

## ВПЛИВ ВЕНТИЛЬОВАНИХ ОГОРОДЖУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ НА РЕГУЛЮВАННЯ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДИНКУ

Лимаренко О. М.

### 1. Вступ

В Україні середньостатистичний будинок споживає 260 кВт·год/м<sup>2</sup>. В Європі аналогічне значення коливається в діапазоні від 90 до 120 кВт·год/м<sup>2</sup>. Основними причинами, які призводять до невиправдано великих втрат тепла у житлово-комунальній сфері є недосконалість існуючих будівельних конструкцій. Значна частина втрат тепла у будинках в опалювальний період відбувається через різницю температур внутрішнього і зовнішнього повітря (трансмісійні втрати тепла через зовнішні огороджуючі конструкції), а також в результаті процесів повітрообміну. Отже, суттєве підвищення енергоефективності будинків і споруд є одним із першочергових завдань для дослідників [1, 2]. Дослідження енергоефективного будівництва відображені в роботах [3–5]. Основна мета цих дослідників полягала у розробці наукових та прикладних задач підвищення енергоефективності будинків шляхом їх реконструкції або при проектуванні. А також зниження втрат тепла та мінімізації витрат на обігрів житлових приміщень в будівлях з нульовим рівнем шкідливих викидів; нульовим споживанням енергії та енергоактивних будівель.

Тому актуальним є комплексний аналіз енергоефективності будинку, і в першу чергу, огороджуючих конструкцій. Для додаткової економії теплової енергії може бути використано регулювання центрального опалення. Можна виконувати регулювання в залежності від погодних умов, тобто теплова потужність котла або теплового пункту буде залежати від зміни температури зовнішнього повітря. Цей напрямок досліджень вимагає створення математичних моделей, за допомогою яких можна прогнозувати та оптимізувати теплові процеси в досліджуваних об'єктах. Таким чином, *об'єктом дослідження* є розрахунок значення ходу змін внутрішньої температури в досліджуваному будинку з вентильованою (ВОК) та невентильованою огороджуючими конструкціями [6, 7], в якому застосовувалося двоступеневе регулювання часу експлуатації теплового пункту. Отже, *мета роботи* полягає у визначенні найнижчої досяжної температури всередині об'єкта і швидкості повернення температури до початкового значення з моменту етапу охолодження при використанні зазначених типів огороджуючих конструкцій.

### 2. Методика проведення досліджень

В першу чергу визначаємо теплові втрати будівлі [8]. Питомі теплові втрати будівлі (як об'ємну щільність теплового потоку, що проникає через будівельні перегородки)  $q$ , Вт/(м<sup>3</sup>·°C), для 1 м<sup>3</sup> зовнішнього об'єму визначали за формулою:

$$q = \frac{P}{S} \{k_{cm} + d(k_{\text{вік}} - k_{cm})\} + (n_{\text{в}}k_{\text{в}} + n_{\text{н}}k_{\text{н}})H^{-1}, \quad (1)$$

де  $P$  – зовнішній периметр будівлі, м;

$S$  – площа проєкції першого поверху будівлі, м<sup>2</sup>;

$k_{cm}$ ,  $k_{\text{вік}}$ ,  $k_{\text{в}}$ ,  $k_{\text{н}}$  – коефіцієнти теплопередачі для: зовнішніх стін з ВОК, вікон, ВОК над останнім поверхом і нижнього перекриття (над підвалом);

$d$  – частка скляних поверхонь;

$H$  – висота будівлі, м,

$n_{\text{в}}$ ,  $n_{\text{н}}$  – коефіцієнти, що враховують зменшення обчислювальних відмінностей температури для верхнього і нижнього перекриттів по відношенню до стін [9].

Втрати тепла через ВОК можна визначити із запропонованих математичних моделей:

$$n_{\text{в}}k_{\text{в}} = 0,56 \cdot k_{cm}, \quad (2)$$

$$n_{\text{н}}k_{\text{н}} = 0,34 \cdot k_{cm}. \quad (3)$$

Наступним кроком у розрахунку є визначення коефіцієнту теплової акумуляції будівлі з використанням ВОК. Цей коефіцієнт характеризує здатність загальної конструкції будівлі акумулювати тепло і зменшувати коливання температури в опалюваних приміщеннях:

$$T = \sum \frac{F \cdot c_{cm}}{3,6 \cdot q \cdot V}, \quad (4)$$

де  $F$  – поверхня стін будівлі або їх окремих частин (за винятком скління), м<sup>2</sup>;

$$F = P \cdot H(1 - d); \quad (5)$$

$V$  – зовнішній об'єм будівлі або окремих її частин, м<sup>3</sup>;

$c_{cm}$  – еквівалентна теплоємність, кДж/(м<sup>2</sup>·°С).

Іншою проблемою було розроблення методу визначення температури повітря в опалюваних приміщеннях.

Температура повітря при її охолодженні визначається за формулою:

$$t_{\text{в.вн}}^{\text{ох}} = (t_{\text{в.вн}}^{\text{н.ох}} - t_{\text{в.в}}) \left( J_{\text{охл}} + (1 - J_{\text{охл}}) \exp\left(-\frac{Z}{\beta}\right) \right) + t_{\text{в.в}}, \quad (6)$$

де  $t_{\text{в.вн}}^{\text{ох}}$  – температура внутрішнього повітря на початку стадії охолодження;

$J_{\text{охл}}$  – відносна теплова потужність теплового пункту на стадії

охолодження. При  $J_{охл} = 0$  маємо:

$$t_{в.вн}^{ох} = (t_{в.вн}^н - t_{в.в}) \left( \exp\left(-\frac{Z}{\beta}\right) \right) + t_{в.в}, \quad (7)$$

де  $Z$  – кількість годин, що минули з початку етапу охолодження;  
 $\beta$  – коефіцієнт теплової акумуляції будівлі:

$$\beta = a_{ох} T, \quad (8)$$

де  $a_{ох}$  – коефіцієнт, що враховує фактор часу, який визначається за формулою:

$$a_{ох} = 0,6 + 0,8 \cdot \exp\left(-\frac{1,5}{Z}\right). \quad (9)$$

Температура повітря протягом етапу нагрівання визначається за формулою:

$$t_{в.вн}^{наз} = (t_{в.вн}^{н.нагр} - t_{в.в}) \left( x + (1-x) \exp\left(-\frac{Z_n}{\beta_n}\right) \right) + t_{в.в}, \quad (10)$$

де  $t_{в.вн}^{наз}$  – внутрішня температура повітря на початку стадії нагрівання;  
 $Z_n$  – кількість годин, що минули з початку етапу опалення;  
 $\beta_n$  – коефіцієнт накопичення теплової енергії в стадії нагріву:

$$\beta = a_{наз} T, \quad (11)$$

де  $a_{наз}$  – коефіцієнт, що враховує фактор, який на етапі нагріву визначається за формулою:

$$a_{наз} = 0,2 + 0,4 \cdot \exp\left(-\frac{0,6}{Z_{наз}}\right); \quad (12)$$

$x$  – відносний тепловий потік, що подається системою опалення, по відношенню до теплового стану будівлі, на початку етапу нагрівання:

$$x = J_{нагр} \frac{t_{р.вн} - t_{в.в}}{t_{в.вн}^{н.нагр} - t_{в.в}}, \quad (13)$$

де  $t_{р.вн}$  – розрахункова температура внутрішнього повітря в опалюваних приміщеннях;  
 $J_{нагр}$  – відносна теплова потужність системи опалення на стадії нагрівання (по

відношенню до проектної потужності при даній температурі зовнішнього повітря).

Для архітектурних даних досліджуваного об'єкта та температури зовнішнього повітря  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  були визначені наступні значення:

1. Питома втрата тепла будівлі:  $0,099\text{ Вт}/(\text{м}^3\cdot^{\circ}\text{C})$  [10].

2. Постійна  $T=40,193$  год.

3.  $x=1,936$ .

4. Температурний стан будинку з двостадійним регулюванням на стадії нагрівання при  $J_{наг}=1,65$  представлений у табл. 1.

**Таблиця 1**

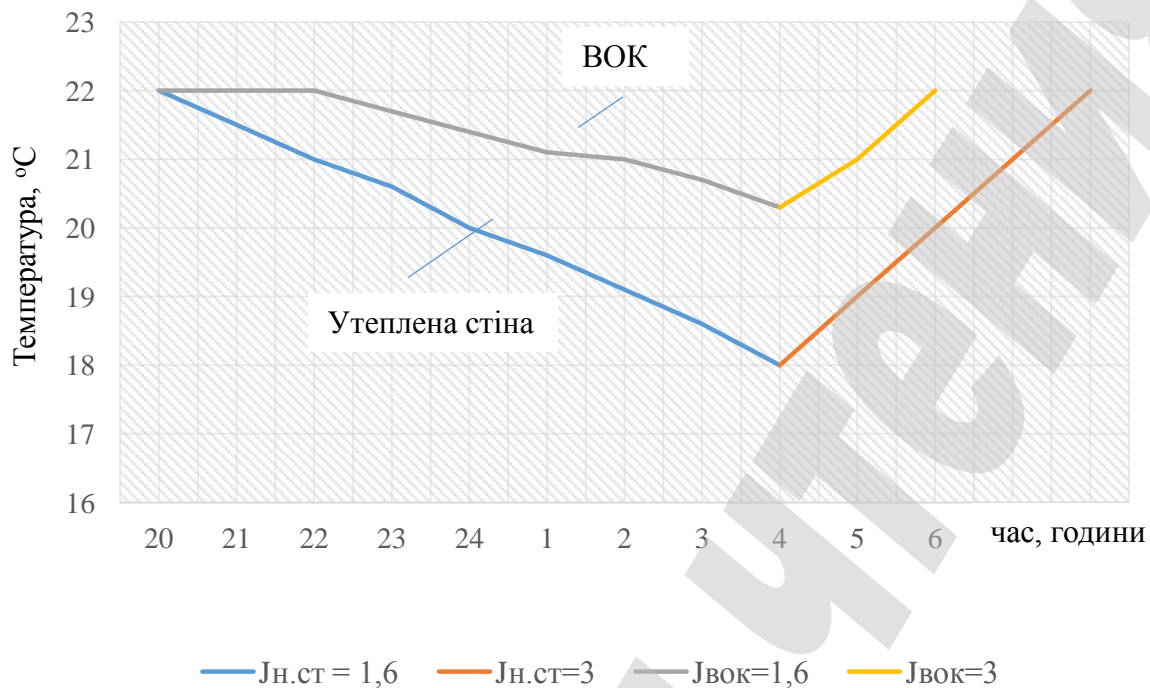
Розрахунки для представленої методики

Режим роботи	Завантаження системи опалення, %	Час реалізації етапу, години	Z, години	a	b		Температура в приміщенні	
					Звичайна стіна	ВОК	Звичайна стіна	ВОК
Номінальний	100	20	0	–	–	–	22	22
Охолодження	0	21	1	0,78	31,3	33	21,5	22
	0	22	2	0,98	39	41	21	22
	0	23	3	1,1	44	47	20,6	21,7
	0	24	4	1,15	46	48	20	21,4
	0	1	5	1,2	48	50	19,6	21,1
	0	2	6	1,22	49	51	19,1	21
	0	3	7	1,25	50,1	53	18,6	20,7
	0	4	8	1,27	52	54	18	20,3
Нагрівання	150	5	1	0,4	17	18	19	21
	150	6	2	0,5	20	20	20	22
	150	7	3	0,53	21	22	21	Номінальний режим
	150	8	4	0,55	22	23	22	

У реальних умовах відносна теплова потужність системи опалення під час нагрівання охолодженого об'єкта вище номінальної [11]. Під час включення циркуляційних насосів спостерігається значний зріст теплової потужності внаслідок значної різниці температур води на подачі і на поверненні. Тому в запропонованій методиці було скориговане значення  $J_{наг}=3$  для перших годин нагрівання приміщень до заданих умов. У наступні години підтримувався нормальний рівень відносної теплової потужності системи  $J_{наг}=1$  і  $x=1,17$ . Отримані результати наведені в табл. 1. Якщо порівнювати отримані результати для звичайної утепленої стіни та ВОК, то нагрівання огороження з ВОК триватиме 2 години, тобто у двічі коротше, або теплова потужність може бути зменшена.

### 3. Результати досліджень та обговорення

На основі розрахунків створено діаграму (рис. 1) зміни внутрішньої температури в досліджуваному об'єкті.

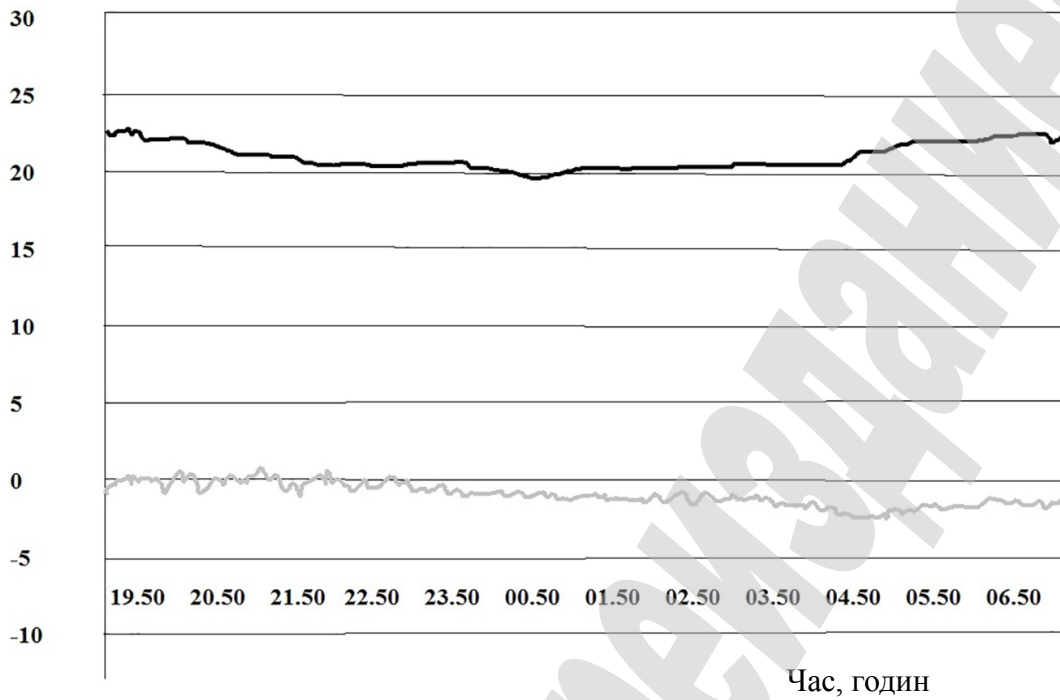


**Рис. 1.** Графік зміни температури у приміщенні

У дослідженому приміщенні були встановлені датчики температури – термопари, розміщені на висоті 1,5 м від підлоги і на відстані 0,15 м від внутрішніх стінок. Також встановлена термопара посередині кімнати і одна зовні. Вимірювання проводили між 20:00 і 7:00. В обох експериментах о 13/14.01.2017 та 16/17.01.2017 тепловий вузол був повністю вимкнений (з 20:00 до 5:00), а потім включений у звичайному режимі. У першому експерименті середня температура становила  $-4^{\circ}\text{C}$ , у другому  $-2^{\circ}\text{C}$ .

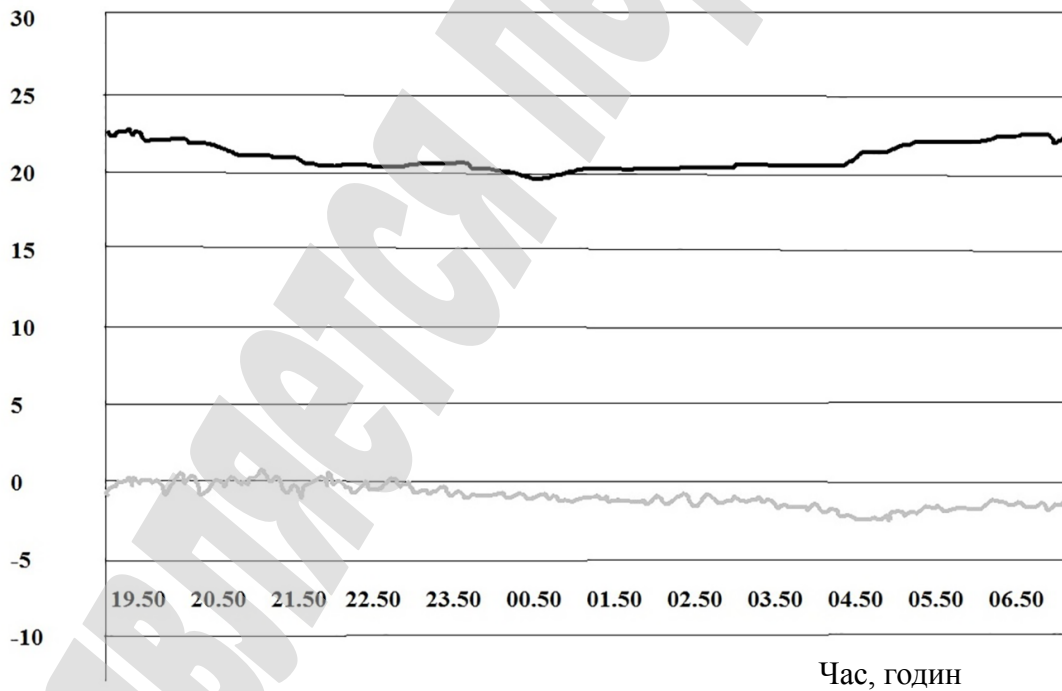
Результати вимірювань температури представлені на рис. 2, 3, відповідно для двох повторень експерименту (експерименту I і II). У другому експерименті температура внутрішнього повітря менше зменшувалася, оскільки вищою була зовнішня температура. На рис. 2, а, б показано повільне падіння температур при вимкненні живлення в тепловому вузлі, а потім її швидке зростання після запуску теплового пункту.

Температура в приміщенні, °C



*a*

Температура в приміщенні, °C



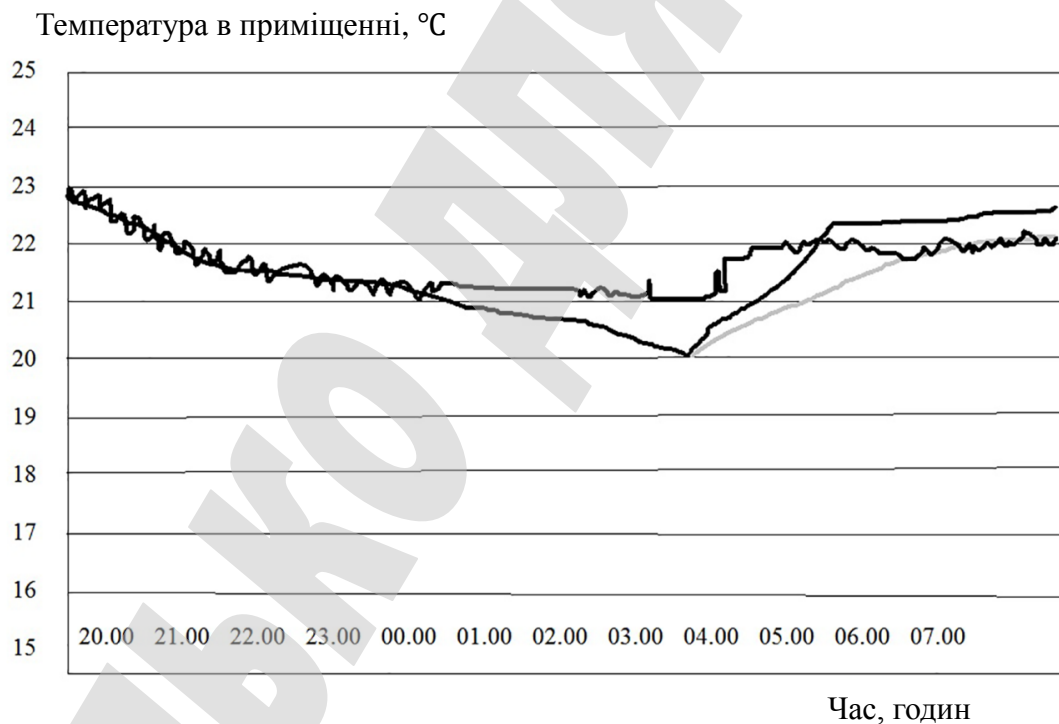
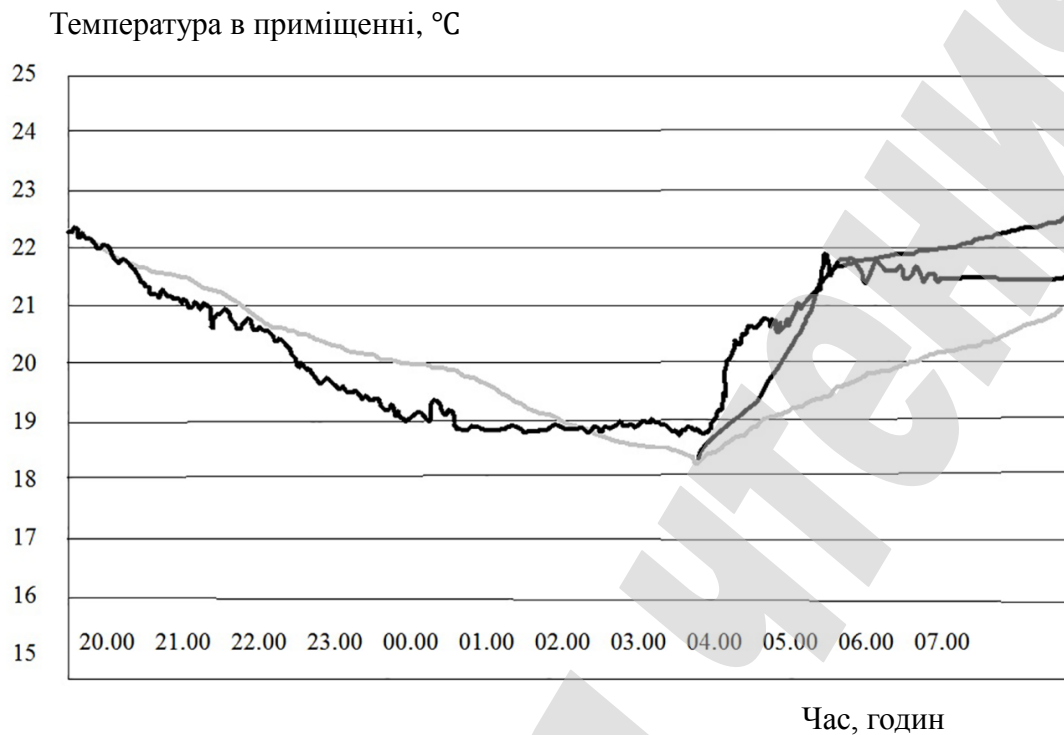
*б*

**Рис. 2.** Результати вимірювань температури:

*a* – при вимкненні живлення; *б* – при запуску теплового пункту;  
— зовнішня температура; — внутрішня температура

Розрахунки, виконані за новою методикою, порівнювали (рис. 3) з

результатами двох серій наведеного вище експерименту.



**Рис. 3.** Порівняння розрахункових та експериментальних даних  
*a* – при вимкненні живлення; *б* – при запуску теплового пункту;  
— експеримент; — розрахунок за новою методикою;  
— збільшення потужності при пуску теплового вузла

Представлена методика, що описує зміну температури в приміщенні досліджуваного об'єкта, спрямована на визначення найнижчого досяжного рівня температур і швидкості повернення до початкових теплових умов. Звичайно, методика враховує зміну теплової інерції будинку у разі використання ВОК та зміну зовнішніх кліматичних умов.

#### **4. Висновки**

В ході дослідження встановлено суть оптимального регулювання температури, яка полягає в тому, щоб контролювати подачу теплової енергії в приміщення, в такий спосіб, щоб відповідна внутрішня температура повітря була досягнута протягом певного часу. Розроблено методику для опалювальних приміщень, яка дозволяє визначити послідовну зміну температури повітря в приміщеннях. Для розробленої у даній роботі математичної моделі визначено коефіцієнт теплової акумуляції будівлі з використанням ВОК, який характеризує здатність загальної конструкції будівлі акумулювати тепло і зменшувати коливання температури в опалюваних приміщеннях. Використання запропонованих науково обґрунтованих пропозицій суттєво підвищує теплову інерцію огороджуючих конструкцій, завдяки чому при вимкненні системи опалення будинки повільно охолоджуються і нагріваються відносно швидко. Таким чином, можливо отримати заощадження, оскільки конструктивні елементи будівлі накопичують тепло.

#### **Література**

1. Долінський А. А., Басок Б. І. Створення експериментального енергоефективного будинку пасивного типу // Праці Восьмої науково-практичної конференції «Енергетична безпека на транспорті: підвищення енергоефективності, зниження залежності від природного газу», 9–10 жовтня 2014 р., м. Київ. С. 26–30.
2. Пассивные дома в Украине и странах СНГ / Божко И. К., Лысенко О. Н., Гончарук С. М., Калинина М. Ф. // Промышленная теплотехника. 2015. Т. 37, № 1. С. 69–81.
3. Dynamic Thermal Performance Simulation of an Improved Passive Solar House with Trombe Wall / Zhao J., Chen B., Liu J., Wang Y. // Proceedings of ISES World Congress 2007 (Vol. I–Vol. V). Beijing, 2008. P. 2234–2239. doi: [http://doi.org/10.1007/978-3-540-75997-3\\_451](http://doi.org/10.1007/978-3-540-75997-3_451)
4. Heat Transfer in Buildings: Application to Solar Air Collector and Trombe Wall Design / Boyer H., Miranville F., Bigot D., Guichard S., Ingar I. et. al. // Evaporation, Condensation and Heat Transfer. 2011. P. 227–244. doi: <http://doi.org/10.5772/23025>
5. Lobna M., Dehmani L. A numerical study of heating and cooling by a Trombe wall in Tunisia // The fifth International Renewable energy congress. Tunisia: Hammamet, 2014. doi: <http://doi.org/10.1109/irec.2014.6826940>
6. Басок Б. І. Експериментальний будинок пасивного типу // Енергоефективність в будівництві та архітектурі. 2014. № 6. С. 3–8.
7. Басок Б. И., Накорчевский А. И. Моделирование теплопередачи через наружное ограждение зданий с учетом непрерывного действия климатических факторов // Строительные конструкции. Межведомственный научно-технический сборник. 2014. Вып. 80. С. 113–120.



8. Dolyin A. A. Creation of an experimental energy-efficient passive type Building: proceedings // Energy Security in Transport: Enhancing Energy Efficiency, Decreasing Dependence on Natural Gas. Kyiv, 2014. P. 26–30.

9. Створення експериментального енергоефективного будинку пасивного типу «нуль енергії» / Гончарук С. М., Калініна М. Ф., Божко І. К., Кужель Л. М., Лисенко О. М. // Промислова теплотехніка. 2014. Т. 36, № 3. С. 88–95.

10. Ратушняк Г. С., Анохіна К. В. Аналіз методів математичного моделювання для визначення теплопередачі через багат шарові захисні конструкції. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. С. 137–141.

11. Протасевич А. С., Калина Л. М., Крутилин А. Б. Вопросы теплотехнического расчета наружных теплоизолированных стен зданий с экраном и вентилируемой прослойкой // Строительный рынок. 2003. № 20. С. 1–5.