

## Визначення особливостей формування систем енергозабезпечення з використанням відновлюваних джерел енергії в перехідний період року

Л. В. Накашидзе, В. О. Габрінець, Ю. О. Мітіков, С. В. Алексєєнко,  
І. С. Ляшенко

*Актуальною науково-практичною проблемою є формування енергоефективних систем забезпечення кліматичних умов в приміщеннях на основі використання відновлюваних джерел енергії. У роботі удосконалено техніко-методологічний підхід до розрахунків систем енергозабезпечення та акумулювання при застосуванні енергоактивних огорожень. Показана особлива ефективність цих огорожень в перехідні періоди року, тобто весни та осені.*

*Для надійного прогнозування процесу забезпечення температурних комфортних умов (теплового балансу) при застосуванні методів непараметричної статистики розроблена математична модель. Вона дозволить підвищити якість прогнозування впливу зовнішньої температури повітря у перехідні періоди року. До уваги береться температура всередині приміщення при наявності багатошарового енергоактивного огороження.*

*Для визначення підходу щодо використання в системах енергозабезпечення теплоти в перехідний період розглядаються теплові параметри з внутрішньої та зовнішньої сторони конструкції споруди. Це дає можливість враховувати зміни теплопередавання цих конструкції при проектуванні системи енергозабезпечення та визначення оптимальних режимів її функціонування в різних природних умовах.*

*Розглянуто іншу задачу енергоактивного огороження, пов'язану з генеруванням в систему додаткової теплоти, яка отримується завдяки перетворенню енергії сонячного випромінювання. Для підвищення цього генерування були запропоновані спеціальні багатошарові конструкції енергоактивного огороження. Запропонована термомодернізація з використанням енергоактивних огорож дозволяє, в середньому за холодний період року, зменшити енерговитрати в 3,5 рази для будівель промислового та житлового призначення.*

*Ключові слова: енергоактивне огороження, сонячне випромінювання, багатошарові конструкції, перетворення енергії, термомодернізація, конвекція.*

### 1. Введення

Уже вирішено багато питань стосовно побудови систем енергозабезпечення, в яких використовуються відновлювані джерела енергії (ВДЕ). При цьому особливу увагу приділено побудові систем енергозабезпечення, які функціонують цілорічно та комплексно використовують енергоносії різного типу. Однак не в повній мірі розглянуті особливості використання таких систем в перехідні періоди (березень-квітень та жовтень-листопад). Для цих періодів характерні денні температури вище 5 °С, нічні температури нижче 0 °С та підвищена воло-

гість. Тобто при опаленні потребується змінний температурний режим подачі теплоносія. Однак забезпечення такого режиму не здійснюється у зв'язку з наявністю ряду технічних та економічних проблем. Найчастіше в ці періоди споживач не отримує тепла від централізованого поставника взагалі. Це призводить до виникнення некомфортних умов проживання споживачів в будівлях (як багатоповерхових, так і малоповерхових). Тому виникає необхідність вирішення такої проблеми – формування систем енергозабезпечення в з урахування особливостей змінного режиму їх функціонування в перехідний період року.

Подальший розвиток методології, яка враховує особливості перехідного періоду року при формуванні енергоефективних систем забезпечення кліматичних умов в приміщеннях на основі використання ВДЕ має важливе наукове та практичне значення розвитку енергетичної галузі в світі. Він є актуальною науково-практичною проблемою, яка потребує подальшого доопрацювання та розв'язання.

## **2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми**

У роботі [1] сформульовано підхід до проєктування систем енергозабезпечення, які використовують відновлювані джерела енергії (ВДЕ). Особливість такого підходу у тому, що він є комплексним. У роботах [2, 3] показано, що тільки комплексність дозволить сформувати ефективну систему енергозабезпечення. Чітке визначення у чому полягає комплексність показано у роботах [4, 5]. Окреслено, що комплексність полягає у тому, що розглядається ряд факторів. Серед них такі:

- вартість і розподіл за часом застосування відновлюваних джерел енергії;
- реалізований технічний потенціал відновлюваних джерел енергії відповідає певним кліматичним зонам;
- технічні та інституційні проблеми і вартість впровадження різних технологій відновлюваних джерел енергії в енергетичні системи та ринки;
- комплексна оцінка соціально-економічних і екологічних аспектів впровадження відновлюваних джерел енергії та інших енергоефективних технологій;
- політичні, інституційні та фінансові механізми, що дозволяють забезпечувати економічно ефективно застосування відновлюваних джерел енергії у найрізноманітніших умовах.

Однак недоліком такого підходу є великий обсяг факторів, які необхідно враховувати.

У роботах [6, 7] показано, що тільки завдяки врахуванню комплексу фізико-технічних, економічних, технологічних показників можливо об'єктивно вибрати оптимальний склад системи енергозабезпечення, що використовує ВДЕ, яка відповідає потребам споживача.

У роботах [8, 9] показано, що технології сонячного опалення та охолодження, що застосовуються в житлових і комерційних будівлях, на даний час являють собою сформований ринок. Показано особливості його формування в різних країнах світу. Показано позитивну тенденцію зростання темпів близько 16 % на рік. В Європі відповідний обсяг ринку збільшився більш ніж в три рази за останній час. Значну частку становлять комплексні геліоводопідігрівальні

системи. У роботах окреслено, що конкуренцію даному напрямку складає підвищення енергоефективності систем енергозабезпечення за рахунок застосування пасивної складової. Але в даних роботах не розглядався ринок використання енергоефективних технологій в енергозбереженні.

У роботах [9, 10] запропоновано для стабілізації тепловтрат при відключенні опалення використовувати підхід, який полягає в пасивній теплоізоляції. Позитивним чинником, зазначеним в даних роботах, є те, що для ефективного збереження тепла використовуються нові матеріали. Показано, що основними критеріями вибору таких матеріалів є легкодоступність, можливість використання для акумулювання тепла (матеріали, у яких використовується теплота фазових перетворень, наприклад парафін) та ін. [11, 12].

У роботі [13] сформульовано ще один з напрямів пасивного конструювання, який полягає у додаванні внутрішньої маси до структури будівлі. Позитивні риси такого підходу підтверджено у роботі [14]. Однак є суттєвий недолік у використанні такого підходу – неможливість його впровадження у функціонуючих об'єктах.

Застосування пасивного підходу підвищують економічні показники системи енергозабезпечення (в тому числі з ВДЕ). Недоліком таких систем є неможливість швидкого додаткового впровадження інновацій згідно з потребами в енергопослугах.

Сонячні водонагрівальні системи зазвичай є більш конкурентоспроможними в регіонах з високим рівнем сонячного випромінювання. Проте в інших регіонах впровадження таких систем є теж доцільним.

### **3. Мета і задачі дослідження**

Метою даної роботи є визначення особливостей формування систем енергозабезпечення, у яких використовуються відновлюваних джерел енергії в перехідний період року. Це дозволить удосконалити техніко-методологічний підхід формування систем енергозабезпечення до акумулювання та використання в перехідний період року теплоти яка забезпечується за допомогою енергоактивних огорожень.

Для досягнення мети були поставлені наступні завдання:

- розробити математичну модель, яка дозволяє розраховувати процеси теплоперенесення в багатошарових конструкціях енергоактивних огорожень при змінних граничних умовах;

- окреслити напрями широкомасштабного впровадження енергоактивних пристроїв;

- визначити якісні та кількісні показники роботи енергоактивних багатошарових огорожень;

- визначити якісні та кількісні показники роботи енергоактивних багатошарових огорожень.

### **4. Матеріали та методи дослідження**

Пропонується для визначення підходу, що до збереження/використання в перехідний період теплоти, яка забезпечується за допомогою енергоактивних

огорожень, розглядати теплові параметри з внутрішньої та зовнішньої сторони конструкції споруди.

Це надасть можливість враховувати зміни теплопередавання цих конструкцій при проектуванні системи енергозабезпечення та визначення оптимальних режимів її функціонування в різних природних умовах, в тому числі і в перехідний період.

Такий підхід базується на роботах [12, 13], в яких пропонується розгляд процесу теплопередавання, згідно якого коливання теплових потоків та температур на зовнішніх та внутрішніх поверхнях огорожень проходять по „гармонічному” закону. У роботі [14] показано, що підхід з точки зору такої теорії має багато припущень.

Наприклад, при такому підході не враховується цілий ряд граничних умов. Особливо це стосується зовнішньої сторони споруди, де весь час змінюються впливові фактори, такі як температура повітря, інтенсивність надходження сонячного випромінювання, швидкість вітрового потоку та ін. Ці показники досить важко спрогнозувати чітко.

Тому відповідно до методики, представленої у роботі [15], необхідно розглянути внутрішні та зовнішні фактори.

Для досягнення цієї мети пропонується використання методів непараметричної статистики. Цей напрямок зараз досить активно розвивається, завдяки своїй простоті, точності та універсальності непараметричних гіпотез. Непараметричні критерії при розподілах, далеких від нормального, є більш ефективними і точними, ніж параметричні.

## **5. Результати дослідження впливу фізико-технічних особливостей багат шарових енергоактивних систем енергозабезпечення**

### **5. 1. Математична модель процесів теплоперенесення в багат шарових енергоактивних огороженнях при змінних граничних умовах**

При розгляді зовнішніх факторів в цій методиці до зовнішніх факторів пропонується віднести:

а) температуру приміщення  $T_{пр}(t)$ .

Відомо, що, наприклад, в житлових помешканнях температура повітря повинна становити 18–22 °С з можливим коливанням  $\pm 1,5$  °С. Однак при відсутності опалення в перехідний період такого значення досягти можливо тільки за допомогою інших джерел енергії, наприклад, електричної.

б) випромінювальну здатність поверхні, що є внутрішньою (конвективні потоки).

Розрахунок коефіцієнта променистої тепловіддачі рекомендовано здійснювати відповідно до математичної залежності:

$$\alpha_{л} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_4}} \cdot \frac{\left(\frac{T_1 + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2 + 273}{100}\right)^4}{T_1 - T_2}, \quad (1)$$

де  $C_1, C_2$  – коефіцієнти випромінювання поверхнею;

$C_ч$  – коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла;

$T_1, T_2$  – температури поверхонь, що взаємодіють.

При визначенні коефіцієнта променистої тепловіддачі для внутрішнього помешкання приймають ряд граничних умов:

–  $T_1$  дорівнює температурі внутрішнього повітря  $T_{п}$ ;

–  $T_2$  дорівнює температурі внутрішньої поверхні  $T_0$  огороження.

Відповідно методиці, що розглядається [13], необхідним є врахування ще одного фактора – конвективної складової. Відомо, що конвективна складова теплопередачі залежить від:

– температури повітря  $T_{п}$ ;

– температури поверхні  $T_0$ ;

– теплофізичних властивостей повітря;

– напрямку руху повітря.

Цей перелік доповнено ще двома важливими факторами, очевидними для теплотехніка:

– швидкість повітря;

– шорсткість поверхні.

Останній фактор характеризує турбулізацію ламінарного прошарку потоку повітря на стіні приміщення, самого вузького місця теплопередачі. Застосовуючи ті чи інші оздоблювальні матеріали різного ступеня шорсткості, можна регулювати конвективні теплові потоки в бік потрібного напрямку.

Для розрахунку коефіцієнта конвективної складової доцільним є використання емпіричної залежності, яка запропонована в роботі [14]. Ця залежність дозволяє розглянути параметри вертикальних стін в помешканнях, що опалюються.

$$\alpha_{в,к} = 1,43\sqrt[3]{T_{в} - T_0}. \quad (2)$$

Відповідно [15], для горизонтальних поверхонь величину коефіцієнта конвективної складової рекомендовано для стель збільшити на 30 %, для долівки зменшити на 30 % або залишити незмінною.

Відповідно методикам, запропонованим в [13, 14] для розрахунку щільності теплових потоків, які діють на внутрішню поверхню огорожень, доцільно використовувати математичні залежності:

$$q_{в,к} = \alpha_{в,к} \cdot (T_{в} - T_0),$$

$$q_{в,л} = C_{в,0}^{сп} \left[ \left( \frac{T_{в} + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_0 + 273}{100} \right)^4 \right], \quad (3)$$

$$q_{в} = q_{в,к} + q_{в,л}.$$

Тепловий потік направлений в сторону зовнішньої поверхні огороження.

Відповідно до [15], для врахування радіаційної складової у вигляді коефіцієнта променевої тепловіддачі доцільно використовувати математичну залежність:

$$\alpha_{\text{л}} = \frac{1,163}{\frac{1}{C_{5,6}} + \frac{1}{C_{6,7}} + \frac{1}{C_4}} \cdot \frac{\left(\frac{T_{5,6} + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_{6,7} + 273}{100}\right)^4}{T_{5,6} - T_{6,7}}, \quad (4)$$

де цифрові індекси вказують на відповідні поверхні на границях між прошаркам.

При проведенні аналізу доцільним є врахування природної конвекції. Відповідно до [15], вона враховується завдяки врахуванню коефіцієнта конвекції  $\epsilon_{\text{к}}$ . Цей коефіцієнт визначається за такою залежністю:

$$\epsilon_{\text{к}} = \frac{\lambda_{\text{ек}}}{\lambda_{\text{пов}}} = 0,105 (\text{Gr}_{\text{пов}} \text{Pr}_{\text{пов}})^{0,3}, \quad (5)$$

при  $10^3 < \text{Gr}_{\text{пов}}, \text{Pr}_{\text{пов}} < 10^6$ , де

$$\text{Gr}_{\text{пов}} = \frac{\gamma g \delta_6^3 (T_{5,6} - T_{6,7})}{\nu^2}, \quad \text{Pr}_{\text{пов}} = \left(\frac{\nu}{a}\right)_{\text{пов}}, \quad (6)$$

де  $\lambda_{\text{ек}}$  – еквівалентний коефіцієнт теплопровідності, який враховує конвективну та молекулярну складові теплопереносу.

Теплофізичні характеристики повітря визначаються при температурі

$$T_{\text{пов}} = (T_{5,6} + T_{6,7}) / 2.$$

Особливо слід відзначити, що теплофізичні властивості повітря треба брати з урахуванням середньостатистичної вологості для конкретного регіону в даний період року.

Визначити загальну теплопередачу в повітряному прошарку можливо відповідно математичній залежності:

$$q_6 = -(\lambda_{\text{ек}} + \alpha_{\text{л}} \delta_6) \cdot \frac{T_{6,7} - T_{5,6}}{\delta_6}.$$

Відповідно вибраної методики наступні фактори, що розглядаються, – це зовнішні фактори. Основними зовнішніми факторами, які мають безпосередній вплив на теплопередавання через огороження, є:

- температура повітря  $T_{\text{зов}}$ ;
- швидкість вітру  $\nu_{\text{зов}}$ ;
- інтенсивність потоку сонячної радіації  $q_s$ .

Відповідно до [12, 13], для розрахунку складових теплообміну доцільно використовувати наступні математичні залежності:

– впливу вітрового потоку:

$$\alpha_{\text{зов,к}} = 6,31v^{0,656} + 3,25e^{-1,91v},$$

де  $v$  – швидкість вітру;

– конвективної складової:

$$q_{\text{зов,к}} = \alpha_{\text{зов,к}} (T_0 - T_{\text{зов}});$$

– променистої здатності зовнішньої поверхні огороження споруди:

$$q_{\text{зов,л}} = \frac{1}{\frac{1}{C_{\delta}} + \frac{1}{C_{\text{н}}} - \frac{1}{C_{\text{ч}}}} \left[ \left( \frac{T_{\delta} + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_{\text{зов}} + 273}{100} \right)^4 \right];$$

– сумарного теплового потоку:

$$q_{\text{зов}} = q_{\text{зов,к}} + q_{\text{зов,л}}.$$

Оскільки температура навколишнього середовища, швидкість вітру, інтенсивність потоку сонячної радіації не є постійними величинами і змінюються постійно та непередбачувано, статистичні закономірності невідомі. Але є кореляційна залежність між деякими параметрами, які мають як стохастичний так і детермінований характер (пора року, температура повітря у попередню добу, стан атмосфери, минулорічні показники температури повітря). Для більш надійного прогнозування процесу забезпечення температурних комфортних умов (теплового балансу), було б доцільно розробити математичні алгоритми для підвищення якості прогнозування умовної зовнішньої температури повітря у перехідний період.

## 5. 2. Напрями розвитку технологій створення та широкомасштабного впровадження енергоактивних пристроїв

Відповідно до визначеного підходу проведено порівняння двох варіантів огороження споруди:

– 1 варіант – традиційна будівельна конструкція з цегли ( $\delta=0,51$  м,  $\lambda=0,67$  Вт/(м·К),  $\rho=1,6 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>,  $c=0,84 \cdot 10^3$  Дж/(кг·К)). Внутрішня поверхня конструкції має прошарок штукатурки, на зовнішній поверхні додаткових прошарків немає;

– 2 варіант – до зовнішньої цегляної поверхні інтегровано багатошарове енергоактивне огороження, що представлено на рис. 1.

Відповідно до [16], теплосприймальні елементи 3 виконані у вигляді поворотних жалюзі. З боку стіни 6 жалюзі мають поверхню, яка добре відбиває теплове випромінювання, а з боку сонячного випромінювання – поверхня, яка добре його поглинає. Всі секції жалюзі теплосприймаючого елемента 3 можна повертати навколо їх осі на 90°. Це дає, з одного боку, можливість регулювати кількість поглиненої сонячної енергії, а з іншого переходити від режиму теплоізоляції до режиму знімання тепла (рис. 1).

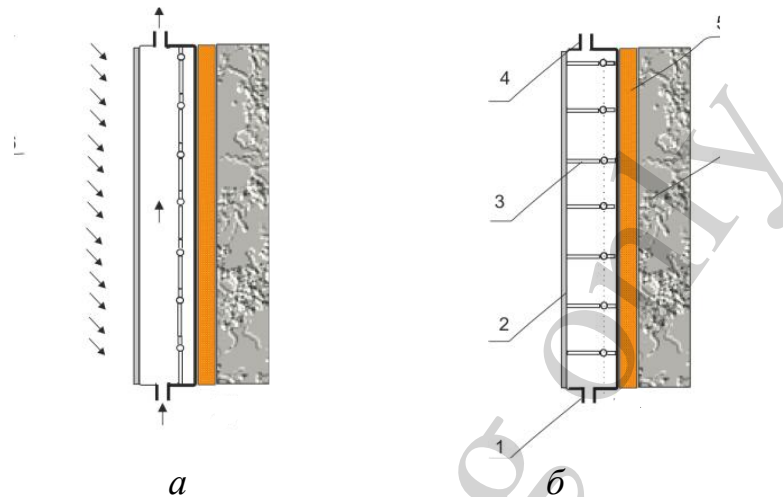


Рис. 1. Схематична конструкція енергоактивного покриття: *а* – режим теплоізоляції; *б* – режим знімання тепла; (1 – вхід повітря, 2 – прозоре покриття, 3 – рухливі тепловосприймаючі жалюзі, 4 – вихід повітря, 5 – теплоізоляція, 6 – стіна будівлі)

У обох варіантах орієнтація стін, що розглядаються, – на південь. Температура у житловому приміщенні, згідно нормативних документів, 20 °С та підтримується практично постійною.

Для отримання таких умов передбачається наявність теплового потоку, направленого в приміщення (традиційні системи опалення).

Також при розрахунках необхідно враховувати прошарки, з яких побудована базова конструкція споруди. Такими прошарками, наприклад, є внутрішня поверхня стіни оштукатурена.

Повітряні прошарки, які наявні в енергоактивному огороженні, замкнені, тому вони виконують функції теплоізолятора. При цьому в повітряному прошарку проходить природна циркуляція повітря та теплопередавання конвекцією, молекулярною теплопровідністю та випромінюванням обмежуючих поверхнею.

### 5. 3. Якісні та кількісні показники роботи енергоактивних багатошарових огорожень

На рис. 2–9 представлено розподіл температур в розрізі опорної конструкції споруди з цегли та з додатково встановленим енергоактивним огороженням. Розрахункові результати стосовно добового розподілу теплових потоків представлені для середини зими, весни, літа та осені. Було проведено аналіз



отриманих розрахункових результатів. В результаті підтверджено позитивні теплоізоляційні властивості енергоактивних огорожень.

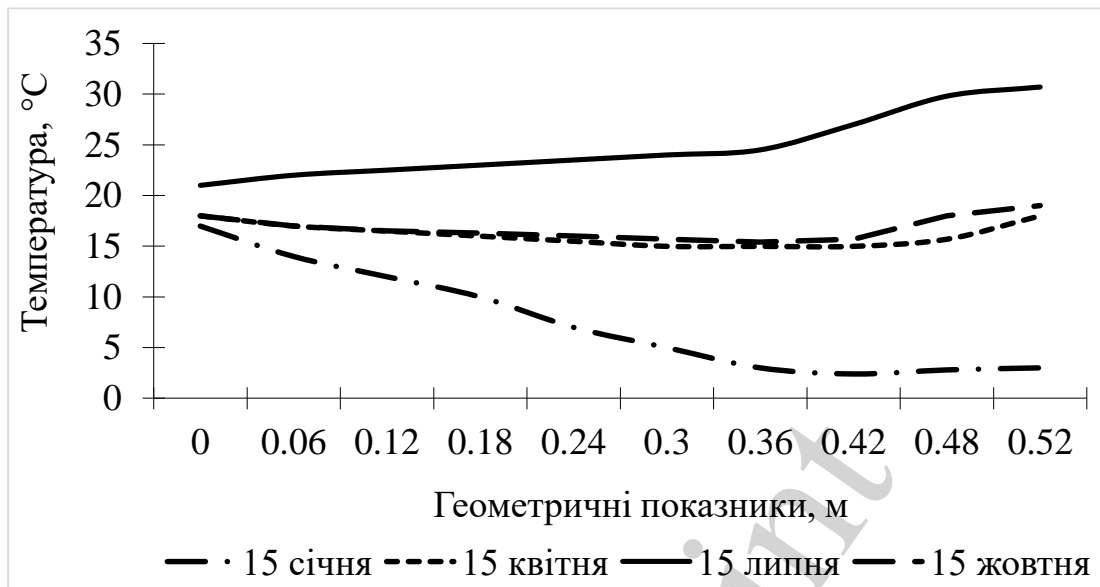


Рис. 2. Розподіл температур в цегляному базовому огороженні південної орієнтації відносно доби, що відповідає середині кожного сезону року на 6 годину доби

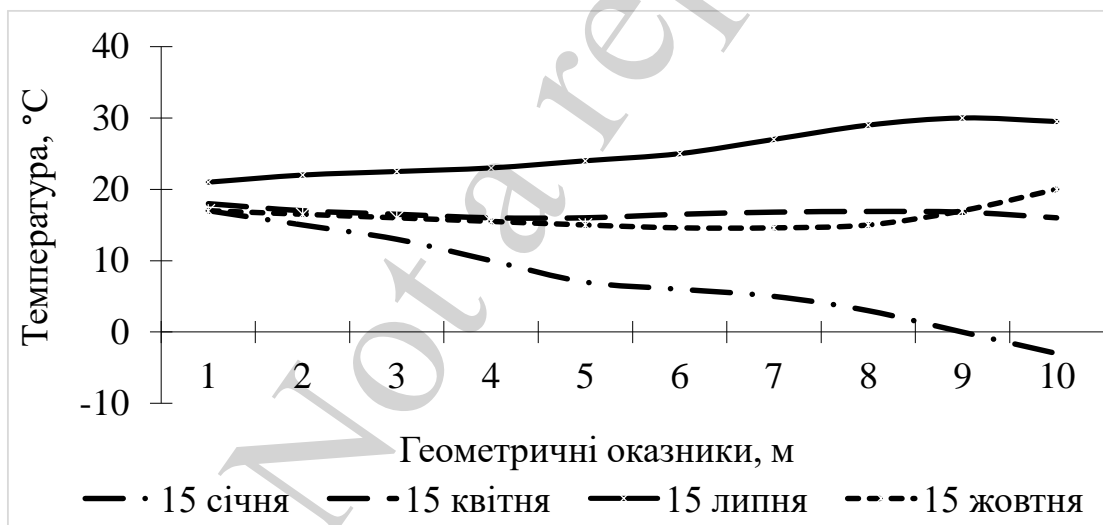


Рис. 3. Розподіл температур в цегляному базовому огороженні південної орієнтації відносно доби, що відповідає середині кожного сезону року на 12 годину доби

Розподіл енергетичних параметрів (рис. 2–9) тісно пов'язаний з впливом сонячної радіації, температурою зовнішньої поверхні  $T(t, \delta)$  та щільності теплового потоку на ній  $q(t, \delta)$ . Величина  $q(t, \delta)$  починає знижуватись, починаючи з заходу Сонця. Взимку вона досягає нульового значення в період 24–6 годин, то в іншу пору року вона змінює знак на протилежний протягом більшого терміну. В цей період проходить акумулювання сонячної енергії за допомогою енергоактивного огороження. Температура  $T(t, \delta)$  змінюється швидко при впливі сонячної радіації, а внутрішні параметри  $T(t, 0)$ ,  $q(t, 0)$  практично не змінюються

протягом доби. Це корелюється з даними для прошарків енергоактивного огороження (рис. 6–9).

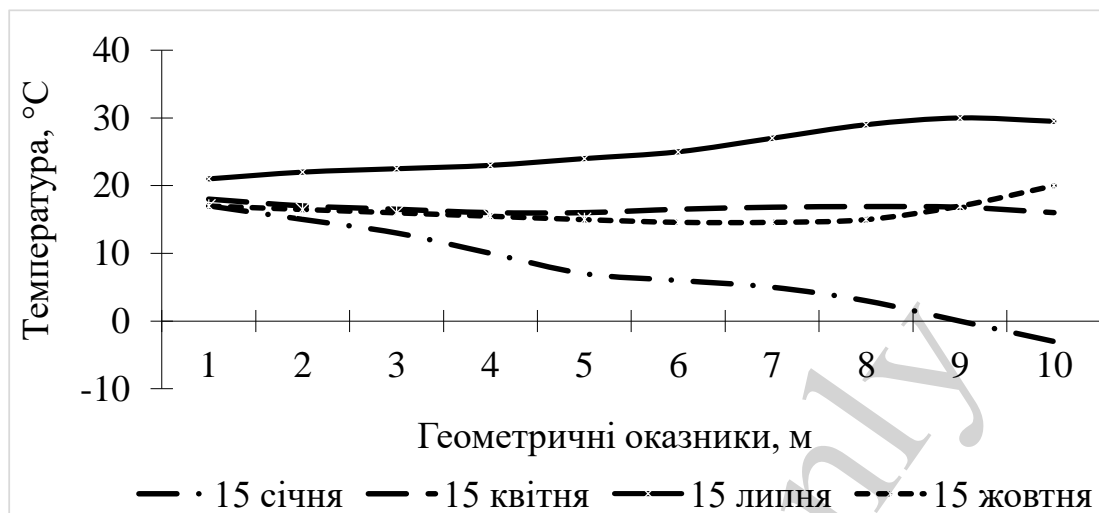


Рис. 4. Розподіл температур в цегляному базовому огороженні південної орієнтації відносно доби, що відповідає середині кожного сезону року на 18 годину доби

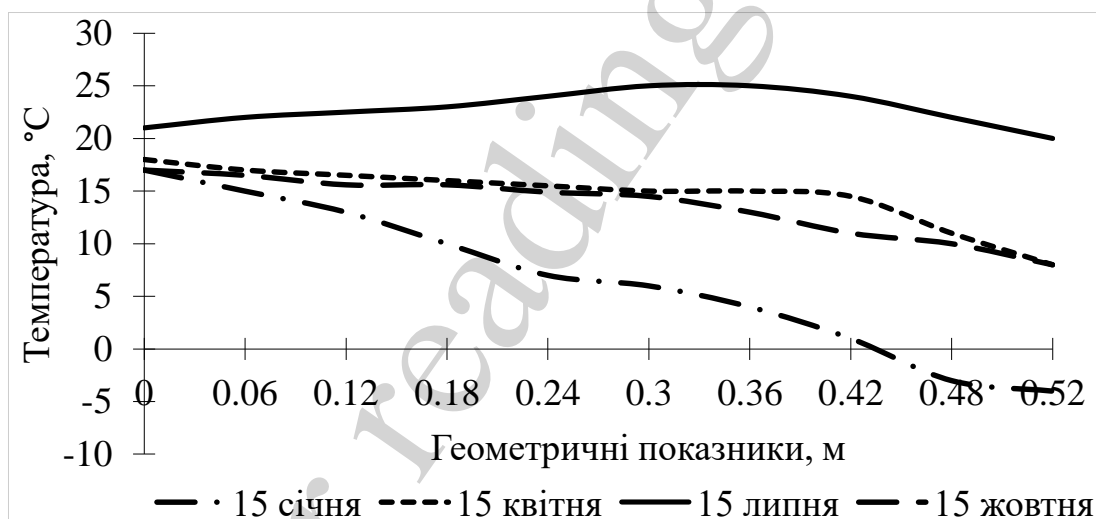


Рис. 5. Розподіл температур в цегляному базовому огороженні південної орієнтації відносно доби, що відповідає середині кожного сезону року на 24 годину доби

Визначено, що експлуатаційні характеристики енергоактивних огорожень істотно залежать від ступеня чорноти, шорсткості, швидкості (завихрень) потоку повітря, теплофізичних властивостей матеріалу відповідної поверхні. З іншого боку, важливою перевагою енергоактивних огорожень є їх багатofункціональність. Це, в першу чергу, пов'язано з їх теплоізоляційними властивостями, які потребують подальшого дослідження. Розповсюдженню енергоактивних огорожень буде також сприяти їх можливість прикрасити зовнішній вигляд будівель, де вони встановлені. Не дослідженим залишається комбінування енергоактивних огорожень з фотоелектричними перетворювачами.

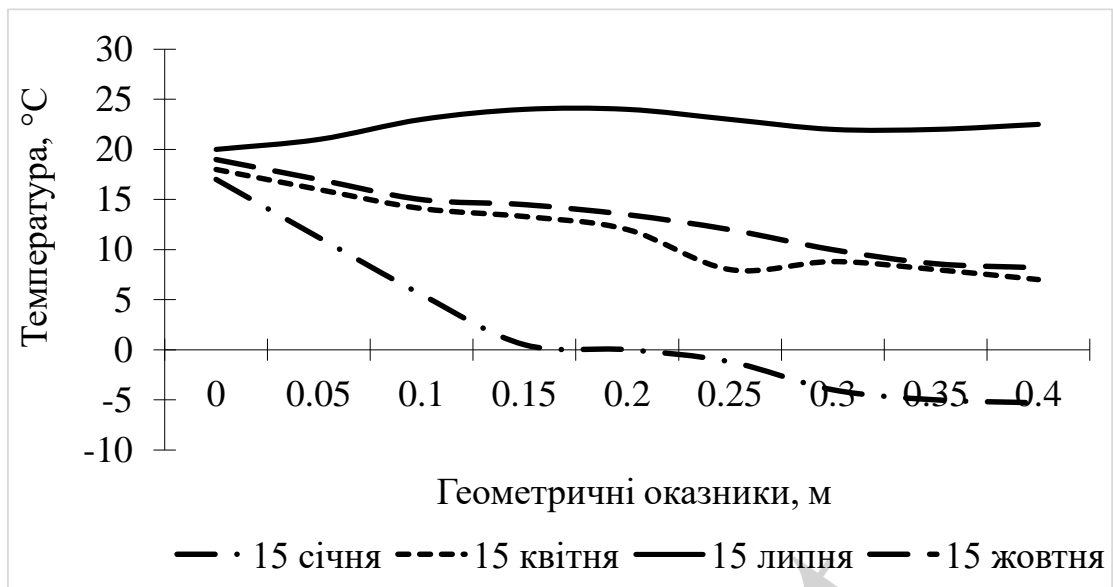


Рис. 6. Розподіл температур в базовому огороженні з системою „цегляний прошарок – енергоактивне огороження” південної орієнтації відносно доби, що відповідає середині кожного сезону року на 6 годину доби

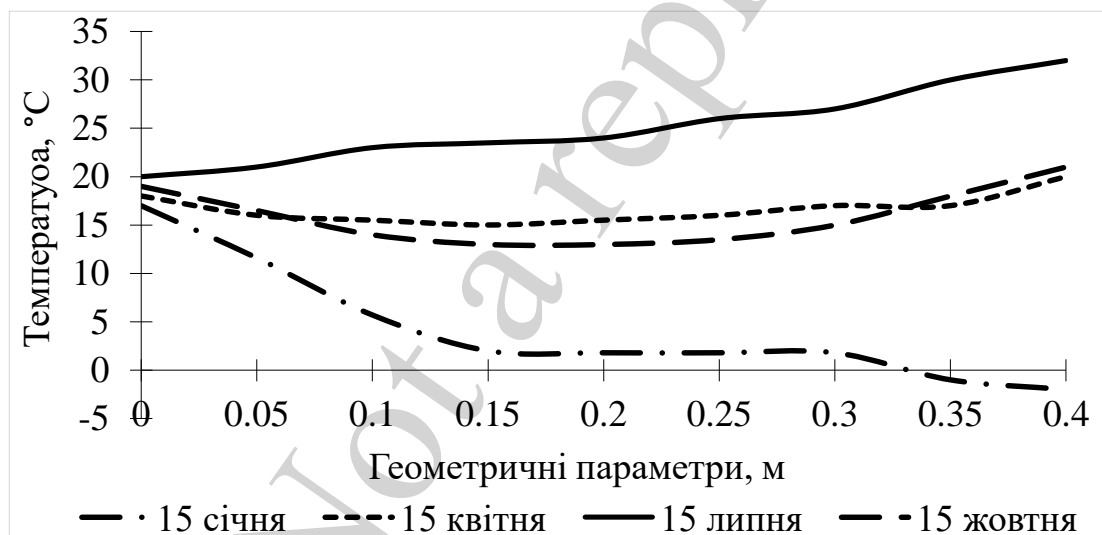


Рис. 7. Розподіл температур в базовому огороженні з системою „цегляний прошарок – енергоактивне огороження” південної орієнтації відносно доби, що відповідає середині кожного сезону року на 12 годину доби

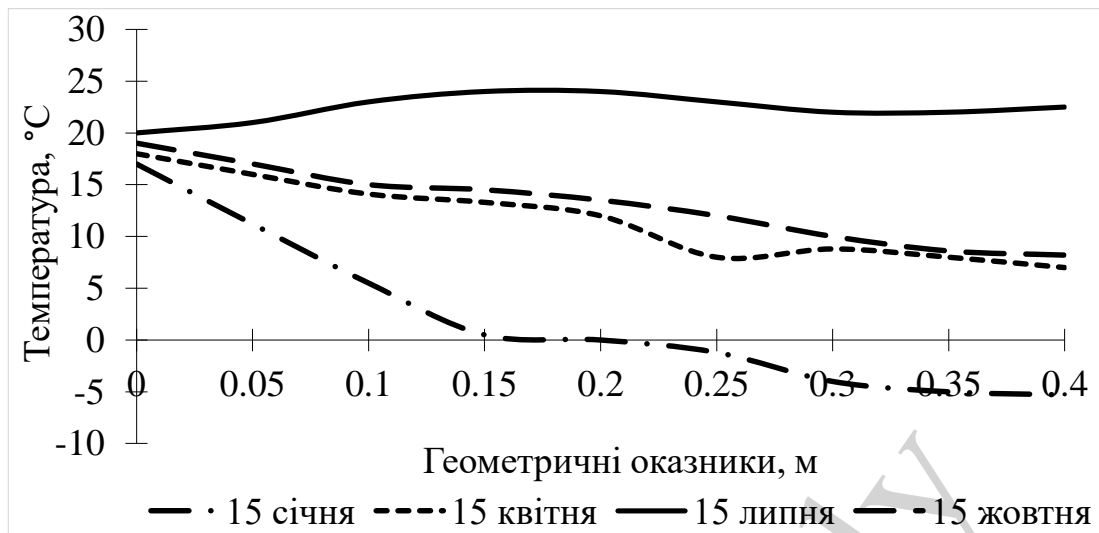


Рис. 8. Розподіл температур в базовому огороженні з системою „цегляний прошарок – енергоактивне огороження” південної орієнтації відносно доби, що відповідає середині кожного сезону року на 18 годину доби

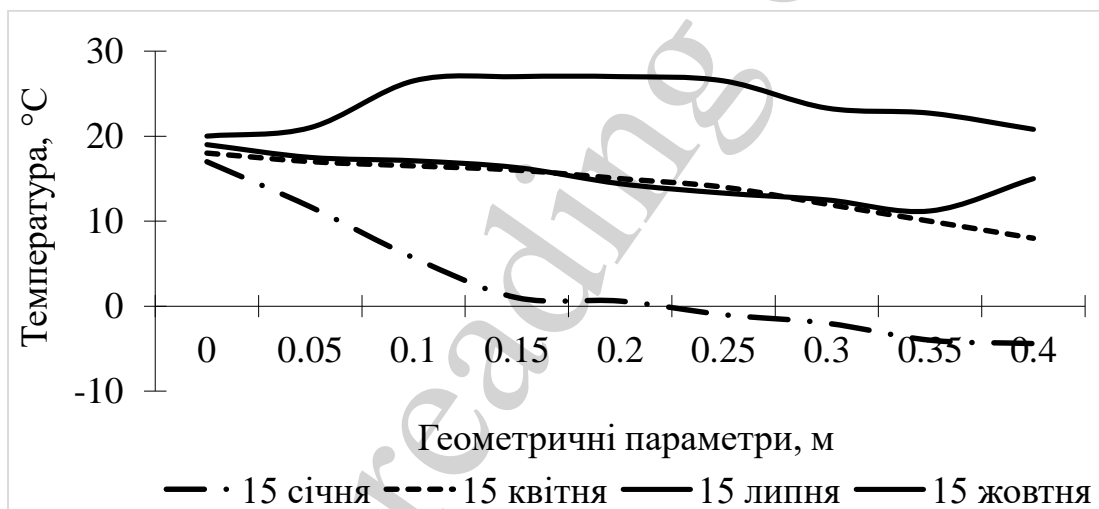


Рис. 9. Розподіл температур в базовому огороженні з системою „цегляний прошарок – енергоактивне огороження” південної орієнтації відносно доби, що відповідає середині кожного сезону року на 24 годину доби

## 6. Обговорення результатів дослідження щодо особливостей використання енергоактивних огорожень в перехідний період року

Найбільший вплив (рис. 6–9) енергоактивного огороження проявляється в перехідні періоди (весна, осінь). В ці періоди без додаткового джерела енергії, який розташовано в приміщенні, стабілізується температура будівельної конструкції протягом доби. При цьому температура о 12 годині вище температури о 18 годині. Мінімальні температури припадають на темний період доби, але це зниження весною та осінню відбувається повільно. За даними, представленими на рис. 6–9, можливо чітко окреслити теплосприймання зовнішніх прошарків будівельної конструкції з енергоактивним огороженням ( $\partial T/\partial x > 0$ ) весною, літом та осінню. Використання таких даних дозволяє прогнозувати та регулю-

вати теплотехнічні особливості базових огорожень споруди. Це дозволить регулювати тепло. Визначено, що для внутрішніх прошарків будівельної конструкції з енергоактивним огороженням характерна теплова стабільність протягом доби, що представлено на рис. 6–9, що позитивно відображується на експлуатаційних властивостях. У цьому випадку різниця температур в приміщенні та внутрішня поверхня стін комфортно коливається в рамках 7 градусів.

Згідно розрахункам, у разі цегляного огороження тепловтрати через таку конструкцію в основному проходить в період з жовтня по квітень (це співпадає з опалюваним сезоном). За наявності енергоактивного огороження в квітні та жовтні швидкість тепловтрат суттєво зменшується. В певні періоди теплові надходження можуть перевищувати тепловтрати і застосовуватися для накопичення. Відповідно до розрахунків, за наявності енергоактивного огороження теплові втрати знижуються 2–2,5 рази.

Теплому періоду року властиве накопичення тепла в будівельній конструкції. За наявності енергоактивного огороження його визначення доцільно за різницею між  $e(t, \delta)$  та  $e(t, 0)$ . В теплий період року тепловий потік в приміщення сприймається системою енергозабезпечення та направляється на гаряче водозабезпечення та опалення.

В результаті дослідження окреслено, що застосування енергоактивних огорожень в системах енергозабезпечення обмежується фізико-технічними, економічними та іншими чинниками. Ефективність використання систем енергозабезпечення з енергоактивними огороженнями повинно розглядатись відносно кожного об'єкту окремо.

Недоліком проведеного дослідження є складність експериментальної перевірки отриманих результатів.

Подальше вдосконалення систем енергозабезпечення можливе за рахунок вдосконалення конструкцій енергоактивних огорожень та елементів інтегрування їх до споруд.

## **7. Висновки**

1. Розроблена математична модель для розрахунків теплових режимів роботи запропонованої конструкції енергоактивного огороження якісно показує поліпшення температурного режиму будівель та кількісно дозволяє обчислити це поліпшення, особливо для перехідних (весна-осінь) періодів року. Попередні розрахунки показують, що пасивна термомодернізація споруди дозволить зменшити енерговитрати в холодну пору року в середньому в 1,5 рази. У той самий час, термомодернізація з використанням енергоактивного огороження дозволяє, в середньому за холодний період року, зменшити енерговитрати в 3,5 рази.

У теплий період року використання інноваційної системи енергозабезпечення з енергоактивними огорожами дозволяє в 3 рази зменшити навантаження на систему кондиціонування. Додаткову енергію, отриману від поновлюваних джерел, можливо використовувати на заміщення енерговитрат на гаряче водопостачання. Надлишок енергії використовується для накопичення в сезонному тепловому акумуляторі.

2. Отримані в роботі результати по дослідженню дозволяють якісно запропонувати в майбутньому цілий ряд нових конструкцій енергоактивних огорожень. Всі вони мають загальну рису – вони є багат шаровими об'єктами та мають можливість регульовано перерозподіляти теплові потоки, що веде до значної економії енергоресурсів.

Задачею енергоактивного огороження є мінімізація теплових втрат з одночасним генеруванням в систему додаткової теплоти, яка отримується завдяки перетворенню енергії сонячного випромінювання. Такий результат досягається завдяки спеціально підібраним за теплотехнічними властивостями багат шаровим конструкціям енергоактивного огороження. Це такі прошарки, як силові елементи, теплоізоляція, енергосприймальні/енергоперетворюючі елементи, декоративно захисні елементи.

3. Досліджені якісні та кількісні показники роботи енергоактивних, багат шарових огорожень дозволяють розробити методологію системного наукового регулювання технічних заходів систем кліматизації та енергозабезпечення в спорудах різного призначення. Теплоізоляційні властивості енергоактивного огороження сприяють захисту від конденсату, регулюють рівень паро- та повітряпроникності та ін. Регулюванню рівня надходження теплового потоку сприяє можливість енергоактивного огороження регулювати термічний опір елементів базової конструкції. Такий комплекс фізико-технічних позитивних рис конструкції енергоактивного огороження сприяє збереженню температурного балансу об'єкта в період перехідних періодів року. Це дозволяє економити енергетичні ресурси на обслуговування системи опалення.

### Література

1. Mohammed, A. H., Taşçi, N., Nassani, D. E., Hussein, A. K. (2017). Finite element analysis and optimization of bonded post-tensioned concrete slabs. *Cogent Engineering*, 4 (1), 1341288. doi: <http://doi.org/10.1080/23311916.2017.1341288>
2. Габрінець, В. О., Накашидзе, Л. В., Сокол, Г. І., Марченко, О. Л., Гільорме, Т. В. (2016). Формування схемних рішень системи кліматизації споруд в робочому середовищі альтернативних джерел енергії. Дніпропетровськ: ДНУ імені Олеса Гончара, ТОВ „АКЦЕНТ ПП”, 152.
3. Габрінець, В. О., Накашидзе, Л. В., Марков, В. Л., Митрохов, С. О., Зарівняк, Г. І. (2010). Особливості побудови енергоактивних огорожень у складі систем енергозабезпечення на основі ВДЕ. *Відновлювана енергетика*, 3, 31–34.
4. Karabegović, I., Doleček, V. (2017). Development and Implementation of Renewable Energy Sources in the World and European Union. *Contemporary materials*, 2 (6), 130–148. Available at: <http://doisrpska.nub.rs/index.php/conterporarymaterials3-1/article/view/4070>
5. Aldwaik, M., Adeli, H. (2016). Cost optimization of reinforced concrete flat slabs of arbitrary configuration in irregular highrise building structures. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 54 (1), 151–164. doi: <http://doi.org/10.1007/s00158-016-1483-5>

6. Hauser, B. R., Wang, B. P. (2018). Optimal design of a parallel beam system with elastic supports to minimize flexural response to harmonic loading using a combined optimization algorithm. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 58 (4), 1453–1465. doi: <http://doi.org/10.1007/s00158-018-1973-8>
7. Nakashydze, L., Hilorme, T., Nakashydze, I. (2020). Substantiating the criteria of choosing project solutions for climate control systems based on renewable energy sources. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (3 (105)), 42–50. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.201527>
8. Гертис, К. (2007). Здания XXI века – здание с нулевым потреблением энергии. *Энергосбережение*, 3, 36–47.
9. Carbonell, D., Haller, M. Y., Philippen, D., Frank, E. (2014). Simulations of Combined Solar Thermal and Heat Pump Systems for Domestic Hot Water and Space Heating. *Energy Procedia*, 48, 524–534. doi: <http://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.02.062>
10. Oswald, D., Wichtler, A., König, N., Töpfer, K. P. (2001). Untersuchungen an einem hybriden Heizsystem im Einfamilienhaus Zaberfeld. *Bauphysik*, 23 (3), 156–163. doi: <http://doi.org/10.1002/bapi.200100860>
11. Xu, X., Wei, Z., Ji, Q., Wang, C., Gao, G. (2019). Global renewable energy development: Influencing factors, trend predictions and countermeasures. *Resources Policy*, 63, 101470. doi: <http://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.101470>
12. Ghimire, L. P., Kim, Y. (2018). An analysis on barriers to renewable energy development in the context of Nepal using AHP. *Renewable Energy*, 129, 446–456. doi: <http://doi.org/10.1016/j.renene.2018.06.011>
13. Фокин, В. М., Бойков, В. М., Видин, Ю. В. (2005). Основы энергосбережения в вопросах теплообмена. Москва: «Издательство Машиностроение-1», 192.
14. Богословский, В. Н., Сканави, А. Н. (1991). Отопление. Москва: Стройиздат, 736.
15. Басок, Б. И., Накорчевский, А. И. (2016). Теплофизика влияния солнечного излучения на здания. Киев: Наукова думка, 426.
16. Фокин, К. Ф. (2006). Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. Москва: АВОК-ПРЕСС, 258.
- Накашидзе, Л. В., Шевченко, М. В., Габрінець, В. О. (2016). Пат. № 109070 UA. Енергоактивне огородження МПК: F24G 2/50, E04B 1/76. № u201601390. опубл. 01.08.2016; заявл. 16.02.2016; бюл. № 15.