Рис. 3. Розподілення температури  $t(x)$  у товщі внутрішньо теплоізолюваної огорожувальної конструкції без паробар'єру в холодний період року

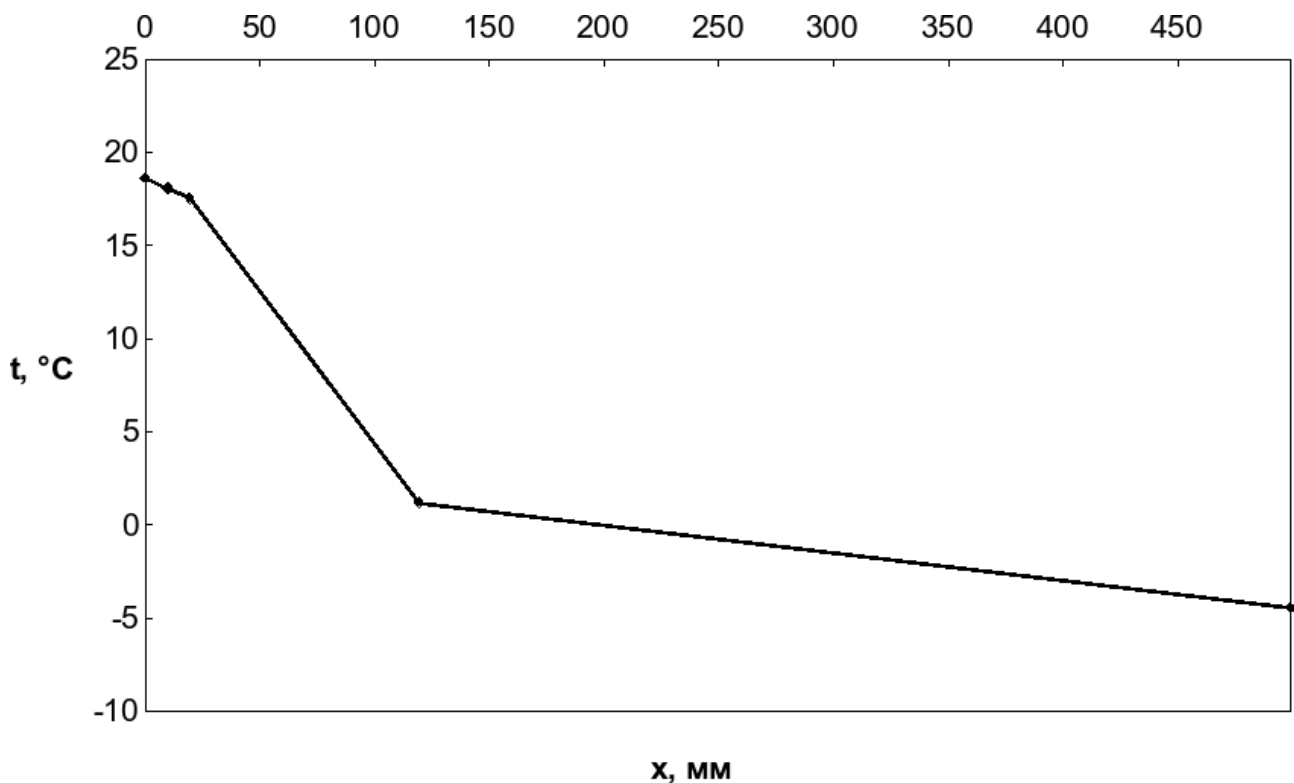


Рис. 4. Розподілення температури  $t(x)$  у товщі внутрішньо теплоізолюваної огорожувальної конструкції із паробар'єром у холодний період року

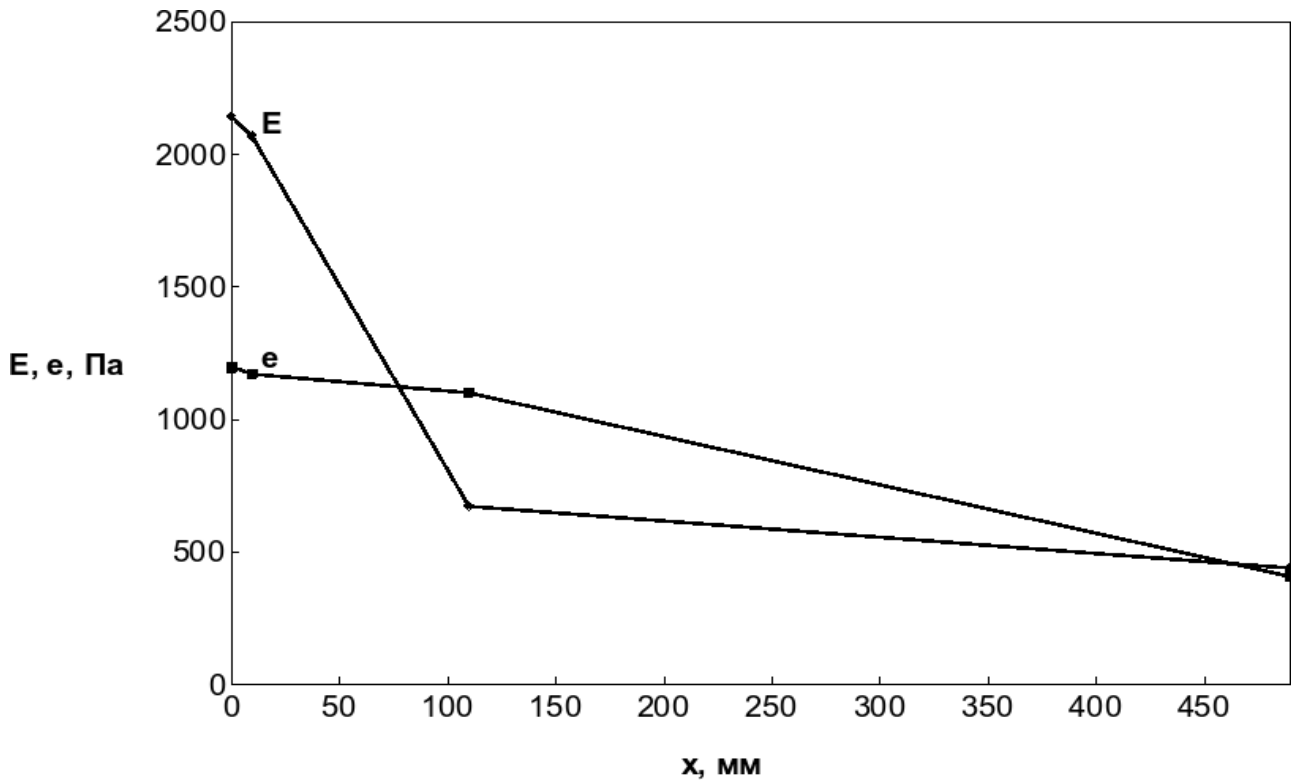


Рис. 5. Розподілення парціального тиску насиченої водяної пари  $E(x)$  та фактичного парціального тиску  $e(x)$  у товщі внутрішньо теплоізольованої огорожувальної конструкції без паробар'єру у холодний період року

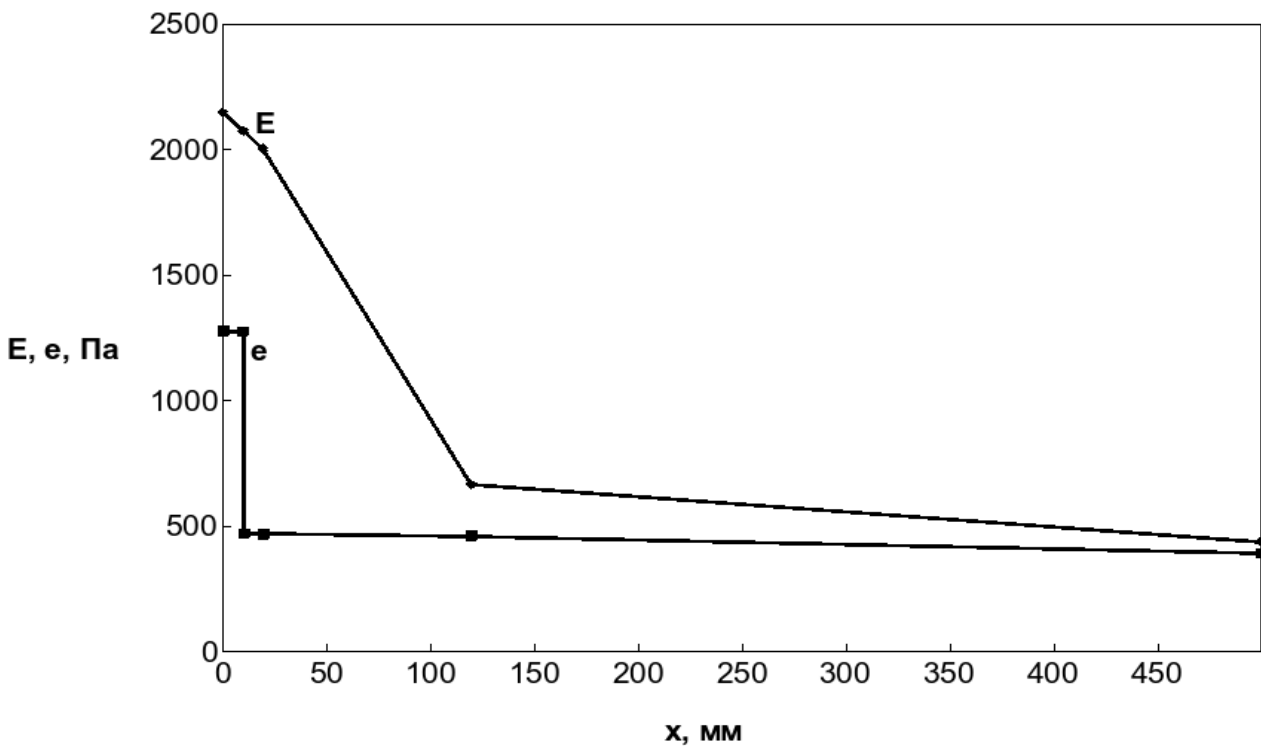


Рис. 6. Розподілення парціального тиску насиченої водяної пари  $E(x)$  та її парціального тиску  $e(x)$  у товщі внутрішньо теплоізольованої огорожувальної конструкції із паробар'єром у холодний період року



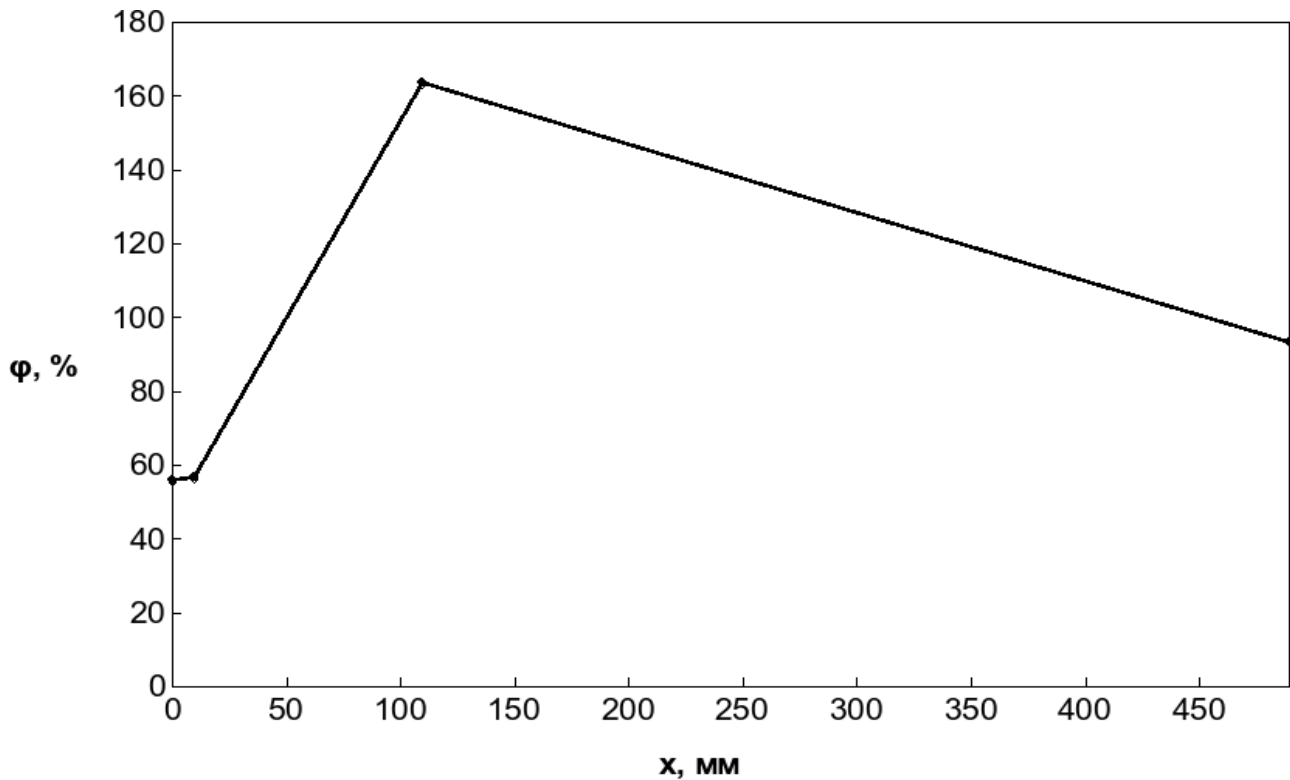


Рис. 7. Розподілення відносної вологості  $\varphi(x) = e(x) \cdot 100 / E(x)$ , %, у товщі внутрішньо теплоізолюваної огорожувальної конструкції без паробар'єру у холодний період року

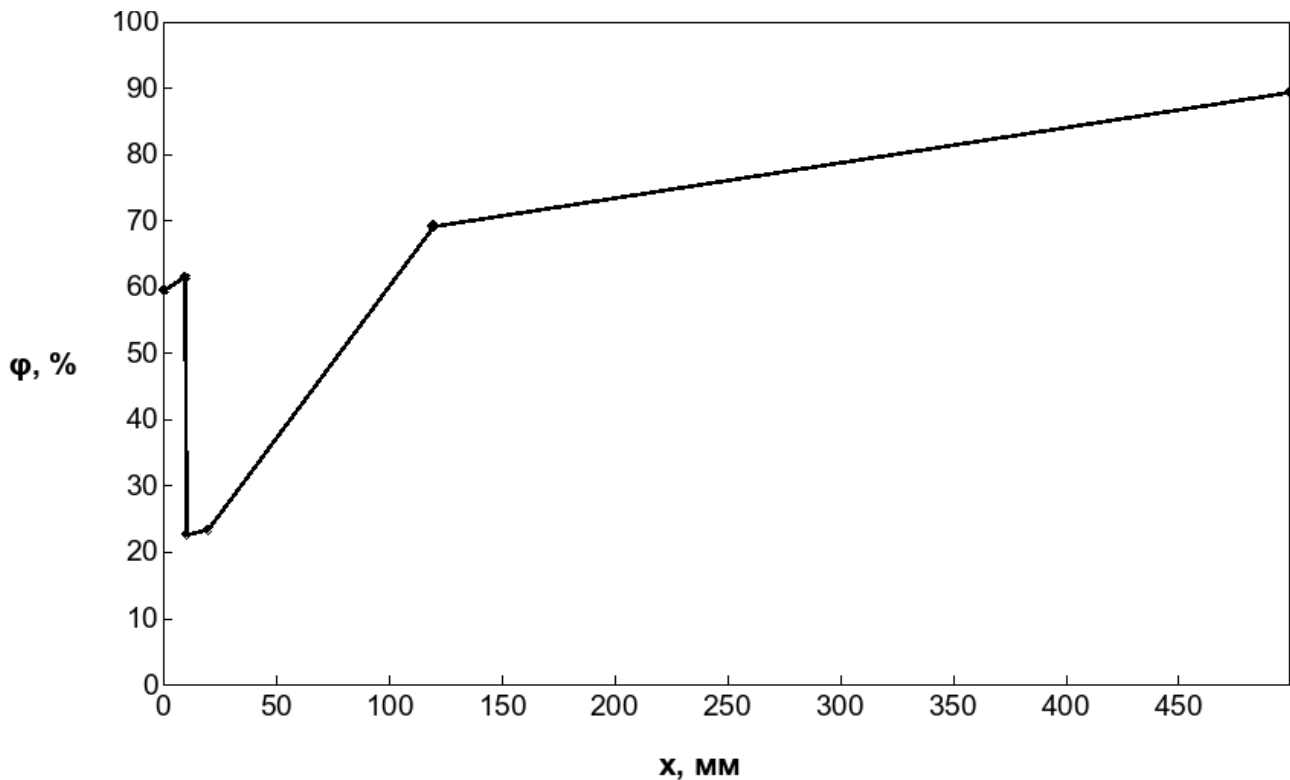


Рис. 8. Розподілення відносної вологості  $\varphi(x) = e(x) \cdot 100 / E(x)$ , %, у товщі внутрішньо теплоізолюваної огорожувальної конструкції з паробар'єром у холодний період року

УДК 699.86:699.82

Professor **Volodymyr Labai**,  
[volodymyr.y.labai@lpnu.ua](mailto:volodymyr.y.labai@lpnu.ua), ORCID: 0000-0003-3149-2573

Lviv Polytechnic National University

lecturer **Halyna Vereshchinska**,  
[vereshchynskahalyna@lteknuip.ukr.education](mailto: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,*

УДК 696.2

доцент **Юрій Франчук**,

[franchuk.yu@knuba.edu.ua](mailto:franchuk.yu@knuba.edu.ua), ORCID: 0000-0002-7910-8705,

доцентка **Вікторія Коновалюк**,

[konovaliuk.va@knuba.edu.ua](mailto:konovaliuk.va@knuba.edu.ua), ORCID: 0000-0001-5115-7188

Київський національний університет будівництва і архітектури

## **АНАЛІЗ ВПЛИВУ ТЕПЛОТИ ЗГОРЯННЯ ГАЗУ НА ВИЗНАЧЕННЯ ДІАМЕТРІВ ГАЗОПРОВОДІВ**

*Анотація. Розподільчі системи газопостачання в переважній більшості вводилися в експлуатацію тридцять-п'ятдесят років тому і відповідали нормативним вимогам, які були чинні на той час. Зараз змінилися навантаження в цих мережах, вичерпався нормативний строк експлуатації. На стан газових мереж значно вплинули воєнні дії. Вимоги нормативних документів у сфері газопостачання значно змінилися у напрямку гармонізації з чинним європейським законодавством. Запроваджуються розрахунки за обсягом природного газу в одиницях енергії, що визначається за вищою теплотою згоряння. Пропонується при визначенні діаметра газових мереж використовувати вищу теплоту згоряння газу. Розглянуто вплив компонентного складу газу на його фізико-хімічні властивості і, як наслідок, на пропускну здатність системи. Також унаслідок впровадження в будівлях термомодернізаційних заходів зменшується кількість спожитого газу і виникає потреба оптимізувати значення коефіцієнтів одночасної роботи газових приладів.*

*Ключові слова: газопостачання, тиск газу, об'єм газу, діаметр трубопроводу, коефіцієнт одночасності*

**Вступ.** Природний газ у структурі енергозабезпечення відіграє значну роль. Згідно з Енергетичною стратегією України до 2035 року [1] у загальному постачанні первинної енергії природний газ складатиме 29 млн. т. н.е., що становить 30,2 % всього енергобалансу держави. При цьому зміниться структура первинного постачання енергії. Так, частка біомаси, біопалива та відходів зросте з 2,3 % до 11,5 %.

Впроваджується додавання біометану та водню в газорозподільні мережі. Удосконалюється нормативна база, внесені зміни до Кодексу газотранспортної системи (Кодекс ГТС), де дозволений вміст кисню збільшився з 0,2 до 1,0% [2].

В інших країнах нормативними документами передбачено контролювання вмісту водню згідно з табл. 1.

Таблиця 1. Максимальна допустима концентрація водню в газових мережах [3]

Країна	Нідерланди	Німеччина	Франція	Іспанія	Австрія	Швейцарія
Уміст Н <sub>2</sub> , %	12	10	6	5	4	4
Країна	Італія	Швеція	Бельгія	Велика Британія	Японія	Україна
Уміст Н <sub>2</sub> , %	3	0,5	0,1	0,1	0	не нормується

Компонентний склад газу має принциповий вплив на кількість енергії, що утворюється при його спалюванні. В Україні прийнято Закон [4] про проведення оплати за спожитий газ в одиницях енергії, тому важливе розуміння, як зміна складу газу вплине на його кількість для забезпечити потреб споживачів, суми нарахувань і матеріалоємність системи газопостачання.

**Актуальність дослідження.** Унаслідок застосування нових норм в обліку газу і розрахунках за нього та впровадження сучасного вискоелективного газовикористовувального обладнання виникає нагальна потреба в нових підходах до розрахунків газових мереж. Вони позитивно вплинуть на вартість будівельних робіт на газових мережах та дозволять об'єктивно проаналізувати пропускну здатність газопроводів. Виникає потреба в дотриманні певної якості газу (теплоти згоряння), числа Воббе, нормативного тиску на пальниках тощо. Потреба у відбудові газопроводів, пошкоджених внаслідок воєнних дій, з використанням об'єктивних параметрів при їхніх гідравлічних розрахунках підвищує актуальність цього питання.

**Останні дослідження та публікації.** Методика проведення гідравлічного розрахунку газопроводів викладені в додатку Г [5]. Зараз відбувається процес узгодження законодавства України з вимогами законодавчої бази Європейського союзу. Необхідно враховувати вплив енергетичної цінності газу та інші нормативні вимоги, викладені у Кодексі газотранспортної системи (ГТС) [2], Кодексі газорозподільних систем (Кодекс ГРС) [6], Кодексі усталеної практики України (Кодекс УП) [7] та Правилах безпеки систем газопостачання (ПБСГ) [8]. Застосування методики гідравлічного розрахунку систем газопостачання викладено в [9-10]. Змінились вимоги до якості газу, здійснюється перехід до комерційного обліку газу в одиницях енергії. Проте недостатньо інформації як склад газу, його якість, наявність біометану та водню в мережах впливає на

гідравлічні характеристики системи газопостачання.

**Формулювання цілей статті.** Провести аналіз впливу теплоти згоряння на визначення діаметрів газопроводів при проведенні їх гідравлічного розрахунку і на можливість повнішого використання пропускної здатності наявних мереж.

**Основна частина.** При проектуванні системи газопостачання визначають діаметри трубопроводів для пропускання розрахункової витрати газу при максимально допустимих втратах тиску. При виконанні робіт з реконструкції газопроводів при відомих діаметрах на ділянках необхідно забезпечити розрахункове падіння тиску із подаванням необхідної кількості теплової енергії. Кількість енергії залежить від кількості газу та енергетичної цінності одиниці його об'єму. При розробленні проектів генеральних планів населених пунктів допускається приймати укрупнені показники споживання газу при теплоті згоряння газу 34 МДж/м<sup>3</sup> [5]. Раніше ГОСТ 5542-87 «Гази горючі природні для промислового та комунально-побутового призначення. Технічні умови» (чинний з 01.01.1988 по 01.01.2022 рр.) передбачав, що теплота згоряння газу повинна бути не менше 31,8 МДж/м<sup>3</sup>. Наразі в Кодексі ГТС [2] встановлено, що теплота згоряння газу, який подається в систему газопостачання, має відповідати іншим чисельним значенням (табл. 2).

Таблиця 2. Теплота згоряння газу (при температурі 20 °С) [2]

Показник якості	Одиниця вимірювання	
	МДж/м <sup>3</sup>	кВт·год/м <sup>3</sup>
Вища теплота згоряння		
мінімум	36,20	10,06
максимум	38,30	10,64
Нижча теплота згоряння		
мінімум	32,66	09,07
максимум	34,54	09,59

Вимоги Кодексу УП [7] передбачають що якість природного газу має відповідати вимогам Кодексу ГРС [6].

Проведений аналіз чисельних значень компонентного складу та фізико-хімічних показників газу, обчислених на його основі, наведених в Паспортах фізико-хімічних показників природного газу за період з 01.03.2021 до 01.04.2021, переданого оператором ГТС та прийнятого газорозподільним підприємством (таблиця 2).

Таблиця 3. Дані з паспортів фізико-хімічних показників природного газу

Маршрут	Вміст метану, %	Вміст інших вуглеводнів, %	Вміст горючих газів, %	Теплота згоряння			
				нижча		вища	
				МДж/м <sup>3</sup>	кВт·год/м <sup>3</sup>	МДж/м <sup>3</sup>	кВт·год/м <sup>3</sup>
106	91,12	5,27	3,61	34,67	9,63	38,41	10,67
108	86,03	8,45	5,52	34,43	9,56	38,12	10,59
697	89,00	7,20	3,80	35,92	9,88	39,73	11,03

У газі, що подавався газопроводами маршруту №108, теплота згоряння газу відповідає, а склад газу не відповідає нормативним вимогам, наведеним в табл.2. У маршруті № 697 вміст метану нижче нормативного значення, але внаслідок підвищеного вмісту важких вуглеводнів нижча теплота згоряння перевищує максимальне нормативне значення.

Чинним в період з 1988 по 2021 роки нормативом [11] була передбачена мінімальна теплота згоряння 31,8 МДж/м<sup>3</sup>. Проведено аналіз змін чисельних значень теплоти згоряння в нормативних документах та деяких паспортах фізико-хімічних показників газу (табл.2, рис. 1).

Таблиця 4. Зміна значень теплоти згоряння газу

№ з/п	Документ що визначає теплоту згоряння газу	Значення теплоти згоряння газу, МДж	Абсолютне відхилення, МДж	Відсоткове відхилення, %
1	Біогаз	30,00	+ 1,80	+5,70
2	ГОСТ 5542-87	31,80	0	0
3	Кодекс ГРС	32,66	- 0,86	- 2,70
4	Маршрут №108	34,43	- 2,63	- 8,27
5	Кодекс ГРС	34,54	- 2,74	- 8,61
6	Маршрут №697	35,92	- 4,12	- 12,96
7	Кодекс ГТС	36,20	- 4,40	- 13,84
8	Маршрут №108	38,12	- 6,32	- 19,87
9	Кодекс ГТС	38,30	- 6,50	- 20,44
10	Маршрут №697	38,73	- 6,93	- 21,79

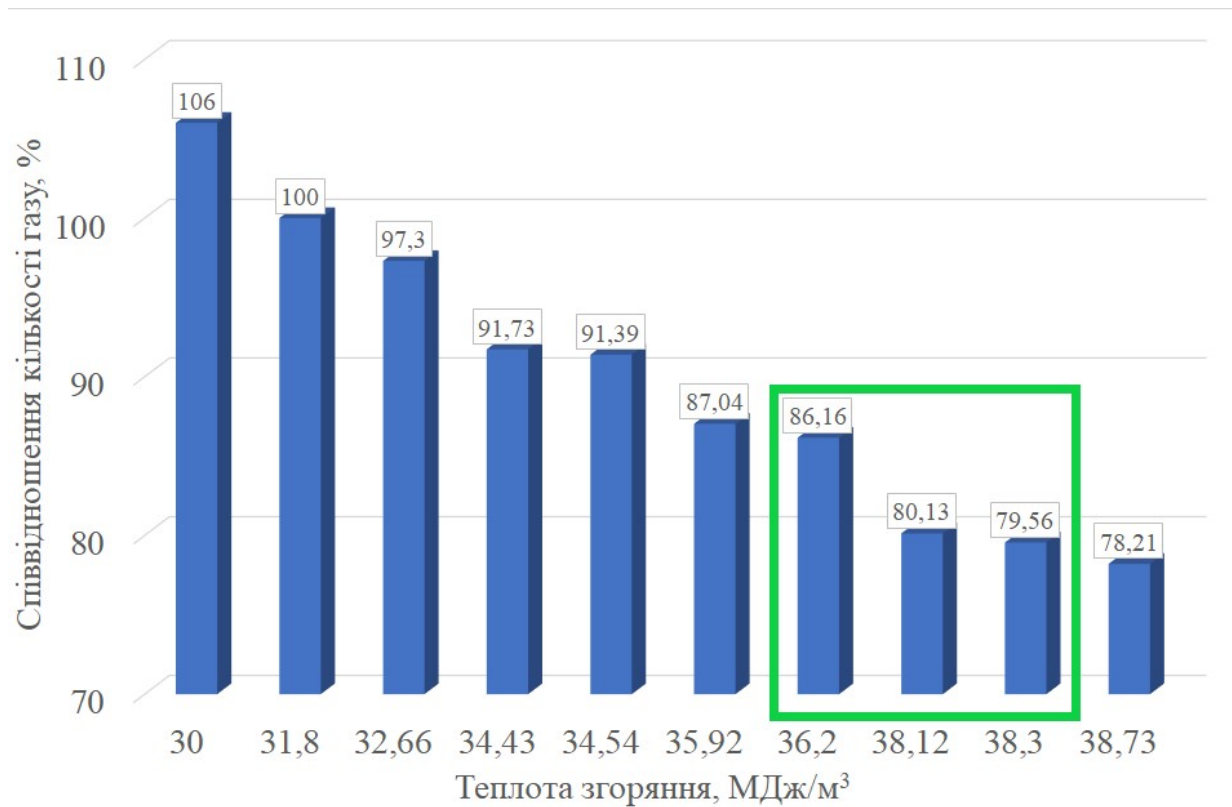


Рис. 1. Графічна залежність розрахункової кількості газу від теплоти згорання

Різниця між рекомендованою теплотою згорання газу для розрахунків діаметрів газопроводів  $34 \text{ МДж/м}^3$  [5] і теплотою згорання газу  $10,64 \text{ кВт}\cdot\text{год/м}^3$  ( $38,30 \text{ МДж/м}^3$ ) [2], що використовується для розрахунків газу в одиницях енергії, становить  $12,65 \%$ . Як видно з таблиці 2, значення теплоти згорання газу, що приймається для розрахунку об'єму газу, може коливатися в діапазоні  $20\text{-}30 \%$ .

Відповідно до [5], витрату газу визначають за формулою:

$$V_i = 3,6 \cdot Q / (\eta \cdot Q_p^H), \text{ Па}, \quad (1)$$

де  $Q$  – теплова потужність, кВт;  $\eta$  – коефіцієнт корисної дії;  $Q_p^H$  – нижча теплота спалювання газу,  $\text{МДж/м}^3$ .

Діаметр газопроводу визначають за формулою:

$$d = 0,036238 \sqrt{\frac{Q(273+t)}{P_m \cdot V}}, \quad (2)$$

де  $d$  – діаметр газопроводу, см;  $Q$  – витрата газу, м<sup>3</sup>/год, за температури 0 °С і тиску 0,10132 МПа;  $t$  – температура газу, °С;  $P_m$  – середній тиск газу (абсолютний) на розрахунковій ділянці газопроводу, МПа;  $V$  – швидкість газу, м/с.

Як видно з наведених залежностей, чисельне значення теплоти згорання на пряму впливає на витрату газу і величини розрахункових діаметрів на ділянках мережі (рис. 2).

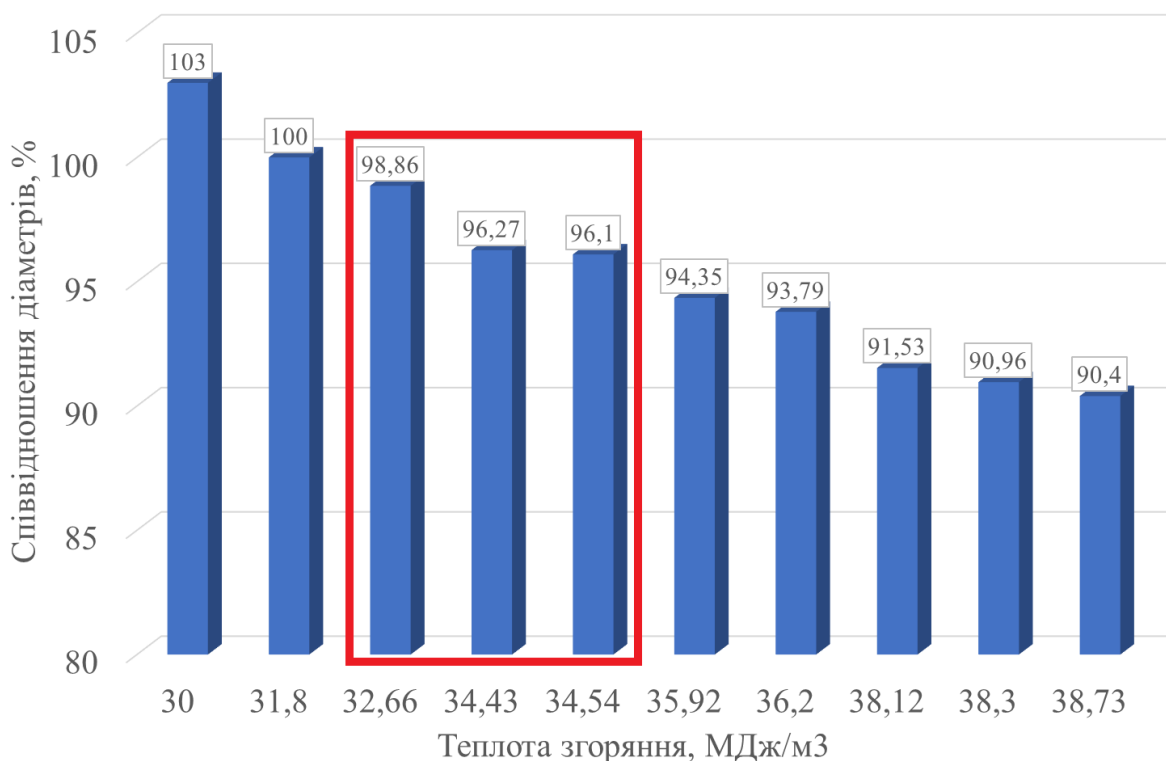


Рис. 2. Графічна залежність співвідношень зміни діаметрів газопроводів від теплоти згорання

Як видно з рис. 1 і 2, теплота згорання впливає на розрахункову кількість газу в межах 20 %, а на співвідношення діаметрів – до 15 %. Згідно з [4], розрахунки на ринку природного газу здійснюються за обсягом природного газу в одиницях енергії, що визначається за вищою теплотою згорання. Одиницею вимірювання енергії природного газу є кіловат-година (кВт·год). Тарифи повинні бути визначеними в одиницях енергії з застосуванням коефіцієнта, який відповідає значенню вищої теплоти згорання 10,64 кВт·год/м<sup>3</sup>.

Як бачимо, для розрахунків діаметрів газопроводів передбачено використовувати теплоту згорання 34 МДж/м<sup>3</sup>, раніше допускалось 31,8 МДж/м<sup>3</sup>, а для розрахунків (нарахувань) за спожитий газ вказується значення 10,64 кВт·год/м<sup>3</sup>, що відповідає максимальній вищій теплоті згорання 38,30 МДж/м<sup>3</sup>.



Аналіз значень теплоти згоряння в регіонах України показав, що нижча коливається в межах 33,22-37,93 МДж/м<sup>3</sup> (9,22-10,53 кВт·год/м<sup>3</sup>), а вища – 34,22-39,63 МДж/м<sup>3</sup> (9,50-11,013 кВт·год/ м<sup>3</sup>). Вища теплота згоряння 38,3 МДж/м<sup>3</sup> (10,64 кВт·год/м<sup>3</sup>) спостерігається лише в декількох точках з кілька десятка обстежених.

Річне споживання газу в Україні зменшилося з 100 до 25 млрд. м<sup>3</sup> унаслідок спаду виробництва, впровадження енергоефективних технологій, організації процесу обліку газу, використання обладнання з більш високим коефіцієнтом корисної дії тощо.

В Додатку 1 Кодексу ГРС [6] передбачено групи споживання за побутовими споживачами, та їхній річний профіль споживання природного газу.

Розглянемо визначення витрат газу на прикладі квартири площею 40,5 м<sup>2</sup> багатоквартирного будинку. Річне споживання за розрахунком згідно з [6] становить  $40,5 \text{ м}^2 \cdot 24 \text{ м}^3/\text{м}^2 = 972 \text{ м}^3$  газу.

У квартирі газ використовується 4-х пальниковою газовою плитою та опалювальним котлом виробництва KD NAVIEN (Корея), потужністю 24 кВт, витрата газу згідно з паспортом 0,98 м<sup>3</sup>/год, коефіцієнт корисної дії – 88 % Річне споживання газу згідно показів лічильника газу G 2.5 «Самгаз» становило 361 м<sup>3</sup> (табл. 3).

Таблиця 3. Витрата газу квартири площею 40,5 м<sup>2</sup> 5-ти поверхового житлового будинку

Показник	місяці												Σ
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Споживання газу, м <sup>3</sup>	55	40	30	25	23	25	24	25	20	24	30	40	361

У той же час, при використанні в опалювальному котлі автоматики АПОК - 1 у будинках старої забудови споживання газу в опалювальний період на опалення становить декілька сотень м<sup>3</sup>/міс.

У розділі «Газопостачання житлових будинків» [5] передбачається встановлення, малометражних котлів, теплогенераторів, газових плит, конвекторів та лічильників газу. У сучасних будинках для газифікації використовується весь перелік передбаченого обладнання в будь-які комбінації. Але в Додатку В [5] для визначення коефіцієнта одночасності  $K_{sim}$  передбачено лише чотири варіанти визначення коефіцієнта: плита 4-комфоркова, плита 2-комфоркова, плита 4-комфоркова та газовий проточний нагрівач, плита 2-комфоркова та газовий проточний нагрівач. Не наведена інформація про газові конвектори та двоконтурні котли.

При порівнянні значень  $K_{sim}$  чинного документа з раніше чинними ДБН В.2.5-20-2001 та СНиП 2.04.08-87 видно що значення коефіцієнта залишилось без змін з 1987 року, хоча за цей час змінилися конструкції газових приладів, їхній коефіцієнт корисної дії, покращилися теплоізоляційні характеристики будівель.

Зросли вимоги і до складу та якості природного газу. Вивчається питання транспортування і використання як мережного газу водню, біометану та інших сумішей. Поряд з питаннями безпеки це вплине і на розрахунки визначення діаметрів труб. Оскільки Україна використовує 30, а видобуває біля 20 млрд м<sup>3</sup> газу то постачання в газову мережу 10 млрд біогазу є реальним [4].

**Висновки.** Відповідно до закону України «Про внесення змін до деяких законів України щодо запровадження на ринку природного газу обліку та розрахунків за обсягом газу в одиницях енергії» здійснюється перерахунок розподілу потужностей у точках входу до газотранспортної системи та/або в точках виходу з газотранспортної системи, що визначені в одиницях об'єму (метрах кубічних), в обсяги, визначені в одиницях енергії, за коефіцієнтом, що відповідає значенню вищої теплоти згоряння 38,3 МДж/м<sup>3</sup> (10,64 кВт·год/м<sup>3</sup>). Але при розрахунку розподільчої частини системи газопостачання ДБН «Газопостачання» рекомендують використовувати теплоту згоряння газу 34 МДж/м<sup>3</sup>, що нижче прийнятого в перерахунку значення на 12,6 %. Використання значення вищої теплоти згоряння 38,3 МДж/м<sup>3</sup> при проведенні гідравлічного розрахунку газопроводів дозволить раціональніше підбирати діаметри на ділянках. Використання витрат газу, визначених в одиницях енергії, дозволить зменшити фактичні діаметри газопроводів, їх матеріалоємність, отже і загальну вартість системи. При відновленні і реконструкції систем газопостачання врахування цього фактору дозволить отримати повнішу інформацію про пропускну здатність системи при забезпеченні потрібних перепадів тиску. Забезпечення відповідності визначення кількості газу в одиницях об'єму (при доставці споживачу) і в одиницях енергії (при здійсненні нарахувань за спожитий газ) з використанням однакового підходу дозволить досягти справедливості в розрахунках. Вирішення прямої задачі дасть змогу більш точно визначати діаметри газопроводів для постачання заданого об'єму газу з певними параметрами. Це зменшить матеріалоємність труб, здешевить будівництво в цілому. При вирішенні оберненої задачі буде змога при відомому діаметрі газопроводу визначити точні об'єми постачання газу при заданому перепаду тиску. Це дасть змогу в більш повній мірі використовувати наявний потенціал.

### References

1. Enerhetychna stratehiia Ukrainy do 2035 roku. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80#Text>. Accessed 30 September 2023.
2. Kodeks hazotransportnoi systemy. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1378-15> Accessed 30 September 2023.
3. Mayrhofer, M., Koller, M., Seemann, P., Prieler, R., & Hochenauer, C. "Assessment of natural gas/hydrogen blends as an alternative fuel for industrial heat treatment furnaces." *International journal of hydrogen energy*, vol 46, iss. 41, 2021, pp. 21672-21686, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.03.228>
4. Zakon Ukrainy «Pro vnesennia zmin do deiakykh zakoniv Ukrainy shchodo zaprovadzhennia na rynku pryrodnoho hazu obliku ta rozrakhunkiv za obsiahom hazu v odynytsiakh enerhii». <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1850-20#Text>. Accessed 30 September 2023.
5. Hazopostachannia. DBN V.2.5-20:2018. Ukrarkhbudinorm, 2019 (in Ukrainian).
6. "Kodeks hazorozpodilnykh system." *Ofitsiinyi visnyk Ukrainy*, no 92, 27 November 2015, p. 461. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1379-15#Text> (in Ukrainian).
7. Kodeks ustalenoї praktyky Ukrainy. Hazorozpodilchi systemy. Rekomendatsii shchodo proektuvannia, budivnytstva, kontroliuvannia za budivnytstvom, uvedennia ta vyvedennia z ekspluatatsii hazorozpodilnykh system. Kodeks 2:2021 DP «UkrNDNTs», 2022. (in Ukrainian). <https://oblgaz.donetsk.ua/files/tech-nadzor/kodeks-ustalenoji-praktyky-2022.pdf>
8. Pravyla bezpeky system hazopostachannia. NPAOP 0.00-1.76-15. Osnova, 2015. [https://nvkarta.com/project/nusta/uploads/documents/helsi/\[pb2\]-pravyla-bezpeky-system-hazopostachannia.pdf](https://nvkarta.com/project/nusta/uploads/documents/helsi/[pb2]-pravyla-bezpeky-system-hazopostachannia.pdf) (in Ukrainian).
9. Yenin P.M., Shyshko H.H., Predun K.M. Hazopostachannia naselennykh punktiv i obektiv pryrodnykh hazom: navchalnyi posibnyk. Lohos, 2002 (in Ukrainian).
10. Tkachenko V. A., Skliarenko O. M. Hazopostachannia. IVNVKP «Ukrheliotekh», 2012 (in Ukrainian).
11. Hazy horiuchi pryrodni dlia promyslovoho ta komunalno-pobutovoho pryznachennia. Tekhnichni umovy. HOST 5542-87. <https://budinfo.org.ua/doc/1815580.jsp> (in Ukrainian, valid 01 January 1988 — 01 January 2022)
12. V Ukraini z'явились pershi biometanovi zavody. <https://forbes.ua/money/v-ukraini-zyavlyayutsya-pershi-biometanovi-zavodi-chi-varto-investuvati-v-tsey-biznes-i-skilki-mozhna-zarobiti-30092022-8713> . Accessed 11 September 2023.

UDC 696.2

Associate Professor **Yurii Franchuk**,  
[franchuk.yy@knuba.edu.ua](mailto:franchuk.yy@knuba.edu.ua), ORCID: 0000-0002-7910-8705,  
Associate Professor **Viktoriia Konovaliuk**,  
[konovaliuk.va@knuba.edu.ua](mailto:konovaliuk.va@knuba.edu.ua), ORCID: 0000-0001-5115-7188  
Kyiv National University of Construction and Architecture

## **ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE HEAT OF COMBUSTION OF GAS ON THE DETERMINATION OF GAS PIPELINE DIAMETERS**

*Abstract. Natural gas plays a significant role in the energy supply structure. The country's primary energy supply includes 29 million tons of natural gas, which accounts for 30.2 % of the country's total energy balance. Part of the biomass, combustion and output increased from 2.3 % to 11.5 %. On the other hand, the majority of gas distribution systems were put into operation thirty to fifty years ago and met the regulatory requirements in force at the time. Now, gas flows and loads in these networks have changed, and the standard service life has expired. The state of gas networks has been significantly affected by military operations. The requirements of regulatory documents in the field of gas supply have been significantly expanded in order to harmonise with the current European legislation. Calculations were introduced based on the volume of natural gas in energy units, which is determined by the higher calorific value. There are some conflicts in the national normative base, which causes the problems for gas supply design. It is proposed to use the higher heating value of gas when determining the diameter of gas networks. The use of the higher calorific value of  $38.3 \text{ MJ/m}^3$  in the hydraulic calculation of gas pipelines will allow for a more rational selection of diameters in the sections. The use of gas consumption in energy units will reduce the actual diameters of gas pipelines, their material consumption, and thus the overall cost of the system. The influence of the gas component composition on its physical and chemical properties and, as a result, on the system capacity is considered. In addition, as a result of the implementation of thermal modernisation measures in buildings, the amount of gas consumed is reduced and there is a need to optimise the values of the coefficients of simultaneous operation of gas. For today, old values are used, which are defined in 1987, when the norms of gas supply and living conditions were different. Thus, the coefficients should be adapted to the modern life and norms.*

*Keywords: gas supply, gas pressure, gas volume, pipe diameter, simultaneity factor*

УДК 699.86

аспірант, **Леонід Косенко**

e-mail: [kosenko.leonid@365.pdaba.edu.ua](mailto:kosenko.leonid@365.pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0002-8841-8318,

Придніпровська державна академія будівництва та архітектури

доцентка, **Олена Коваль**,

e-mail: [koval.olena@pdaba.edu.ua](mailto:koval.olena@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0001-7805-6811

Придніпровська державна академія будівництва та архітектури

доцент **Євгеній Юрченко**,

e-mail: [yel@pdaba.edu.ua](mailto:yel@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0002-9356-3261

Придніпровська державна академія будівництва та архітектури

студент, **Артем Коваль**,

e-mail: [22230-eeb.koval@365.pdaba.edu.ua](mailto:22230-eeb.koval@365.pdaba.edu.ua)

Придніпровська державна академія будівництва та архітектури

## **АНАЛІЗ ЄВРОПЕЙСЬКИХ НОРМАТИВНИХ ВИМОГ ДО БУДІВЕЛЬ З БЛИЗЬКИМ ДО НУЛЬОВОГО ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ТА МОЖЛИВОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ В УКРАЇНІ**

***Анотація.** Зараз у світі вживаються зусилля для пом'якшення впливу діяльності людини на зміну клімату. Будівельний сектор є одним із найбільших джерел викидів. Щоб зменшити викиди, будівлі мають бути енергоефективними та використовувати значну кількість відновлюваної енергії. Будівлі з близьким до нульового енергоспоживання (NZEB) є важливою частиною переходу до майбутнього з меншим викидом вуглецю. Ефективне споживання енергії в будівлях є одним із найдоступніших способів зменшити темп зміни клімату та проблеми, пов'язані зі здоров'ям. Метою дослідження є аналіз нормативних вимог країн Європи до NZEB та порівняння їх з чинними нормами в Україні з визначенням вартості енергоефективних конструктивних рішень з чинними нормативними значеннями. На основі проведених розрахунків та досліджень отримано такі науково-практичні результати: аналіз норм у країнах Європи до NZEB та порівняння їх з чинними нормами в Україні; розрахункові проєктні характеристики NZEB в Україні; потреби в утепленні огорожувальних конструкцій стін, даху, перекриття підвалу за чинними нормами в Україні та запропонованими NZEB-нормами; економічна доцільність заходів щодо утеплення запропонованих нормативних варіантів NZEB. У результаті отримано науково-практичні результати підвищення енергоефективності огорожувальних конструкцій. Виявлено, що за показниками огорожувальних конструкцій українські норми не відстають від*

*інших європейських країн, хоча потребують подальшого вдосконалення та додаткових змін. Результати економічного розрахунку збільшення товщини утеплювача показують, що норми NZEB мають більш економічний та теплоізоляційний потенціал у довгостроковій перспективі порівняно з чинними нормами в Україні. Отримані результати досліджень можна використовувати як приклад при проектуванні або реконструкції будівель для підвищення рівня енергоефективності.*

***Ключові слова:** Будівлі з майже нульовим енергоспоживанням; NZEB; енергоефективне рішення; відновлюване джерело енергії; термомодернізація; енергоефективність.*

**Вступ.** Зараз у світі вживаються зусилля для пом'якшення впливу діяльності людини на зміну клімату. Будівельний сектор є одним із найбільших джерел викидів. Щоб зменшити викиди, будівлі мають бути енергоефективними та використовувати значну кількість відновлюваної енергії.

Будівлі з майже нульовим енергоспоживанням (Near to Zero Energy Building (NZEB)) є важливою частиною забезпечення майбутнього з меншим викидом вуглецю. Будівництво відповідальне за близько 40 % світового споживання енергії та приблизно одну третину глобальних викидів парникових газів. Ефективне споживання енергії в будівлях є одним із найдоступніших способів зменшити негативний вплив зміни клімату та проблеми, пов'язані зі здоров'ям [3].

**Мета роботи.** Метою дослідження є аналіз нормативних вимог країн Європи до NZEB будівель та порівняння їх з чинними нормами в Україні, а також визначення вартості енергоефективних конструктивних рішень NZEB будівель.

**Завдання дослідження.** Згідно з поставленою метою були сформовані основні задачі дослідження, а саме:

- провести аналіз норм у країнах Європи до NZEB будівель та порівняти їх з чинними нормами в Україні;
- запропонувати розрахункові U-значення Вт/м<sup>2</sup>·К для огороджувальної оболонки до NZEB будівель в Україні;
- розрахувати потреби в утепленні огороджувальних конструкцій стін, даху, перекриття підвалу за чинними нормами в Україні та запропонованими NZEB нормами;
- розрахувати економічну доцільність заходів з утеплення запропонованих нормативних варіантів.

**Аналіз норм NZEB країн Європи.** Більшість стандартів і норм, що чинні в Україні, потребують подальшого розроблення та додаткових змін для повної гармонізації з європейськими директивами, стандартами та нормами у цій сфері.

NZEB повинні бути спроектовані та побудовані з обов'язковим використанням не менше 50 % енергії, виробленої з відновлювальних джерел, для задоволення її власних потреб. Закон визначає NZEB в Україні як будівлі з рівнем енергоефективності EE, що перевищує встановлені мінімальні вимоги, у яких енергія, вироблена із значною часткою відновлюваних джерел енергії, використовується для створення належних умов проживання [3-5].

Результати аналізу вимог до коефіцієнта теплопередачі  $U$ , Вт/(м<sup>2</sup>·К), у NZEB у різних країнах Європи та порівняння їх з чинними нормами в Україні та рекомендованими значеннями для огорожувальних конструкцій NZEB будівель для України показано на рисунку 1 [1-5].

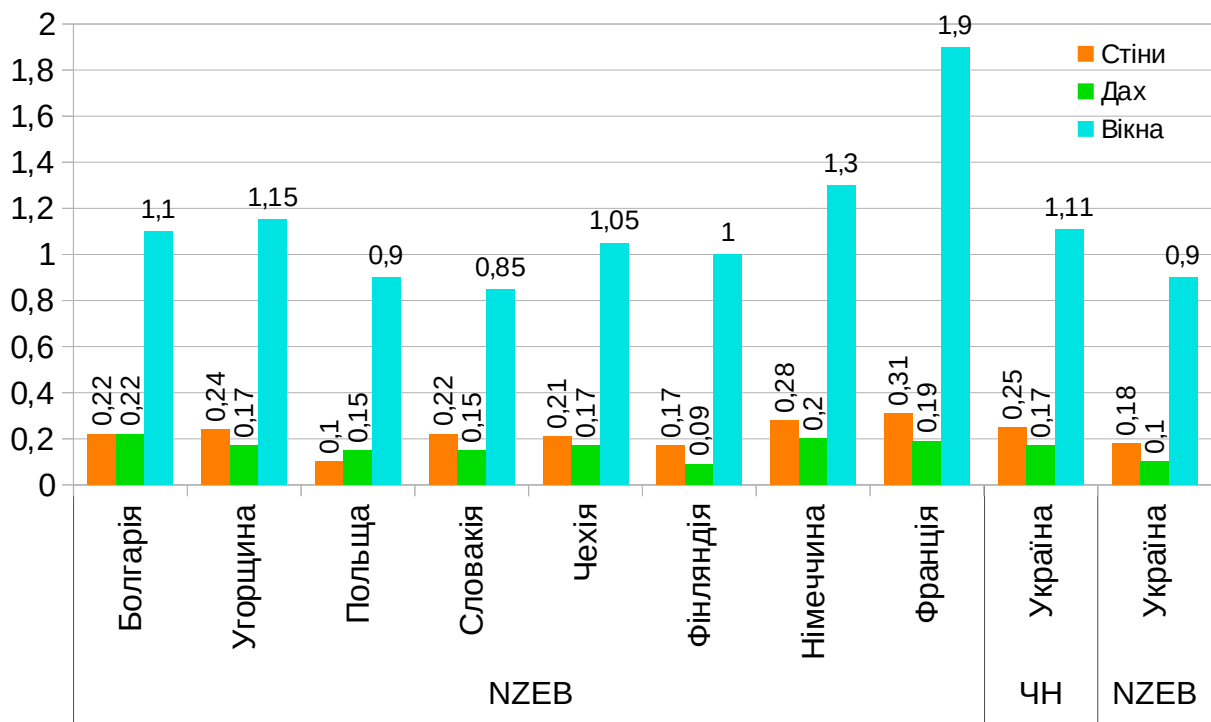


Рис. 1 Коефіцієнт теплопередачі  $U$ , огорожувальних конструкцій за вимогами NZEB і чинними нормами (ЧН) України

Порівняння чинних норм ДБН В.2.6-31:2021 [2] та рекомендованих значень NZEB [3-5] для непрозорих та світлопрозорих частин огорожувальних конструкцій показано (рис. 2)

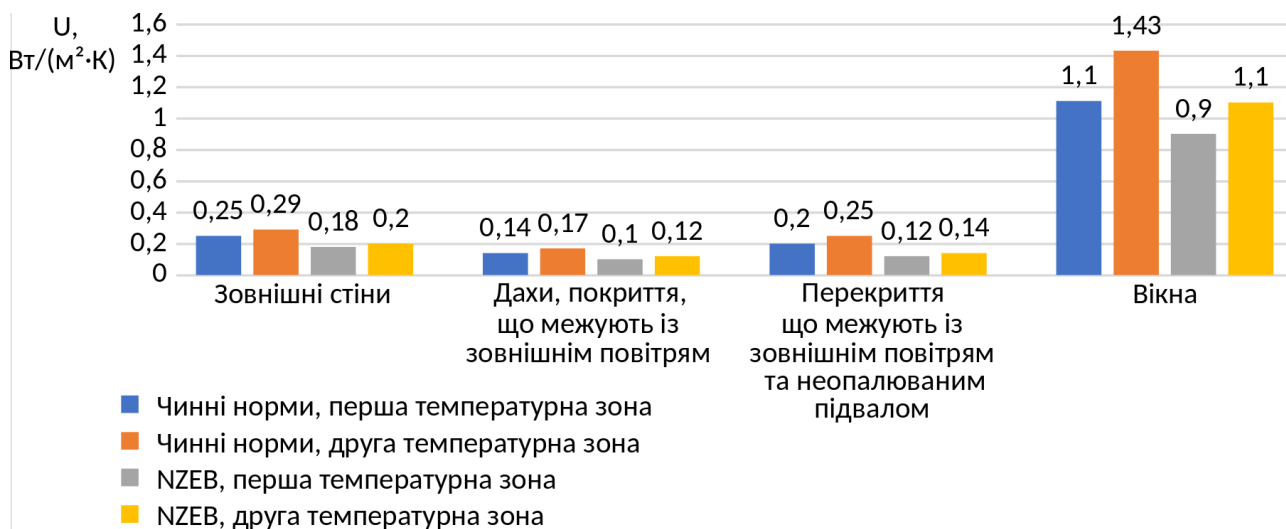


Рис. 2. Порівняння чинних норм ДБН та рекомендованих значень NZEB коефіцієнта теплопровідності  $U$  для непрозорих та світлопрозорих частини огорожувальних конструкцій

Для отримання результатів потреби в утепленні огорожувальних конструкцій стін, даху, перекриття підвалу за чинними нормами в Україні та рекомендованими NZEB нормами було обрано типовий фрагмент конструкції для утеплення фасадною теплоізоляцією з індустріальним опорядженням в межах фасаду «А-Б» (рис. 3). Розрахунок необхідної товщини утеплювача проводився за ДСТУ 9191:2022 [1] для досягнення нормативних значень вказаних в таблиці 1 ДБН В.2.6-31:2021 [2]. По вертикалі фрагмент обмежений з обох боків міжквартирною стіною будівлі, по горизонталі – плитами міжповерхового перекриття. У даному фрагменті п'ять віконних прорізів 1,02 x 1,35 м. та п'ять віконних прорізів 1,02 x 1,80 м. Розмір фрагменту 14,0x12,56 м. Загальна площа непрозорої частини фрагмента фасаду дорівнює 156,8 м<sup>2</sup>.

Для розрахунку прикладу утеплення було взято два види популярних типових будівель в Україні, а саме:

- перший варіант – будівля побудована із силікатної цегли завтовшки 510мм;
- другий варіант панельні будинки з керамзитобетонних панелей завтовшки 300мм.

Теплоізоляційний шар передбачається влаштовувати з мінераловатних плит густиною 150 кг/м<sup>3</sup>. Мінераловатні плити кріпляться до носійної стіни за допомогою пластикових дюбелів з металевим стрижнем.

Кількість дюбелів прийнято 5 шт. на 1 м<sup>2</sup>. З внутрішньої сторони зовнішніх стін влаштовується вапняно-піщана штукатурка завтовшки 20 мм.



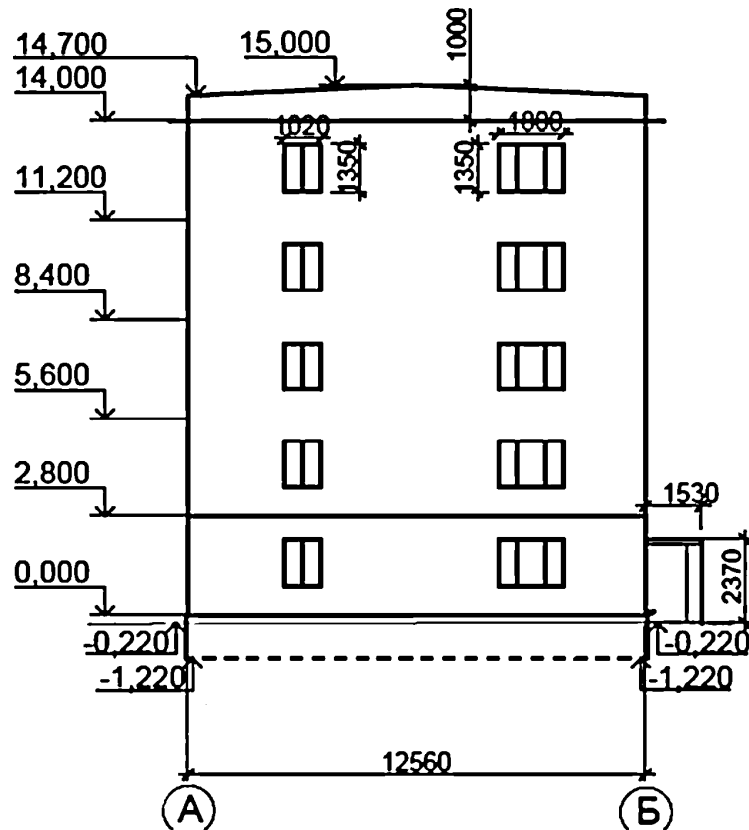


Рис. 3 Фрагмент конструкції для утеплення фасадною теплоізоляцією

Отримано результати розрахунку для кожної зони окремо при різних типах конструкцій та нормативних значень (табл. 1).

Таблиця 1. Результати розрахунку необхідної товщини утеплювача для досягнення нормативних значень.

Типи огорожувальних конструкцій	Панельний будинок				Будинок з силікатної цегли			
	ДСТУ		NZEB		ДСТУ		NZEB	
	Зона 1 $U=0,25$	Зона 2 $U=0,29$	Зона 1 $U=0,18$	Зона 2 $U=0,2$	Зона 1 $U=0,25$	Зона 2 $U=0,29$	Зона 1 $U=0,18$	Зона 2 $U=0,2$
	Необхідна товщина утеплювача для досягнення нормативних значень, м							
Зовнішні стіни	0,16	0,14	0,24	0,21	0,16	0,14	0,24	0,21
Покриття даху	0,33	0,28	0,48	0,40	0,33	0,28	0,48	0,40
Перекрыття підвалу	0,23	0,18	0,39	0,34	0,23	0,18	0,40	0,34

**Аналіз строку окупності заходів з утеплення фасаду.** Щоб порівняти різницю вартості заходів з утеплення за чинними нормами та NZEB розраховано строк окупності заходів щодо утеплення фасаду. Приклад

розрахунку виконано для умов міста Дніпра. Енергоспоживання конструкцій з різною товщиною утеплювача розраховано за формулою:

$$E = \Delta U \cdot (t_e - t_z) \cdot K_{он} \cdot 24, \text{ Вт} \cdot \text{год} / (\text{м}^2 \cdot \text{рік}), \quad (1)$$

де  $\Delta U$  – різниця коефіцієнта теплопровідності огорожувальної конструкції без і з утеплювачем;  $t_e$  – нормативна температура приміщення 20 °С;  $t_z$  – нормативна температура зовнішнього повітря – 0,2 °С;  $K_{он}$  – тривалість опалювального періоду, за нормами становить 176 діб.

Вартість утеплення фасаду відповідає табл. 2, вартість 1 Гкал

- 1742 грн для побутових споживачів;
- 6877 грн для інших споживачів.

Таблиця 2. Період окупності заходів з утеплення фасаду теплоізоляцією

Найменування	ДБН		NZEB	
	Зона 1 ( $U=0,25$ )	Зона 2 ( $U=0,29$ )	Зона 1 ( $U=0,18$ )	Зона 2 ( $U=0,2$ )
Товщина утеплювача, (м)	0,16	0,14	0,24	0,21
Термін окупності для побутових споживачів, (років)	15,3	15,1	17,1	16,4
Термін окупності для інших споживачів, (років)	3,9	3,8	4,3	4,1
Вартість утеплення, грн/м <sup>2</sup>	2050	1950	2450	2300

Таким чином, заходи щодо утеплення фасадів (табл. 2.) для побутових споживачів окуповуються за 15...17 років. Але якщо виконувати утеплення, то виконання нормативу NZEB подовжує строк окупності лише на 1,3...1,8 років для побутових споживачів і 0,3...0,4 для інших і тому є доцільним.

**Висновки.** За коефіцієнтом теплопередачі огорожувальних конструкцій українські норми не відстають від інших європейських країн, хоча вони потребують подальшого удосконалення. За результатами розрахунків за чинними нормами України та нормами NZEB товщина утеплювача для дотримання останніх збільшується на 33%. Це дає суттєвий теплоізоляційний потенціал для збереження теплоти. Різниця строків окупності теплоізоляції становить 1,3...1,8 років для побутових споживачів та до 0,5 років для інших споживачів. Отже, збільшення товщини утеплювача є економічно вигідним заходом для досягнення норм NZEB.

## References

1. Teploizoliatsiia budivel. Metod vyboru teploizoliatsiinoho materialu dlia uteplennia budivel. DSTU 9191:2022. UkrNDNTS, 2023 (in Ukrainian)
2. Teplova izoliatsiia ta enerhoefektyvnist budivel. DBN V.2.6-31:2021. Ukrarkhbudinform, 2022 (in Ukrainian)
3. Rehman H., Heimonen I., Vainio T., Ramesh R., Wallin A. Technical recommendations of the new built Nearly Zero Energy Building (NZEB) in Ukraine. Dissemination seminar. [https://www.vttresearch.com/sites/default/files/2022-12/NZEB\\_Final\\_Workshop\\_VT\\_T\\_Presentation.pdf](https://www.vttresearch.com/sites/default/files/2022-12/NZEB_Final_Workshop_VT_T_Presentation.pdf) Access date: 16 October 2023
4. Bordier R., Rezaï N., Gachon C. EPBD implementation in France Status in December 2016. <https://epbd-ca.eu/wp-content/uploads/2018/08/CA-EPBD-IV-France-2018.pdf> Access date: 16 October 2023
5. Horward A.-C., Rosenberger J. Implementation of the EPBD Germany Status in 2020. <https://epbd-ca.eu/wp-content/uploads/2022/10/Implementation-of-the-EPBD-in-Germany-2020.pdf> Access date: 16 October 2023.
6. Building Climatology. DSTU-N B V.1.1-27:2010. Ukrarkhbudinform, 2011 (in Ukrainian)

UDC 699.86

Postgraduate **Leonid Kosenko**,

e-mail: [kosenko.leonid@365.pdaba.edu.ua](mailto:kosenko.leonid@365.pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0002-8841-8318,

Pridniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture

Associate Professor **Olena Koval**,

e-mail: [koval.olen@pdaba.edu.ua](mailto:koval.olen@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0001-7805-6811 Pridniprovsk

State Academy of Civil Engineering and Architecture

Associate Professor **Evhenii Yurchenko**,

e-mail: [yel@pdaba.edu.ua](mailto:yel@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0002-9356-3261

Pridniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture

Student, **Artem Koval**.

e-mail: [22230-eeb.koval@365.pdaba.edu.ua](mailto:22230-eeb.koval@365.pdaba.edu.ua)

Pridniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture

## ANALYSIS OF EUROPEAN REGULATORY REQUIREMENTS FOR NEAR TO ZERO ENERGY CONSUMPTION BUILDINGS AND THE POSSIBILITY OF IMPLEMENTATION IN UKRAINE

*Abstract.* Efforts are currently being made around the world to mitigate the impact of human activity on climate change. The construction sector is one of the largest sources of emissions. To reduce emissions, buildings must be energy efficient

*and use a significant amount of renewable energy. NZEB buildings are an important part of our transition to a lower carbon future. Efficient energy consumption in buildings is one of the most affordable ways to reduce the negative impacts of climate change and health-related problems. The purpose of the study is to analyze the regulatory requirements of European countries for NZEB buildings and compare them with the current norms in Ukraine. Determining the cost of energy-efficient structural solutions with current regulatory values. Based on the calculations and research, the following scientific and practical results were obtained. Analysis of norms in European countries for NZEB buildings and compare them with current norms in Ukraine. The calculated design values for NZEB buildings in Ukraine were considered. The needs for insulation of the wall, roof, and basement floor coverings were calculated according to the current norms in Ukraine and the norms proposed by the NZEB. The economic feasibility of measures to insulate the proposed normative options of NZEB was calculated. As a result of obtaining scientific and practical results of increasing the energy efficiency of enclosing structures, it shows that in terms of indicators of enclosing structures, Ukrainian standards are not lagging behind European countries, although they require further improvement and additional changes. The results of the economic calculation of the increase in the thickness of the insulation show that the NZEB standards have a more economic and thermal insulation potential in the long term compared to the current standards in Ukraine. The obtained research results can be used, as an example, in the design or reconstruction of buildings to increase the level of energy efficiency.*

**Keywords:** *nearly zero energy building; NZEB; energy-efficient solutions; renewable energy sources; thermal modernization; energy efficiency.*

УДК 620.9; 666.9-13

д.т.н., проф. Андрій Редько,  
[andrey.ua-mail@ukr.net](mailto:andrey.ua-mail@ukr.net), ORCID: 0000-0003-2331-7273,

д.т.н., проф. Ігор Редько,  
[igor.redko1972@gmail.com](mailto:igor.redko1972@gmail.com), ORCID: 0009-0005-1556-0830,

к.арх. доц. Дмитро Бородай,  
[dimaboroday@gmail.com](mailto:dimaboroday@gmail.com), ORCID: 0000-0002-0771-9769,

к.т.н., ст.викл. Сергій Андрух,  
[sl\\_a@ukr.net](mailto:sl_a@ukr.net), ORCID: 0000-0001-5041-885X,

ст.викл. Геннадій Циганенко,  
[tsyganenkogm@gmail.com](mailto:tsyganenkogm@gmail.com), ORCID: 0000-0002-3335-4804,

Сумський національний аграрний університет  
Український державний університет залізничного транспорту

## ЗАСТОСУВАННЯ СКЛОПЛАСТИКОВИХ ТРУБ У ГЕОТЕРМАЛЬНИХ ЦИРКУЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

*Анотація.* Розроблено метод теоретичного визначення коефіцієнта теплопровідності стінки труби зі складною структурою армування. Наведено результати розрахунку коефіцієнта теплопровідності розробленої конструкції трубопроводу з багатошарового композиційного просторово-орієнтованого склопластику. Склопластикова труба виготовлена безперервним способом косошарового поздовжньо-поперечного намотування на самоподавальну оправу змоченої зв'язувальною речовиною армувальної псевдострічки у формі розрідженої сітки. При кожному оберті оправки вона зміщується на величину затвердіння отриманого двокомпонентного матеріалу під впливом температури. При порівнянні різних відомих розрахункових залежностей та експериментальних значень обумовлюється прийнята фізична модель та реальна структура матеріалу. Відомі залежності отримано лише для середовища з нескінченними довгими паралельними між собою циліндричними включеннями для односпрямованих та ортогонально армованих матеріалів. Тому для матеріалів зі складною структурою та схемою армування ці залежності дають відхилення. У роботі прийнято припущення, що склопластик складається з двох компонентів – армувального наповнювача та зв'язувальної речовини з порами, армувальні волокна нескінченні, та мають круглий поперечний переріз, вони рівномірно розподілені у матриці зв'язувальної речовини, на межах розподілу між арматурою та цією речовиною існує ідеальний тепловий контакт. Експериментальні дані щодо визначення поперечної теплопровідності односпрямованих склопластикових стержнів з арматурою на основі алюмоборсилікатного або магнезійно-алюмосилікатного

скла та епоксидних зв'язувальних речовин показали найменшу похибку порівняно з розрахунковими (8...10 %). Отримано, що коефіцієнт теплопровідності склопластикової труби в 100 разів менший ніж у сталевій труби. Визначено, що можлива заміна сталевій труби діаметром 219 мм на склопластикову трубу діаметром 146 мм.

**Ключові слова:** коефіцієнт теплопровідності, конструкція трубопроводу, склопластик, армування.

**Вступ.** Зниження температури геотермальної рідини при русі в експлуатаційній свердловині призводить до зменшення кількості теплоти, що видобувається. Пропонуються рішення щодо теплоізоляції стволів свердловин [1]. Однак це дорогий і трудомісткий проект. Більш ефективним є застосування неметалічних труб, що характеризуються низьким значенням коефіцієнта теплопровідності. Одним із таких рішень є застосування склопластикових труб.

На кафедрі теплогазопостачання, вентиляції та використання ТВЕР Харківського державного технічного університету будівництва та архітектури розроблено конструкції [2] та виконуються дослідження виробництва та застосування склопластикових труб у системах водо- та теплогазопостачання.

Одним із теплотехнічних параметрів, що характеризують теплові втрати у свердловині, є коефіцієнт теплопровідності труби.

Розрахунок коефіцієнта теплопровідності дисперсного матеріалу складної структури викликає певні труднощі.

**Стан проблеми.** Застосування геотермальних систем теплопостачання вимагає зниження їхньої металомісткості, зниження тепловтрат при русі геотермальної рідини в експлуатаційних свердловинах і захисту від корозії [3,4]. Досліджується можливість застосування неметалічних труб. Знаходять застосування труби із композитних матеріалів. Однак відомі методики розрахунку коефіцієнта теплопровідності композитних труб вимагають уточнення та доопрацювання.

Відомі рішення для розрахунку коефіцієнта теплопровідності засновані на припущенні про адитивність багатокомпонентної односпрямованої структури в різних напрямках [5, 6, 7] і не можуть використовуватися при розрахунку коефіцієнта теплопровідності склопластику з більш складною схемою армування. Результати розрахунку за різними залежностями (рис. 1) дають розбіжність до 25...30 %. Розглянуті формули дають для ідентичних матеріалів значення, розбіжність між якими збільшується зі зростанням об'ємної частки заповнювачів  $V_H$ . Уже за  $V_H = 0,5$  досягає 23,6 %. Це, очевидно, є результатом відмінностей фізичних моделей, прийнятих авторами зазначених залежностей.

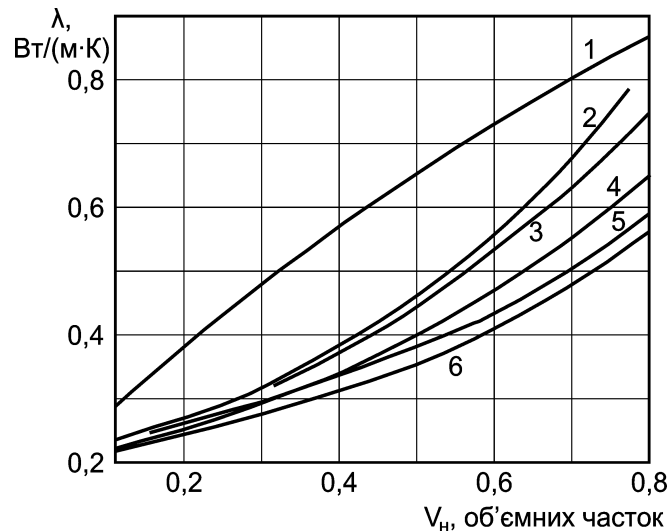


Рис. 1. Залежність коефіцієнта теплопровідності композитного матеріалу від об'ємного вмісту наповнювача – розрахункові залежності: 1-[5], 2-[8], 3-[9], 4-[6, 13], 5-[13], 6-[7]

При порівнянні отриманих аналітично та експериментально значень відхилення обумовлюватиметься ступенем адекватності прийнятої фізичної моделі до реальної структури матеріалу. Однак загальним недоліком наведених формул слід вважати, що всі вони отримані для середовищ з нескінченно довгими паралельними між собою циліндричними включеннями і не можуть бути застосовані до матеріалів більш складних структур.

Наявні в літературі результати аналітичних досліджень теплопровідності матеріалів складнішої структури обмежені лише визначенням коефіцієнта теплопровідності склотекстоліту. Це – склопластик, шаруватий композиційний матеріал на основі тканини зі скловолокна, заповненого полімерною зв'язувальною речовиною. Так, наприклад, для теплопровідності в площині армування склотекстоліту в напрямку осі  $x$  отримано вираз [8]:

$$\lambda_x = \lambda_{\parallel} \cdot \frac{K}{K+1} + \lambda_{\perp} \cdot \frac{1}{K+1}, \text{ Вт/(м·К)}, \quad (1)$$

де  $K$  – кількість волокон, розташованих уздовж осі  $x$ , що припадає на одне волокно, розташоване вздовж осі  $y$ , а  $\lambda_{\parallel}$  та  $\lambda_{\perp}$  – коефіцієнт теплопровідності волокон, паралельних і перпендикулярних осі  $x$  (при визначенні  $\lambda_y$  коефіцієнти переставляються місцями):

$$\lambda_{\parallel} = \sum_{k=1}^K \lambda_k \cdot V_k + \lambda_{3B} \cdot V_{3B}, \text{ Вт/(м·К)}, \quad (2)$$

$$\lambda_{\perp} = \lambda_{3B} \cdot \left( 1 + \frac{2,54 \cdot V_H}{1 - 1,27 \cdot V_H + \frac{2,5}{\frac{\lambda_H}{\lambda_{3B}} - 1}} \right), \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}, \quad (3)$$

де  $\lambda_{CB}$  та  $V_{CB}$  – відповідно, коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К), та об'ємна частка зв'язувальної речовини.

У припущенні, що шари матеріалу, які мають різну теплопровідність, досить тонкі, а ізотермічні поверхні паралельні між собою, для розрахунку коефіцієнта теплопровідності такої моделі в довільному напрямку отримано формулу:

$$\lambda = \lambda_x \cdot i^2 + \lambda_y \cdot j^2 + \lambda_z \cdot \gamma^2, \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}, \quad (4)$$

де  $\lambda_x$ ,  $\lambda_y$  і  $\lambda_z$  – основні коефіцієнти теплопровідності, Вт/(м·К);  $i$ ,  $j$ ,  $\gamma$  – напрямні косинуси заданої осі.

У наведеному виразі для розрахунку коефіцієнта теплопровідності склопластику в перпендикулярній площині армування напрямку для елемента компонента, що складається з паралельно покладених шарів матриці та армувального наповнювача, маємо

$$\lambda = \left[ \frac{V_H}{\lambda_H} + \frac{1 - V_H}{\lambda_{3B}} \right], \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)} \quad (5)$$

Авторами роботи [9] для зазначеної мети запропоновано залежність:

$$\lambda = \lambda_{3B} \cdot \left[ \left( 1 - \sqrt{V_H} \right) + \frac{4 \sqrt{V_H} \cdot (1 - \sqrt{V_H})}{2 - \sqrt{V_H} \cdot \left( 1 - \frac{\lambda_{3B}}{\lambda_H} \right)} + \frac{V_H}{1 - \sqrt{V_H} \cdot \left( 1 - \frac{\lambda_{3B}}{\lambda_H} \right)} \right], \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)} \quad (6)$$

Проведений аналіз стану питання аналітичного визначення теплопровідності склопластиків показує, що наявні в літературі аналітичні залежності описують тільки теплопровідність односпрямовано або ортогонально армованих матеріалів і таким чином, не можуть бути застосовані до розрахунку коефіцієнта теплопровідності склопластиків з складнішими схемами армування.



**Мета дослідження:** визначення коефіцієнта теплопровідності та можливості використання в системах геотермального теплопостачання односпрямованих труб, виготовлених безперервним способом косошарого поздовжньо-поперечного намотування (КППН) зі склопластику.

**Особливості склопластикових труб.** У реальному склопластиковому виробі є різні дефекти (перегини, скручування та обриви армувальних ниток, скупчення пор, місцеві відмінності ступеня затвердіння зв'язувальної речовини тощо), обумовлені випадковими технологічними факторами.

Як відомо, пори в склопластиках розташовуються в основному у зв'язувальній речовині, а також на межі розділу армувальний наповнювач – зв'язувальна речовина. Пори знижують теплопровідність зв'язувальної речовини та склопластикового виробу загалом. Пористість у склопластиках є небажаним фактором, і при виготовленні виробів її рівень прагнуть знижувати. Однак повністю позбутися пор у реальних склопластикових виробках практично неможливо. Тому рівень пористості необхідно враховувати для дослідження теплопровідності виробів зі склопластиків. Надалі при виведенні розрахункових формул вважатимемо, що склопластик складається з двох компонентів – армувального наповнювача та зв'язувальної речовини з порами. При цьому покладемо:

- армувальні волокна нескінченні та мають круглий поперечний переріз;
- армувальні волокна рівномірно розподілені в матриці зв'язувальної речовини;
- на межах розділу між арматурою та зв'язувальною речовиною існує ідеальний тепловий контакт.

Розглядатимемо структуру односпрямованих склопластикових стрижнів, отриманих методом протяжки (пултрузії). Вважатимемо, що армувальні волокна прямолінійні та паралельні між собою.

Склопластикова труба, виготовлена безперервним способом косошарового поздовжньо-поперечного намотування (КППН) (рис. 2) – це виріб, отриманий намотуванням на самоподавальну оправку змоченої зв'язувальною речовиною армувальної псевдострічки у формі розрідженої сітки. При кожному оберті оправки вона зміщується на величину затвердіння отриманого двокомпонентного матеріалу під впливом температури 120 – 180 °С.

У результаті зазначеного процесу труба утворюється безперервною стрічкою, сусідні витки якої – елементарні порожнисті конуси – вкладені один в оден пошарово вздовж спіралі і склеєні бічними поверхнями полімерною матрицею. При цьому стінка труби виявляється армованою в поздовжньому і поперечному напрямках, причому елементарні шари, що її складають, орієнтовані під деяким кутом до напрямку поздовжньої осі труби (рис. 2).

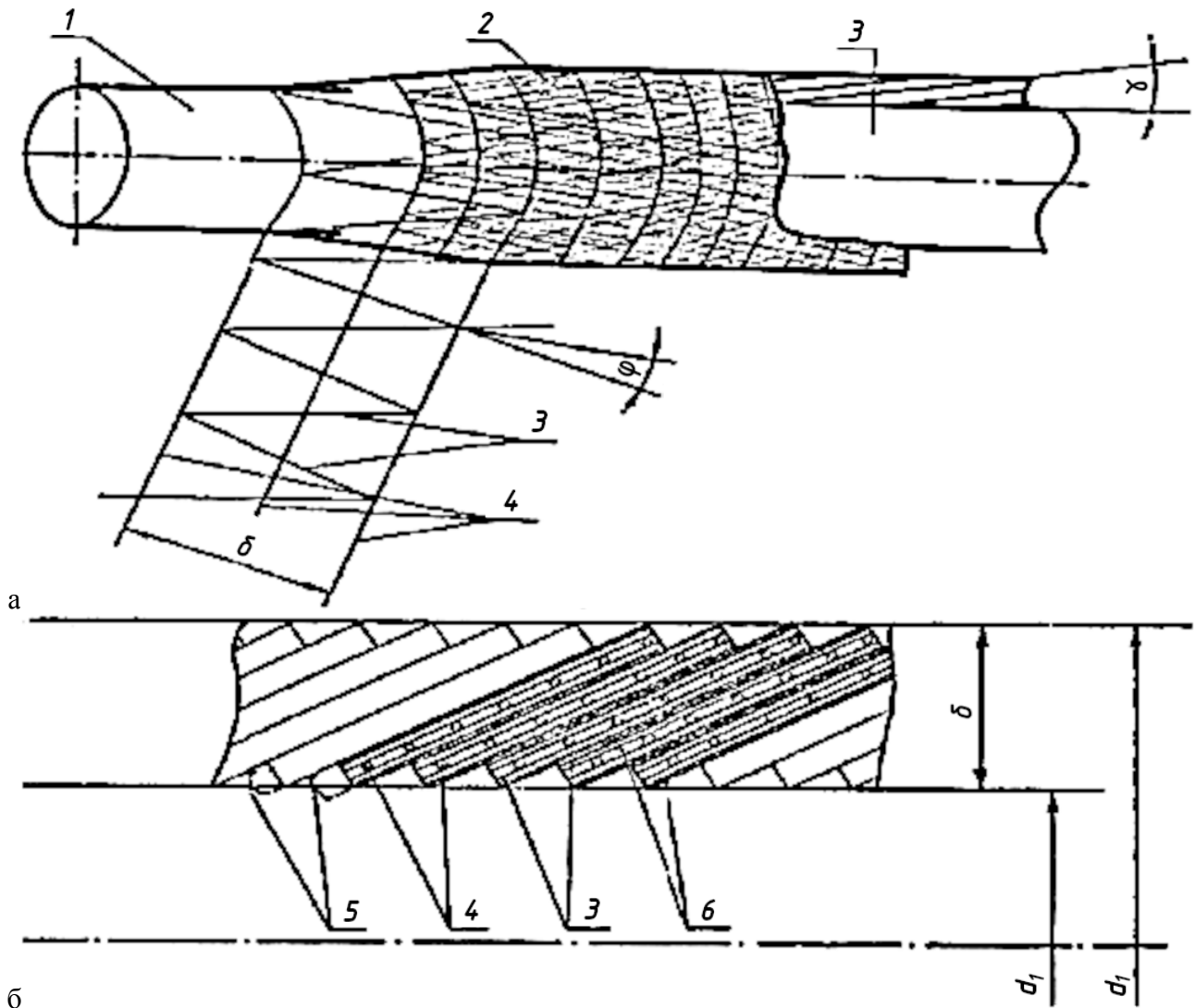


Рис. 2. Схема намотування та структури труби з косошарою поздовньо-поперечною намоткою:

а – схема процесу; б – отримана структура:

- 1 – самоподавальна оправка; 2 – арматура стінки труби; 3 – поздовжня нитка; 4 – поперечна нитка; 5 – елементарний шар труби; 6 – зв’язувальна речовина

Армувальна псевдострічка утворюється намотуванням на базові (дві крайні поперечні відносно осі труби) нитки поздовжніх ниток таким чином, що половина кута між ними становить  $(\pi/2) \pm \varphi$ . Фактично кут  $\pm \pi$  є кутом армування і може відраховуватись як кут між поздовжньою ниткою та твірною елементарного конуса. Кут нахилу твірної елементарного конуса до осі труби буде називатись кутом нахилу (конусністю) шару.

Крім базових проводиться намотування деякої кількості поперечних ниток, які збільшують до заданої величини кількість армувальної стрічки з притисканням поздовжньої нитки в проміжку між базовими.

Розглянемо конструктивні параметри труб, виготовлених косошаровим

поздовжно-поперечним намотуванням, їхній взаємозв'язок та технологічні обмеження. До цих параметрів крім зазначених кутів  $\varphi$  і  $\alpha$  належать товщина стінки труби  $\delta$ , м, кількість поперечних армувальних волокон на довжині бази укладача, відносний об'ємний вміст арматури (об'ємна частка арматури в об'ємі труби), коефіцієнт анізотропії.

Позначимо  $b$  – відстань між базовими нитками (базу укладання), м. Тоді:

$$\cos \alpha = \frac{b}{\sqrt{\delta^2 + b^2}}; \quad \sin \varphi = \frac{K}{\sqrt{n_2^2 + K^2}}. \quad (7)$$

Вираз для коефіцієнта анізотропії  $K$  при однаково лінійній щільності поздовжніх і поперечних ниток має вигляд

$$K = n_2/n_1 = V_2/V_1, \quad (8)$$

де  $n_1$  і  $n_2$  – кількість поздовжніх та поперечних ниток у квадраті зі стороною, що дорівнює базі укладання;  $V_1$ ,  $V_2$  – об'ємний вміст поздовжніх та поперечних ниток ( $V_1 + V_2 = V_H$ ).

Параметр  $V_H$  обмежується величиною  $V_H^{max}$ . При  $V_H > V_H^{max}$  унаслідок порушення монолітності виробу через брак зв'язувальної речовини для утворення суцільної клейової плівки між армувальними волокнами, механічні характеристики та переносні властивості виробу погіршуються. Величина  $V_H^{max}$  визначається призначенням виробу та умовами промислового виробництва. Зазвичай,  $0,1 \leq V_H \leq 0,8$ .

Безперервний спосіб косошарової поздовжньо-поперечного намотування дозволяє варіювати коефіцієнт анізотропії в межах  $0,15 \leq K \leq \infty$ . При зменшенні  $K$  нижче граничного значення  $K_{min}$  через малу кількість поперечних ниток і розущільнення намотування істотно зростає вміст зв'язувальної речовини, що призводить до зниження герметичності труби, погіршення її механічних і переносних властивостей.

Товщина стінки труби  $\delta$  визначається багатьма факторами: можливостями технологічної установки, заданим коефіцієнтом  $K$ , довжиною самоподавальної оправки, часом твердіння зв'язувальної речовини тощо. При цьому  $\delta > 13 \dots 15$  мм для труб на основі поліефірного сполучного.

Значення кутів  $\alpha$  і  $\varphi$  вибираються в діапазонах  $0 < \alpha < 10^\circ$ ;  $0 < \varphi < 45^\circ$  залежно від характеру навантаження та значень  $\delta$ ,  $b$  й  $K$ . Для матеріалів склопластиків характерне співвідношення між коефіцієнтами теплопровідності наповнювача та зв'язувальної речовини  $\lambda_{||}/\lambda_{\perp} = 4 \dots 7$ . Припущення про плоскопаралельність ізотермічних поверхонь у матеріалі було підтверджено

результатами електричного моделювання процесу теплопровідності.

**Метод розрахунку теплопровідності склопластикової труби.** Коефіцієнт теплопровідності армованого суцільними безперервними волокнами односпрямованого композиту у напрямку армування за припущенням про плоскопаралельність

$$\lambda_{\parallel} = \lambda_H \cdot V_H + \lambda_{3B} \cdot (1 - V_H). \quad (9)$$

Як було показано раніше, стінка труби, виготовленої КППН, є системою склеєних сполучних шарів поздовжніх і поперечних армувальних волокон. При цьому поздовжні волокна орієнтовані під кутом  $\varphi$ , а елементарні шари труби - під кутом  $\alpha$  до поздовжньої осі труби. Вираз коефіцієнта осьової теплопровідності у разі, за аналогією з (9) має вигляд:

$$\lambda_T = \frac{[\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_{3B} \cdot (1 - V_H)]}{3} + \Delta\lambda_{нед}, \quad (10)$$

де  $\lambda_T$  – коефіцієнт теплопровідності труби;  $\lambda_1, \lambda_2$  – коефіцієнт теплопровідності шару поздовжніх та поперечних армувальних волокон (з урахуванням кута армування та конусності),  $\Delta\lambda_{нед}$  – вплив неадитивної складової.

Як було показано вище, значення коефіцієнтів теплопровідності односпрямованих склопластиків у поперечному напрямку, розраховані за формулами (9, 10), можуть мати розбіжності близько 30 % і вище.

Проведені авторські численні експерименти щодо визначення поперечної теплопровідності односпрямованих склопластикових стрижнів з арматурою на основі алюмоборсилікатного або магнезійно-алюмосилікатного скла та епоксидною зв'язувальною речовиною показали, що для  $0,40 \leq V_H \leq 0,75$  найменшу похибку між розрахунковими та експериментальними значеннями забезпечує визначення  $\lambda_1$  саме за формулою (3).

Теплопровідність шару, орієнтованого під кутом  $\gamma$  до напрямку вимірювання теплопровідності, визначається за виразами виду:

$$\lambda_y = \lambda_x \cos^2 \gamma + \sin^2 \gamma, \quad (11)$$

де  $\lambda_x, \lambda_y$  – коефіцієнти теплопровідності шару в напрямку основних осей симетрії, Вт/(м·К).

Для елемента композиту, що складається з паралельно покладених шарів матриці та зв'язувального наповнювача, теплопровідність у напрямку,

перпендикулярному площині армування:

$$\lambda = \frac{1}{\frac{V_H}{\lambda_H} + \frac{(1-V_H)}{\lambda_{3B}}}, \quad (12)$$

З використанням формули (10) запишемо об'ємну частку поздовжніх та поперечних армувальних волокон, відповідно,

$$V_1 = V_H \cdot \frac{1}{1+K}; \quad V_2 = \frac{K}{1+K}. \quad (13)$$

З урахуванням залежностей (3), (9), (11), (12) і (13), вираз (10) набуде вигляду:

$$\begin{aligned} \lambda_T = & \cos^2 \alpha \cdot \left\{ \frac{\lambda_H \cdot V_H + \lambda_{3B} \cdot (1 - V_H)}{1 + K} \cdot \cos^2 \varphi \right\} + \\ & + \left[ \lambda_{3B} \cdot \left( 1 + \frac{2,54 \cdot V_H}{1 - 1,27 \cdot V_H + \frac{2,5}{\frac{\lambda_H}{\lambda_{CB}} - 1}} \right) \cdot \frac{1}{1 + K} \right] \cdot \sin^2 \varphi + \\ & + \lambda_{3B} \cdot \left( 1 + \frac{2,54 \cdot V_H}{1 - 1,27 \cdot V_H + \frac{2,5}{\frac{\lambda_H}{\lambda_{CB}} - 1}} \right) \cdot \frac{K}{1 + K} + \\ & + \sin^2 \alpha \cdot \left\{ \frac{1}{\frac{V_H}{\lambda_H} + \frac{(1 - V_H)}{\lambda_{3B}}} \right\} + \Delta \lambda_{неод}. \end{aligned} \quad (14)$$

або з урахуванням формул (7) для труби, виготовленої КППН, матимемо

$$\lambda_T = \frac{b^2}{\delta^2 + b^2} \times$$

$$\begin{aligned}
 & \times \left\{ \frac{\lambda_H \cdot V_H + \lambda_H \cdot (1 - V_H)}{1 + K} \cdot \frac{n_2^2}{n_2^2 + K^2} \right\} \times \\
 & \times \left[ \lambda_{3B} \cdot \left( 1 + \frac{2,54 \cdot V_H}{1 - 1,27 \cdot V_H + \frac{2,5}{\frac{\lambda_H}{\lambda_{3B}} - 1}} \right) \cdot \frac{1}{1 + K} \cdot \frac{K^2}{n_2^2 + K^2} + \right. \\
 & \left. + \lambda_{CB} \cdot \left( 1 + \frac{2,54 \cdot V_H}{1 - 1,27 \cdot V_H + \frac{2,5}{\frac{\lambda_H}{\lambda_{3B}} - 1}} \right) \cdot \frac{K}{1 + K} \right] + \\
 & + \frac{\delta^2}{\delta^2 + b^2} \cdot \left\{ \frac{1}{\frac{V_H}{\lambda_H} + \frac{(1 - V_H)}{\lambda_{3B}}} \right\} + \Delta\lambda_{нед}. \tag{15}
 \end{aligned}$$

Оскільки значення коефіцієнтів теплопровідності склоарматури та сполучних, що використовуються у виробництві склопластиків, лежать у межах  $\lambda_n = 0,9 \dots 1,1$  Вт/(м·К), рівняння (15) для середнього значення  $\lambda_n = 1,0$  Вт/(м·К) набуде вигляду

$$\begin{aligned}
 \lambda_T &= \frac{b^2}{\delta^2 + b^2} \times \\
 & \left\{ \frac{0,2 + 0,8 V_H}{1 + K} \cdot \frac{n_2^2}{n_2^2 + K^2} + \right. \\
 & \left. + \left[ 0,2 + \frac{0,508 \cdot V_H}{1,625 - 1,27 \cdot V_H} \right] \cdot \frac{1}{1 + K} \cdot \frac{K^2}{n_2^2 + K^2} \right\} \times \\
 & \times \left[ 0,2 + \frac{0,508 \cdot V_H}{1,625 - 1,27 V_H} \right] \cdot \frac{K}{1 + K} +
 \end{aligned}$$

$$+\frac{\delta^2}{\delta^2+b^2}\cdot\left\{\frac{1}{5-4V_H}\right\}. \quad (16)$$

Отримана залежність (15) або (16) дозволяє розрахувати осьову теплопровідність склопластикових труб у випадку армування стінки труби в поздовжньому і поперечному напрямках з нахилом шарів щодо осі труби.

Справді, при  $n_2 = 0$ ,  $\alpha = \varphi = 0$  формула (15) перетворюється на вираз (9). За умови  $\varphi = 0$  з залежності (15) отримаємо формулу для визначення теплопровідності ортогонально армованих матеріалів під кутом до площини армування в напрямку поздовжніх волокон

$$\lambda = \cos^2 \alpha \left\{ \frac{\lambda_H V_H + \lambda_{CB}}{1+K} + \lambda_{CB} \left( 1 + \frac{2,54 V_H}{1 - 1,27 V_H + \frac{2,5}{\frac{\lambda_H}{\lambda_{3B}} - 1}} \right) \frac{K}{1+K} \right\} + \sin^2 \alpha \left\{ \frac{1}{\frac{V_H}{V_H} - \frac{(1-V_H)}{\lambda_{3B}}} \right\} + \beta (\lambda_H v_H + \lambda_{CB}), \quad (17)$$

де  $\beta$  - коефіцієнт, що визначається експериментально.

З метою перевірки застосування формули (17) виконано порівняння з відомими літературними даними [8, 9, 13]. Порівняння показує, що розрахункові дані із задовільною точністю  $\pm 8...10\%$  збігаються з експериментальними даними.

**Результати розрахунку теплотехнічної ефективності склопластикового трубопроводу в геотермальній системі.** Як критерії використання геотермальної енергії застосовують такі параметри: витрата води, що видобувається, і температура води на гирлі свердловини. Однією із специфічних особливостей геотермальної свердловини, що відрізняє її від свердловини, яка видобуває холодну воду, є суттєва залежність температури води на гирлі свердловини від режиму її експлуатації.

Для оцінювання ефективності відбирання теплоти пропонується додатковий показник – коефіцієнт відбирання теплоти  $K_T$  – відношення різниці температури води пластової  $T_{пл}$ , К, і води на гирлі свердловини  $T_y$ , К, до першої, а саме

$$K_T = \frac{T_{пл} - T_y}{T_{пл}}, \quad (17)$$

Коефіцієнт характеризує ступінь досконалості процесу отримання геотермальної енергії і залежить від багатьох факторів за такою формулою:

$$K_T = \frac{1}{T_0 + \Gamma \cdot h} \left[ T_0 + \frac{\Gamma}{B} \cdot (1 - e^{-B \cdot h}) \right], \quad (18)$$

де  $B$  – параметр:

$$B = \frac{\pi}{M_1 C_{p_1} (R_1 + R_2)}; \quad (19)$$

$T_0$  – температура води, К;  $\Gamma$  – геотермічний градієнт, К/м;  $h$  – глибина закладення пласта, м;  $R_1$  та  $R_2$  – відповідно, термічний опір конструктивних елементів свердловини та гірських порід, м·К/Вт;  $M_1$  і  $C_{p_1}$  – відповідно, дебіт свердловини, кг/с, та питома теплоємність води, кДж/(кг·К).

Значення термічних опорів конструктивних елементів свердловини та гірських порід визначаються за формулами:

$$R_1 = \frac{1}{\alpha \cdot d} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{2 \cdot \lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i}; \quad (20)$$

та

$$R_2 = \frac{1}{2 \cdot \lambda_n} \cdot \ln \frac{4 \sqrt{a \cdot \tau}}{d_c}, \quad (21)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі від рідини до стінки труби, Вт/(м<sup>2</sup>·град);  $d_1$  – діаметр труби, м;  $\lambda_i$  – відповідно коефіцієнт теплопровідності кільцевого шару (метал, вода, метал, цемент), укладеного між елементами з  $d_{i+1}$  та  $d_i$  гірських порід, Вт/м·град;  $a$  – коефіцієнт температуропровідності гірських порід, м<sup>2</sup>/с;  $\tau$  – час експлуатації свердловини год;  $d_c$  – діаметр свердловини за долотом, м.

Аналіз залежності показує, що значення  $K_m$  може прямувати до нуля (тобто втрати теплоти мінімальні) при високих дебітах свердловини або до одиниці при малих дебітах. Ефективність відбирання теплоти зростає при експлуатації свердловин на високодебітних режимах. При цьому кількість теплоти збільшується не лише за рахунок збільшення дебіту свердловини, а й за рахунок



підвищення гирлової температури. Для інтенсифікації зростання дебіту свердловин можливе застосування ефективних методів підвищення проникності та фільтраційних характеристик привибійної зони свердловин (гідророзрив пластів, кислотне оброблення, гідропіскоструминне перфорування, створення стресових депресій тощо).

Іншим методом підвищення ефективності відбирання теплоти є збільшення коефіцієнта термічного опору конструктивних елементів свердловини. Для збільшення  $R_1$  можуть застосовуватися матеріали з низьким коефіцієнтом теплопровідності.

На даний час освоюється виробництво склопластикових труб для умов експлуатації у нафтовій та газовій промисловості. Склопластикові труби не схильні до корозії, мають меншу густину, ніж сталеві, а коефіцієнт теплопровідності в 100 разів нижчий за сталеві труби.

Застосування інших методів збільшення  $R_1$  – заповнення міжтрубного простору повітрям (чи іншим газом) на всій глибині чи 1/3 глибини (верхню частину свердловини) пов'язані з істотними додатковими витратами і встановленням додаткового промислового устаткування. При цьому температура на гирлі свердловини, коли міжтрубний простір заповнений водою, досягає 76 °С, повітрям 80 °С, при використанні склопластикових труб 81 °С, при температурі пластової води 82 °С.

Змінити коефіцієнт термічного опору  $R_2$  можна лише шляхом подовження терміну безперервної експлуатації свердловини та вибору оптимального діаметра свердловини. Залежність  $R_2$  від часу експлуатації свердловин різного діаметра наведено на рис. 3.

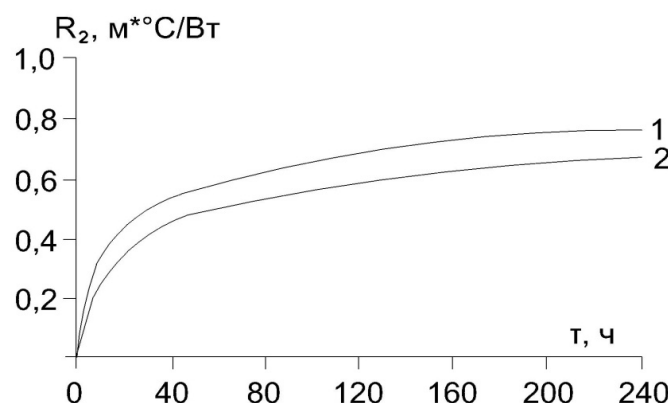


Рис. 3. Залежність термічного опору гірських порід розрізу свердловини

$R_2$  від часу експлуатації при діаметрі свердловини:

$$1 - d_c = 0,186 \text{ м}; 2 - d_c = 0,26 \text{ м}.$$

Теплофізичні властивості гірських порід прийняті такі:  $\lambda = 1,8 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ;  $a = 2,7 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{год}$ . У початковий період експлуатації (близько 10 діб)  $R_2$

характеризується низькими значеннями, але потім різко зростає до значень 06-08 м·К/Вт. Зі збільшенням діаметра свердловини (понад 250 мм)  $R_2$  збільшується менше. Але при цьому оптимальні значення діаметрів експлуатаційної колони залежать від гідродинамічних умов експлуатованих водоносних горизонтів і, як правило, значення їх більше –  $d = 0,186$  м. При цьому різко збільшується дебіт свердловини.

Для збільшення обсягів видобутку та зниження теплових втрат у стовбурі експлуатованої геотермальної свердловини застосовується конструкція свердловини на рис. 4.

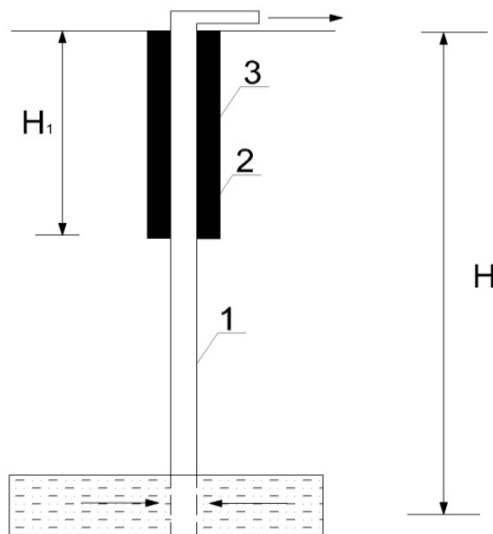


Рис. 4. Конструкція теплоізольованої термальної свердловини.

1 – ліфтова колона; 2 – зовнішня колона; 3 – теплоізоляція.

Свердловина буриться із збільшенням діаметром на глибину  $H_1$ , м, і обсаджується колоною великого діаметра. Далі свердловина з меншим діаметром буриться до підшови пласта, що експлуатується, і від гирла до вибою обсаджується колоною обсадних труб. Міжтрубний кільцевий простір свердловини, в одному випадку заповнений теплоізоляційним матеріалом (керамзит мінеральна вата та ін.), в іншому – труби виконані зі склопластику.

Аналіз показує, що збільшення діаметра й глибини зовнішньої обсадної колони зменшує втрати теплоти в стовбурі свердловини. У той же час збільшення діаметра та глибини свердловини призводить до збільшення капітальних витрат.

Виконані розрахунки для різних діаметрів зовнішніх обсадних колон показали, що мінімальні капітальні витрати отримані при діаметрі склопластикових труб 146 мм, а для сталевих труб – при діаметрі 219 мм.

Застосування теплоізоляції міжтрубного простору є доцільним для глибоких свердловин при малих дебітах, наприклад, у літній час при

використанні геотермальної енергії для потреб гарячого водопостачання.

Таким чином, ефективність отримання геотермальної теплоти підвищується при будівництві глибоких свердловин зі склопластикових труб великого діаметру ( $d = 146$  мм і вище), зі спусканням додаткових колон для теплоізоляції верхніх свердловин при експлуатації на малих дебітах.

### **Висновки**

В результаті чисельних досліджень обґрунтовується застосування склопластикових труб у системах вилучення та перетворення геотермальної енергії, що забезпечують відсутність корозійних процесів при русі геотермальної рідини (сольового розчину) у свердловинах та теплообмінному устаткуванні, зниження теплових втрат, запропоновано методику розрахунку коефіцієнта теплопровідності композиційних склопластикових труб.

### **References**

1. Alhasov A.B., Ramazanov M.M., Abasov G.M. «Ispolzovanie geotermalnoi energii v goriachem vodosnabzhenii.» Vodosnabzhenie i sanitarnaia tekhnika, no. 3, 1998, pp. 24-25.
2. Bikman Y.S., Redko O.F., Panchenko O.M., Shopen O.B. «Bahatosharova truba iz kompozytsiinykh materialiv». Patent of Ukraine №39881 10 March 2009
4. Yadav K., et al. Geothermal Energy. CRC Press, 2022
5. DiPippo R., Geothermal power plants: principles, applications, case studies, and environmental impact, 3th ed. Oxford, Elsevier Ltd, 2012
6. Karlsru G., Eger D. Teploprovodnost tvordykh tel. Nauka. 1964.
7. Van Fo Fy. Konstruktsii iz armirovannykh stekloplastikov. Tekhnika, 1971.
8. Shimchuk T.Ya., Kocherov V.L., Podosenko A.V. «Thermal conductivity of composite materials» Kompozitsionnye polimernye materialy, 1987, iss.34, p. 26-29.
9. Shlionskii O.F. Teplovye svoistva stekloplastikov. Khimiia, 1973.
10. Timrot D.L. Opredelenie teploprovodnosti stroitelnykh i izoliatsionnykh materialov. Gosenergoizdat, 1952.
11. Berlin A.A. Printsipy sozdaniia kompozitnykh materialov. Khimiia. 1999.
12. Alperin V.I. Konstruktivnye stekloplastiki. Khimiia. 1979.
13. Godovskii Yu.K. Teplofizika polimerov. Khimiia. 1982
14. Kudriachiova G.M. Modeling of thermal conductivity processes in polymer composite materials at high temperatures. Dis. abstract. MAI, 1977

UDC 620.9; 666.9-13

Ph.D., prof. **Andriy Redko**,  
[andrey.ua-mail@ukr.net](mailto:andrey.ua-mail@ukr.net), ORCID: 0000-0003-2331-7273,  
Ph.D., prof. **Ihor Redko**,  
[ihor.redko1972@gmail.com](mailto:ihor.redko1972@gmail.com), ORCID: 0009-0005-1556-0830,  
Candidate of Architecture, PhD. **Dmytro Borodai**,  
[dimaboroday@gmail.com](mailto:dimaboroday@gmail.com), ORCID: 0000-0002-0771-9769,  
Ph.D., senior lecturer **Serhii Andruh**,  
[sl\\_a@ukr.net](mailto:sl_a@ukr.net), ORCID: 0000-0001-5041-885X,  
senior lecturer. **Hennadiy Tsyhanenko**,  
[tsyhanenkogm@gmail.com](mailto:tsyhanenkogm@gmail.com), ORCID: 0000-0002-3335-4804,  
Sumy National Agrarian University  
Ukrainian State University of Railway Transport

## APPLICATION OF FIBERGLASS PIPES IN GEOTHERMAL CIRCULATION SYSTEMS

**Abstract.** *The results of calculating the coefficient of thermal conductivity of the developed construction of the pipeline from multilayer composite spatially oriented fiberglass are given. A method of calculating the coefficient of thermal conductivity of a pipe wall with a complex structure of reinforcement has been developed. The fiberglass pipe is made by the continuous method of oblique-layer longitudinal-transverse winding on a self-feeding frame of reinforcing pseudo-tape moistened with a binder in the form of a rarefied mesh. With each rotation of the mandrel, it shifts by the amount of hardening of the obtained two-component material under the influence of temperature. A comparison of calculated and experimental data was made. When comparing various known calculated dependencies and experimental values, the accepted physical model and the real structure of the material are determined. The known dependences obtained for a medium with infinite long parallel cylindrical inclusions for unidirectional and orthogonally reinforced materials and therefore for materials with a complex structure and scheme of reinforcements give errors and deviations. The work assumes that fiberglass consists of two components - a reinforcing filler and a binder with pores, the reinforcing fibers are endless and have a circular cross-section, the reinforcing fibers are evenly distributed in the matrix of the binder; there is an ideal thermal contact at the boundaries of the distribution between the reinforcement and the binder. Experimental data on determining the transverse thermal conductivity of unidirectional fiberglass rods with reinforcement based on aluminoborosilicate or magnesium-aluminosilicate glass and epoxy binders showed the smallest error in comparison with the calculated ones (8-10%). They investigated the fact that the coefficient of thermal conductivity of a fiberglass pipe is*

*100 times lower than that of a steel pipe. It was determined that it is possible to replace a steel pipe with a diameter of 219 mm with a fiberglass pipe with a diameter of 146 mm.*

**Keywords:** thermal conductivity, pipeline design, fiberglass, reinforcement.

УДК 697.9

аспірант **Валерій Савін**,  
[savinvv@knu.edu.ua](mailto:savinvv@knu.edu.ua), ORCID: 0009-0008-6013-7371,  
Криворізький національний університет, м. Кривий Ріг, Україна  
д.т.н., проф. **Василь Желих**,  
[Vasyl.M.Zhelykh@lpnu.ua](mailto:Vasyl.M.Zhelykh@lpnu.ua), ORCID: 0000-0002-5063-5077,  
Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

## ОГЛЯД ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ ВІТРОВЛОВЛЮВАЧІВ У СИСТЕМАХ ЕНЕРГООЩАДНОЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ

***Анотація.** Природна вентиляція відіграє важливу роль у забезпеченні комфортних умов життєдіяльності. Вітровловлювачі є частиною цього процесу і можуть забезпечити необхідну швидкість вентиляції будівель. Значний вплив на продуктивність вітровловлювачів залежить від відповідних параметрів, таких як висота, конфігурація, форма поперечного перерізу, кількості вхідних отворів, швидкості руху та змінності напрямку руху повітря. Потенціал застосування вітровловлювачів у сучасній архітектурі та містобудуванні проявляється у використанні вітровловлювачів у сучасних будівлях, нових конструкціях і нових технологіях секцій вітровловлювачів як у міському контексті, так і поза ним. Розуміння цих параметрів допоможе при виборі потрібного типу вітровловлювача. В статті представлені результати аналізу наукових праць стосовно останніх досягнень в галузі енергоефективної вентиляції із застосуванням вітровловлювачів.*

*Ключові слова:* вітровловлювач, природна вентиляція, пасивне охолодження, енергоефективність.

**Вступ.** Найважливішим викликом сьогодення є глобальне потепління, яке вважається одним з важливих викликів сьогодення через потенційний діапазон і серйозність впливу на громади, природу та навколишнє середовище. Викиди парникових газів, особливо викиди CO<sub>2</sub>, що виникають внаслідок споживання викопного палива в будівлях, ще більше посилюють тенденцію до глобального потепління. Будівельний сектор, на який припадає 40% світового споживання енергії та викидів парникових газів, відіграє ключову роль у цій загрозі [1]. У зв'язку з цим не можна ігнорувати вплив систем охолодження, на які разом з системами вентиляції та опалення припадає 60% енергії, що споживається в будівлях. Обладнання системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря не тільки відповідають за найбільшу частину усього споживання енергії всередині будівлі, а й за більшість проблем з якістю повітря в приміщеннях. Вентилятори, повітроводи та брудні фільтри є відповідним місцем для зростання грибків і плісняви, що виробляються органічним пилом, які

забруднюють циркулююче повітря та спричиняють значні проблеми забруднення. Це може бути більш критичним, враховуючи, що майже 90 % нашого часу ми проводимо в закритих приміщеннях під час життя та роботи. Таким чином, удосконалення систем вентиляції та кондиціонування відіграють важливу роль у підвищенні енергоефективності в будівлях, у забезпеченні кращого клімату в приміщенні для мешканців та, як наслідок, зменшенні ймовірності проблем зі здоров'ям [2].

**Актуальність дослідження.** Процес охолодження відіграє важливу роль у створенні комфортних умов для людини. Одним із найвідоміших елементів пасивної системи охолодження будівель без або з мінімальним споживанням енергії є вітровловлювач. На ефективність вітровловлювачів впливають сила вітру та сила плавучості, а знання розміру, форми та положення вихідного отвору [3] допоможуть зрозуміти нові ідеї і технології щодо їх застосування в сучасній архітектурі.

**Останні дослідження та публікації.** Використання систем природної вентиляції для повної вентиляції будівлі було серйозно аргументовано [4]. Можна використовувати природні рушійні сили, такі як напрямок і швидкість вітру, для забезпечення необхідної кількості свіжого повітря для мешканців [5]. Добре відомим прикладом природної вентиляції, який покращує якість у приміщенні за рахунок зниження концентрації забруднення та вологості повітря шляхом заміни затхлого повітря свіжим зовнішнім, є вітровловлювач (або вітряна вежа). Перший вітровловлювач був виявлений під час археологічних робіт у 1970-х роках поблизу Шахруда, Іран. Вітровловлювачі були як декоративними, так і функціональними елементами. Найбільш яскравими прикладом є вітровловлювач в саду Доулат Абад (рис. 1 а), в мечеті Амірчакмак та історичному місті Альзубайр (рис. 1 б). Зараз вітровловлювачі широко використовуються в світі маючи переваги в густонаселених міських районах і в районах з низькою швидкістю вітру, суттєво впливають на зниження охолоджувальних навантажень та забезпечують необхідну швидкість вентиляції будівель.

Автори [7] та [8] вважають, що сучасний вітровловлювач це екологічно чиста та стійка система, яка спрямована на боротьбу з енергетичною кризою, одночасно покращуючи якість повітря та теплового комфорту всередині будівель, і яка гармонійно вписується в нову архітектуру та стає більш керованою. Також авторами було підтверджено, що іншими перевагами вітровловлювача є низька вартість обслуговування через відсутність рухомих частин, використання екологічно чистих рухомих частин, використання чистого і свіжого повітря на рівні даху в порівнянні з низько розташованими вікнами, а також зменшення викидів парникових газів та забруднення повітря.

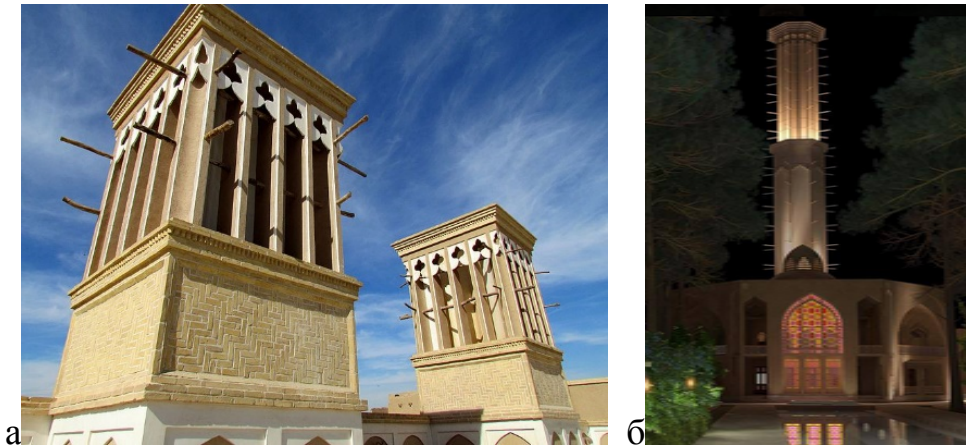


Рис. 1. Історичні вітровловлювачі:  
а – у саду Доулат Абад; б – у м. Альзубайр

Іншими цікавими дослідженнями є наукові праці [9] та [10], які показують, що вітровловлювач є найважливішим атрибутом, який найбільше сприяє природній вентиляції в приміщенні. Розміри вітровловлювача також відіграють важливу роль в підвищенні ефективності природної вентиляції, особливо вітровловлювач із жалюзі.

Ще однією науковою працею, яка викликає інтерес є [11], де автор доводить, що в умовах щільної міської забудови ефективність вікон низька, і вітровловлювачі можуть бути ефективною заміною для забезпечення необхідної інтенсивності вентиляції. Було досліджено триповерховий будинок з недостатньою природною вентиляцією. Результати цієї роботи вказують на те, що додавання вітровловлювача покращило природну вентиляцію в цьому будинку.

Конструкції вітрових веж, які використовують регулюючі заслінки та сонячні колектори для посилення повітряного потоку навколо будівель були досліджені в працях [12] та [13]. Авторами була надана детальна методологія для проектування та розміщення вітрових веж.

Результати наукового розгляду були представлені в праці [14], де наведено останні розробки і застосування вітровловлювачів у сучасній архітектурі. Авторами обговорюється залежність ефективності вітровловлювача відповідно до його параметрів, а саме висоти, конфігурації та поперечного перерізу, внутрішніх та зовнішніх умов будівлі (мікроклімату) та навколишнього середовища (клімату), та доводиться, що вітровловлювач суттєво впливає на зниження охолоджувальних навантажень і забезпечує необхідну швидкість вентиляції будівель.

**Метою роботи** є комплексний огляд конструктивних особливостей вітровловлювачів різних типів та конфігурацій, які знайшли застосування в сучасній архітектурі.



**Основна частина.** На даний час існує багато видів вітровловлювачів і їх умовно можна класифікувати за: кількістю вхідних отворів, кількістю рівнів, типом форми поперечного перерізу та розташуванням перегородок [15] (табл. 1).

Таблиця 1. Класифікація вітровловлювачів

За кількістю вхідних отворів	односторонні
	двосторонні
	чотиристоронні
	шестисторонні
	восьмисторонні
За типом форми поперечного перерізу	циліндричні
	квадратні
	прямокутні
	шестигранні
	тетраедричні
За кількістю рівнів	однорівневі
	дворівневі
	багаторівневі
За типом розташуванням перегородок	К-подібної форми
	Х-подібної форми
	Н-подібної форми
	з рівними каналами
	з різними каналами

За кількістю вхідних отворів вітровловлювачі можна поділити [16] на:

- односторонні вітровловлювачі; мають вхідні отвори в одному, підвітряному, напрямку, що дає змогу потрапляти холодним вітрам до приміщень, а потім повітря виходить з іншого отвору будівлі; вимагають додаткових отворів в будівлі (вентиляційні отвори, вікна, двері) для виходу повітря. Продуктивність, в основному, залежить від напрямку вітру, тому вхідні отвори повинні бути на максимальній високому рівні;

- двосторонні вітровловлювачі (парні вітровловлювачі); за розмірами менші за односторонні та мають два отвори з двох протилежних сторін, таким чином, що один отвір використовується як вхід для свіжого повітря, а через інший витягується тепле повітря. Зазвичай використовується в регіонах з переважно сильним вітром;

- чотиристоронні вітровловлювачі; за розмірами є вищими та більшими за інші типи вітровловлювачів, їх висота залежить від кліматичних умов. Зазвичай цей тип вітровловлювачів використовується в місцях, де немає певного напрямку вітру, оскільки їх конструкція в основному залежить від вловлювання переважаючого вітру з усіх напрямків [17];

- шестисторонні вітровловлювачі;

- восьмисторонні вітровловлювачі; як правило, найвищі за всі інші вітровловлювачі та мають більшу стійкість проти тиску вітру.

В залежності від поперечного перерізу вітровловлювачі поділяються на групи [16]:

- циліндричні вітровловлювачі; мають найскладнішу конструкцію з наведених, тому мають не надто широке застосування порівняно з іншими, але мають високу ефективність завдяки тому, що їх проектування базується на аеродинамічних характеристик вітру;

- квадратні вітровловлювачі;

- прямокутні вітровловлювачі є найбільш поширеним типом вітровловлювачів;

- шестигранні вітровловлювачі;

- тетраедричні вітровловлювачі.

Вітровловлювачі за кількістю рівнів поділяються на однорівневі, дворівневі та багаторівневі. Найбільше розповсюдження отримали однорівневі вітровловлювачі, дворівневі вважаються рідкісним типом, а багаторівневі вітровловлювачі нечисленні та використовуються як архітектурний компонент будівлі.

Кількість внутрішніх перегородок, а також розмір і розташування отворів вітровловлювача суттєво впливають на його вентиляційні характеристики. Внутрішні перегородки відіграють важливу роль в ефективності вітровловлювачів. Вони впливають на швидкість і турбулентність повітряного потоку, а також розділяють поперечний переріз вітровловлювача на менші канали, підвищуючи міцність його конструкції та зменшуючи чутливість до різних напрямків вітру. Тому вітровловлювачі з різними типами розташування перегородок мають різні характеристики, що впливають на ефективність роботи вітровловлювача. Розташування перегородок наведено для вітровловлювачів з квадратним (рис. 3) [18] та багатограним (рис. 4) поперечним перерізом.

Різні форми перегородок у прямокутних вітровловлювачах включають перегородки Х-подібної (рис. 5 а), К-подібної (рис. 5 б) та Н-подібної форм (рис. 5 в) [19].

Широке розмаїття внутрішніх перегородок можна знайти в традиційних вітровловлювачах, тоді як конструкція сучасних вітровловлювачів простіша (здебільшого Х-подібна або чотиристороння). Вхідні отвори вітровловлювачів в основному конфігуруються на основі орієнтації переважаючого напрямку вітру. Рельєф місцевості, розташування та необхідна швидкість повітряного потоку є визначальними факторами для розміру отворів і кількості внутрішніх перегородок.

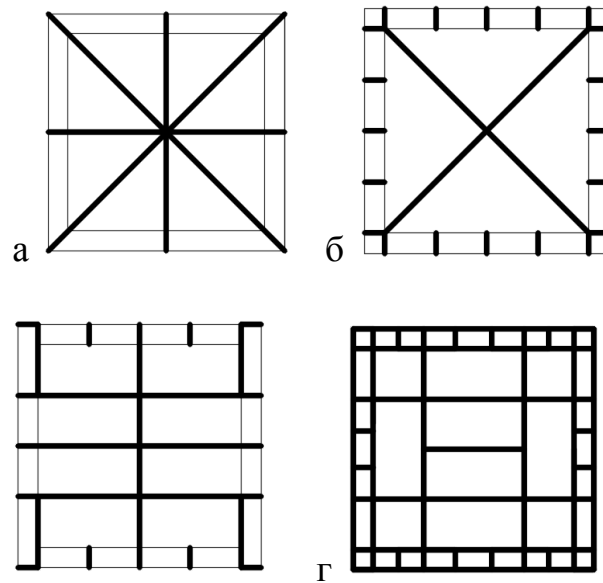


Рис. 3. Розташування в квадратних вітровловлювачах перегородок: а - К-подібної форми; б - Х-подібної форми; в, г - Н-подібної форми

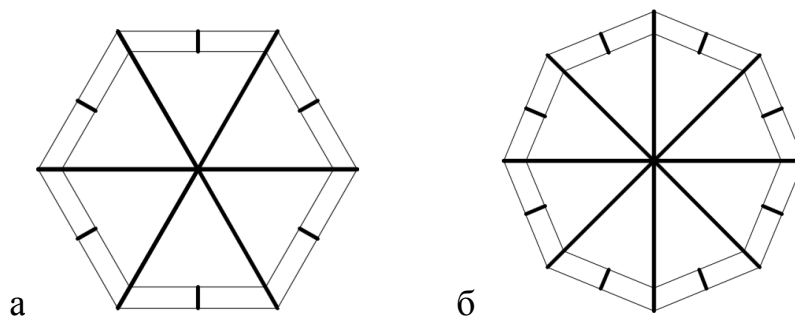


Рис. 4. Розташування перегородок в:  
а - шестигранних вітровловлювачах; б - восьмигранних вітровловлювачах

Таким чином, огляд публікацій показує, що в останні роки увага науковців повернута до енергії вітру як до екологічної спонуки природної вентиляції. Для того, щоб покращити показники вентиляції та забезпечити комфортні умови для мешканців будівлі, особливо в спекотні безвітряні дні, вітровловлювач має великий потенціал для поєднання з іншими методами природної вентиляції, такими як вікно, сонячний димохід та внутрішній двір для підвищення його ефективності. А використання новітніх конструкцій вітровловлювачів в сучасних будівлях доводить, що вітровловлювачі мають великий потенціал для забезпечення необхідної природної вентиляції в сучасній архітектурі та сучасному способі життя.

При використанні в системі вентиляції вітровловлювачів виникатимуть проблеми. Зокрема, можливе потрапляння в холодний період року холодного повітря у приміщення, що може призвести до збільшення енерговитрат на підтримання параметрів мікроклімату.

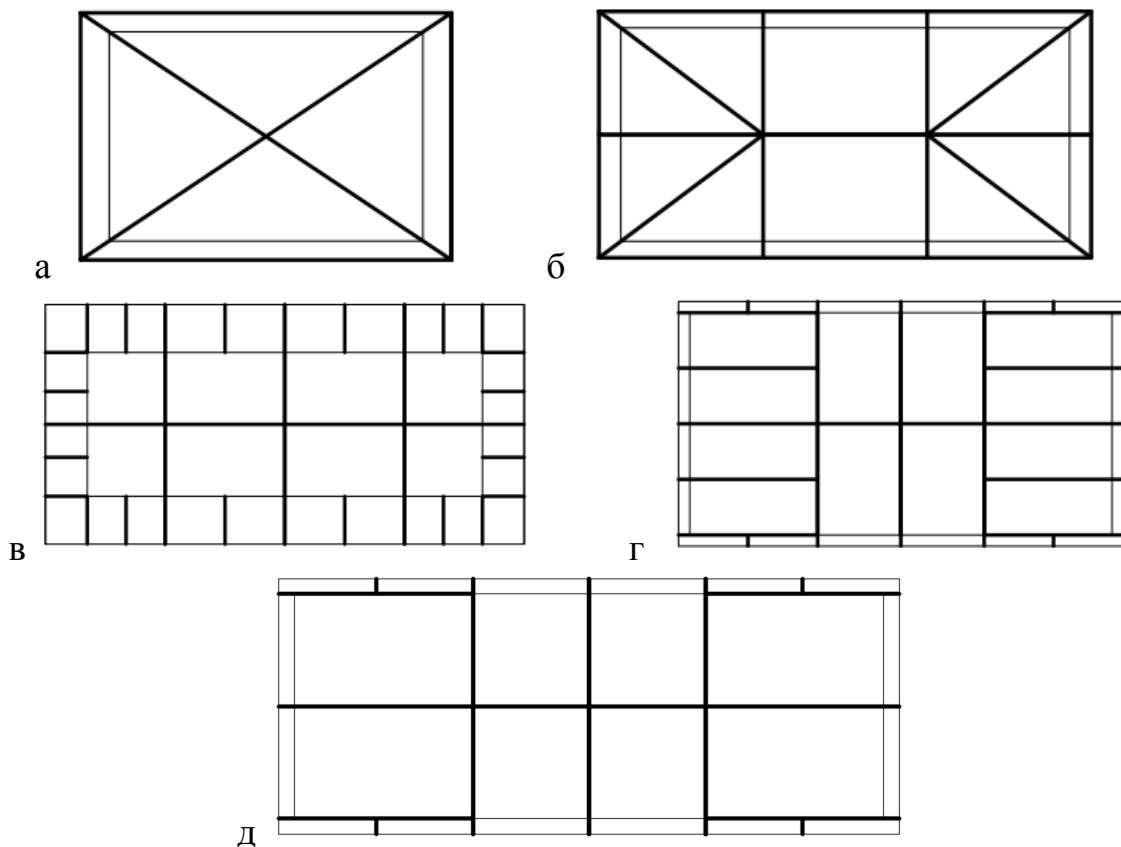


Рис. 5. Розташування в прямокутних вітровловлювачах перегородок:  
а - Х-подібної форми; б - К-подібної форми; в - Н-подібної форми; г - з рівними каналами; д - з різними каналами

У холодний період року вітри мають більшу швидкість ніж у теплий, а для енергоефективного забезпечення комфорту в теплий період року потрібно більше зовнішнього повітря на асиміляцію теплонадлишків. Крім того, під час опадів можливе потрапляння вологи до системи вентиляції та у приміщення через вітровловлювач, навіть за наявності захисту від потрапляння опадів, що, в свою чергу, може негативно впливати на самопочуття.

Для вирішення цих проблем і покращення ефективності використання вітровловлювачів необхідні подальші наукові дослідження, які сприятимуть розробленню інноваційних рішень для підвищення енергоефективності будівель з вітровловлювачами та будуть спрямовані на розроблення нових і вдосконалення наявних конструкцій вітровловлювачів

**Висновки.** В останні роки значення енергії вітру як екологічної спонуки руху повітря для природної вентиляції. Для того, щоб покращити показники вентиляції та забезпечити комфортні умови для мешканців будівлі, особливо в спекотні безвітряні дні, вітровловлювач має великий потенціал для поєднання з іншими методами природної вентиляції, такими як вікно, сонячний димохід та внутрішній двір для підвищення його ефективності.

### References

1. Jomehzadeh, F., Nejat, P., Calautit, J. K., Yusof, M. B. M., Zaki, S. A., Hughes, B. R., Yazid, M. N. A. W. M. A review on windcatcher for passive cooling and natural ventilation in buildings, Part 1: Indoor air quality and thermal comfort assessment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 2017, pp. 736–756.
2. Chenari B., Dias Carrilho J., Gameiro da Silva M., Towards sustainable, energyefficient and healthy ventilation strategies in buildings: a review, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 59, 2016, pp. 1426–1447.
3. Varela-Boydo, C. A., Moya, S. L., Watkins, R. Analysis of traditional windcatchers and the effects produced by changing the size, shape, and position of the outlet opening. *Journal of Building Engineering*, 33, 2021, 101828.
4. Calautit J., Tien P., Wei S., Calautit K., Hughes B. Numerical and experimental investigation of the indoor air quality and thermal comfort performance of a low energy cooling windcatcher with heat pipes and extended surfaces, *Renew. Energy* 145, 2020, pp. 744-756.
5. Allesina G., Ferrari C., Muscio A., Pedrazzi S. Easy to implement ventilated sunspace for energy retrofit of condominium buildings with balconies, *Renew. Energy* 141, 2019, pp. 541-548.
6. Calautit, J., O'Connor, D., Tien, P., Wei, S., Pantua, C., & Hughes, B. (2020). Development of a natural ventilation windcatcher with passive heat recovery wheel for mild-cold climates: CFD and experimental analysis. *Renewable Energy*, 160, 2020, pp. 465-482.
7. Afshin M, Sohankar A, Manshadi MD, Esfeh MK. An experimental study on the evaluation of natural ventilation performance of a two-sided wind-catcher for various wind angles. *Renew Energy*, 85, 2016, pp. 1068–1078.
8. Hedayat Z, Belmans B, Hossein Ayatollahi M, Wouters I, Descamps F. Performance assessment of ancient wind catchers - an experimental and analytical study. *Energy Procedia*, 78, 2015, pp. 2578–2583.
9. Abd Wahab I., Aziz H., Salam N. Building design effect on indoor natural ventilation of tropical houses, *Int. J. Sustain. Constr. Eng. Technol.* 10, 2019, pp. 23-33.
10. Abd Wahab I., Ismail L., Abdullah A.H., Rahmat M., Abd Salam N.N., Natural ventilation design attributes application effect on indoor natural ventilation performance of a double storey single unit residential building, *Int. J. Integr. Eng.* 10, 2018, pp. 7-12.
11. Drach P. R. C., “A study on air circulation: the case of house vi of “vila” 37 with the application of wind-catch”, vol. 2, 2009, pp. 307-316.
12. Bansal N.K., Mathur R., Bhandari M.S. A study of solar chimney assisted wind tower systems for natural ventilation in buildings, *Building & Environment* 29,

4. 1994, pp. 495–500.

13. Bahadori M.N. Viability of wind towers in achieving summer comfort in the hot arid regions of the Middle East, *Renewable Energy* 5, 2. 1994, pp. 879–892.

14. Sangdeh, P. K., Nasrollahi, N. Windcatchers and their applications in contemporary architecture. *Energy and Built Environment* 3, 2022, pp. 56-72.

15. Nejat P., Windcatcher as a Persian sustainable solution for passive cooling, *Civ.Eng. Res. J.* 6, 07. 2018.

16. Bahadori M.N., Dehghani-Sanij A.R., *Wind Towers: Architecture, Climate and Sustainability*, Springer International Publishing, Switzerland, 2014.

17. Baghaiepoor M., Jovanovic G., Stanimirovic M. Climate adapted houses in Iran: hot, cold and humid climate, *Facta Univ. Ser. Archit. Civ. Eng.* 17, 2019, pp. 429–443.

18. Mahmoudi M. Wind catcher: an attractive and charming feature of Yazd city, *Bagh-e Nazar*, 3, 5. 2006, pp. 91–100.

19. Zarandi M.M. Analysis on Iranian wind catcher and its effect on natural ventilation as a solution towards sustainable architecture (case study: Yazd), *World Acad. Sci. Eng. Technol. Int. J. Soc. Behav. Educ. Econ. Bus. Ind. Eng.* 3, 2009, pp. 668–673.

UDC 697.9

Post-graduate student **Valery Savin**,  
[savinvv@knu.edu.ua](mailto:savinvv@knu.edu.ua), ORCID: 0009-0008-6013-7371,  
Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Ukraine,  
Sc.D, professor. **Vasyl Zhelykh**  
[Vasyl.M.Zhelykh@lpnu.ua](mailto:Vasyl.M.Zhelykh@lpnu.ua), ORCID: 0000-0002-5063-5077,  
Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

## REVIEW OF PECULIARITIES OF USING WIND CATCHERS IN ENERGY-SAVING VENTILATION SYSTEMS

**Abstract.** *Natural ventilation plays an important role in ensuring comfortable living conditions. Wind catchers are part of this process and can provide the required ventilation rate for buildings. The performance of wind catchers depends on the relevant parameters, such as height, configuration, cross-sectional shape, number of inlets, speed of movement and variability of air movement direction. HVAC equipment is not only responsible for the largest portion of the total energy consumption within a building, but also for most indoor air quality problems. Vents, air ducts, and dirty filters are a suitable place for the growth of fungi and molds produced by organic dust, which contaminate the circulating air and cause significant pollution problems. This could be more critical given that we spend almost*

*90% of our time indoors during our lives and work. Improvements in ventilation and air conditioning systems therefore play an important role in increasing energy efficiency in buildings, providing a better indoor climate for occupants and, as a result, reducing the likelihood of health problems. The cooling process plays an important role in creating comfortable conditions for humans. One of the most well-known elements of a passive cooling system for buildings with no or minimal energy consumption is a wind catcher. The effective-ness of wind catchers is influenced by wind force and buoyancy, and knowledge of the size, shape, and position of the outlet will help to understand new ideas and technologies for their application in modern architecture. A well-known example of natural ventilation that improves indoor quality by reducing pollution and humidity by replacing stale air with fresh outside air is a wind catcher (or wind tower). Nowadays, wind catchers are widely used in the world, having advantages in densely populated urban areas and in areas with low wind speeds, significantly affecting the reduction of cooling loads and providing the required ventilation rate of buildings. At present, there are many types of wind traps that can be classified according to the number of inlets, cross-sectional shape, and number of levels. The number of internal partitions, as well as the size and location of the openings of the wind collector, significantly affect its ventilation characteristics, efficiency, air flow velocity and turbulence, and also divide the cross-section of the wind collector into smaller channels, increasing the strength of its structure and reducing sensitivity to different wind directions.*

*Keywords: wind catcher, natural ventilation, passive cooling, energy efficiency.*

# **ВЕНТИЛЯЦІЯ, ОСВІТЛЕННЯ ТА ТЕПЛОГАЗОПОСТАЧАННЯ**

**НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЗБІРНИК**

**Випуск 47**

Визнаний МОН України як наукове фахове видання України категорії “Б”, у якому можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття ступенів доктора і кандидата наук (Наказ Міністерства освіти і науки України № 409 від 17.03.2020 р.)

Збірник «Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання» представлений на сайті <http://www.nbuv.gov.ua> національної бібліотеки НАН України ім. В. І. Вернадського та на сайті КНУБА ( <http://vothp.knuba.edu.ua/> ).

Підписано до друку 29.12.2023. Формат 60×84 1/16  
Друк офсетний. Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman.  
Умов. друк. арк. 3,66. обл. вид. арк. 3,95.  
Наклад 100 прим. Замовлення № 161405



