

БУДІВНИЦТВО<https://doi.org/10.31649/1997-9266-2025-179-2-23-31>

УДК 644.1:551.58

Ю. Л. Коваленко²
А. П. Полив'яничук¹
В. А. Маляренко²
Є. Г. Пономаренко²

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ ОЗДОБЛЕННЯМ ЗОВНІШНІХ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ТЕПЛОПОГЛИНАЛЬНИМ ПОКРИТТЯМ

¹Вінницький національний технічний університет;²Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова

Досліджено ефективність технологій застосування сонячної радіації для підвищення енергоефективності будівель з урахуванням кліматичних умов. На основі аналізу літературних джерел встановлено, що проблема енергозбереження у будівельному секторі є актуальною, а перспективним напрямком її вирішення є застосування відновлюваних джерел енергії, насамперед енергії сонячної радіації. Запропоновано систему, яка сезонно адаптується до потреб будівлі та не потребує вартісного високотехнологічного обладнання і технічного обслуговування. Для оздоблення стін будівель, які не мають достатньої теплоізоляції та зорієнтовані на південь, пропонується застосовувати фарбу з високим значенням коефіцієнта поглинання сонячної радіації. Для запобігання надходження надлишкового тепла через стіну в літній період запропоновано використовувати вертикальне озеленення з листопадних ліан. Проведено експериментальні дослідження впливу зовнішнього покриття стін будівель на температуру зовнішнього боку стіни. Встановлено, що у кліматичних умовах Харківської області України, у зимові дні температура зовнішнього боку ділянки стіни з червоної керамічної цегли, орієнтованої на південь, в окремі періоди може перевищувати температуру зовнішнього повітря на 19°C за умови безхмарної погоди і слабого вітру.

Розроблено алгоритм розрахунку зменшення втрат тепла з приміщення протягом опалювального сезону в результаті застосування покриття з високим коефіцієнтом поглинання сонячної енергії та проведено його апробацію. Виконано оцінку скорочення енергоспоживання протягом опалювального сезону в умовах кліматичних характеристик території України. Встановлено, що протягом опалювального сезону скорочення витрат тепла через стіну кімнати площею 15 м² в умовах кліматичних характеристик території розташування об'єкта досліджень, у разі застосування покриття з високим коефіцієнтом поглинання сонячної радіації замість «охолоджувального покриття», досягає 142 кВт·год.

Ключові слова: енергоефективність будівель, сонячна радіація, теплопередача, коефіцієнт поглинання, вертикальне озеленення, кліматичні умови, теплові втрати, пасивні технології.

Вступ

У країнах, розташованих у зоні помірного клімату, найбільша кількість виробленої енергії витрачається на опалення приміщень протягом опалювального сезону. Значна частина енергії, також, витрачається на охолодження приміщень протягом літньої спекотної погоди.

На потреби теплопостачання сьогодні в світі витрачається близько 25...30 % від усього органічного палива. В Україні на потреби опалення комунального житлового фонду щорічно використовується приблизно до 200 (кВт·год)/м² опалювальної площі [1].

Це свідчить про надмірні витрати тепла, які суттєво перевищують нормативні показники для нової забудови.

Одним з перспективних напрямків розв'язання цієї проблеми є використання відновлюваних джерел, насамперед сонячної енергії.

Викладення основного матеріалу

Швидка урбанізація спонукає дослідників до пошуку інноваційних енергоощадних рішень [2].

Енергоощадність у цій ситуації пов'язана з використанням відновлюваних та альтернативних джерел енергії, насамперед сонячної енергії, зручної для отримання низькопотенційного тепла.

Для використання сонячної енергії високу ефективність забезпечує застосування системи фотоелектричних установок на дахах, насамперед в умовах клімату низьких широт [3].

Для досягнення мети повноцінного енергозбереження важлива ефективна система підігріву води. Найпростішим і найдешевшим сонячним водонагрівачем є плоский сонячний колектор [4].

Низка результатів досліджень вказує на те, що в місті можна створити повністю автономний будинок, який буде забезпечуватися електрикою за допомогою сонячної та вітрової енергії. Така система складається з вітрогенератора, сонячних модулів, контролерів заряду, інверторів та акумуляторів [5].

Пропонується застосування інтегрованих фотоелектрично-теплових систем, які мають значно нижчу вартість ніж звичайні ринкові рішення [6].

Однак впровадження високотехнологічних систем використання сонячної та вітрової енергії обмежується необхідністю суттєвих капіталовкладень і високою щільністю міської забудови [7].

Для скорочення витрат енергії на охолодження під час спекотної погоди і забезпечення теплового комфорту, широкого застосування набуло використання пасивного охолодження будівель, яке спрямовано на запобігання надходжень надлишкового тепла [8]—[10].

Для цього використовують «охолоджувальні покриття», які наносять на зовнішні огорожувальні конструкції будівель.

Сучасні холодні покриття можуть досягти коефіцієнта сонячного відбиття 0,9...0,92 [11], [12].

За різними оцінками «охолоджувальні покриття» зменшують споживання енергії на кондиціонування повітря приблизно на 9 % [13], а піковий тепловий потік стелі на 13...21 % [14].

З іншого боку, впроваджуються технології використання природного освітлення та тепла для обігріву приміщень, що називається пасивним сонячним опаленням, і є результатом проникнення або поглинання сонячної радіації в будівлі. Це зменшує потребу в штучному освітленні та опаленні, сприяючи економії електроенергії.

Будівлі варто проектувати так, щоб сонячного світла взимку потрапляло якомога більше та зберігалось у вигляді тепла завдяки теплоізоляції. Основним критерієм під час вибору території для подальшого проектування енергоефективних екологічних поселень став рівень інсоляції, тобто кількість сонячного випромінювання на квадратний метр поверхні [15].

Для скорочення витрат енергії на охолодження в період спекотної погоди застосовують технологію регулювання затемнення складної системи розумних вікон, та інші дослідницькі пропозиції щодо використання елементів захисту від сонця в житлових будинках у містах з тропічним кліматом [16]. Для ефективного зниження падаючої (прямої і розсіяної) сонячної енергії рекомендується застосовувати дерева, чагарники, ліани, а також дернину.

Для зменшення надходження надмірного тепла у приміщення у спекотну погоду застосовують матеріали з низьким коефіцієнтом поглинання сонячної енергії. І навпаки, для збільшення надходження тепла у приміщення у холодну погоду застосовують матеріали з високим коефіцієнтом поглинання сонячної енергії.

Для покращення поглинання сонячного випромінювання розроблено низку селективних кольорових покриттів для застосування в низько- та середньотемпературному діапазоні [17], [18].

Окремі покриття забезпечують поглинання до 97,4 % падаючої сонячної енергії [4].

Для кліматичних умов, включно з середземноморськими, вологими континентальними, субтропічними посушливими, пустельними, в результаті використання відбивного покриття, втрата тепла на опалення (0,2...17 кВт·год/м² рік) була менш важливою ніж зниження навантаження на охолодження (9...48 кВт·год/м² рік) [11].

З аналізу джерел інформації, можна зробити такі висновки. Проблема енергозбереження у будівельному секторі є актуальною. Перспективним напрямком є застосування відновлюваних джерел енергії, насамперед енергії сонячної радіації. «Пасивні» технології застосування енергії сонячної радіації не потребують вартісного високотехнологічного обладнання. До них належить застосу-

вання регулювання поглинальної здатності зовнішніх огорожувальних конструкцій. Застосування «охолоджувального покриття» в зонах спекотного клімату дозволяє зменшити загальні витрати енергії у будівельному секторі шляхом зменшення витрат на охолодження. Вважається, що в результаті використання відбивного покриття, втрата тепла опалення менша ніж зниження навантаження на охолодження. Відомі покриття, які забезпечують поглинання від 8 % до 97,4 % падаючої сонячної енергії.

Авторами цієї статті запропоновано систему, яка сезонно адаптується до потреб будівлі, не потребує дорогого високотехнологічного обладнання і технічного обслуговування.

Пропонується використовувати для покриття стін будівель, які не мають достатньої теплоізоляції та зорієнтовані на південь, фарби, які характеризуються високим значенням коефіцієнта поглинання сонячної радіації. Це забезпечить вищу температуру зовнішньої поверхні стіни та, відповідно, менші втрати тепла через стіну протягом опалювального сезону.

Для запобігання надходження надлишкового тепла через стіну в літній період, пропонується використовувати вертикальне озеленення з листопадних ліан, які у вегетаційний сезон вкриті листям, що запобігає надходженню надлишкового тепла від поглинання сонячної радіації.

Метою роботи є оцінка ефективності застосування покриття стін матеріалами з високим значенням коефіцієнта поглинання сонячної радіації для зменшення втрат тепла через стіну протягом опалювального сезону.

З огляду на це, завданнями досліджень визначено:

- провести експериментальні дослідження впливу зовнішнього покриття стін будівель на температуру зовнішнього боку стіни;
- розробити алгоритм розрахунку основних параметрів цього заходу і виконати його апробацію;
- оцінити скорочення енергоспоживання протягом опалювального сезону в умовах кліматичних характеристик території України.

Проведення експериментальних досліджень

Об'єктом досліджень вибрано ділянку стіни, орієнтованої на південь, з червоної керамічної цегли, у кліматичних умовах Харківської області України.

Частину стіни вкрито світловідбивним покриттям з коефіцієнтом поглинання сонячної радіації, орієнтовно $\rho = 0,2$. Площа досліджуваної частини стіни $F = 15 \text{ м}^2$.

Стіна виготовлена з керамічної цегли. Товщина цегляної частини стіни 0,38 м. Коефіцієнт теплопровідності цегли $\lambda = 0,47 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. Коефіцієнт поглинання сонячної радіації, орієнтовно, $\rho = 0,7$.

Внутрішня сторона стіни оштукатурена цементно-піщаним розчином товщиною 0,02 м. Коефіцієнт теплопровідності шару штукатурки $\lambda = 0,58 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$.

Температуру зовнішньої поверхні стіни виміряли пірметром FLUS IR-820. Для вимірювання швидкості вітру і температури повітря застосовували анемометр лабораторний НТ-81.

Експериментальні дослідження проводилися у безхмарні дні в період лютий-березень 2024 року (рис. 1).

Фрагмент результатів експериментальних досліджень за 28.02.2024 подано у табл. 1.

Таблиця 1

Результати експериментальних досліджень

Час доби	Температура зовнішнього боку стіни t_2 , °C		Температура зовнішнього повітря t_{a2} , °C	Швидкість вітру W , м/с
	червоної керамічної цегли	світловідбивне покриття		
9 ⁰⁰	20	7	2	1
10 ⁰⁰	29	10	3	1
11 ⁰⁰	29	12	4	2
12 ⁰⁰	26	11	5	2
13 ⁰⁰	28	14	6	2

Час доби	Температура зовнішнього боку стіни t_{c2} , °C		Температура зовнішнього повітря t_{a2} , °C	Швидкість вітру W , м/с
	червоної керамічної цегли	світловідбивне покриття		
14 ⁰⁰	26	12	7	2
15 ⁰⁰	20	10	7	2
16 ⁰⁰	15	9	8	4

Аналізуючи отримані результати, можна підсумувати, що застосування світловідбивного покриття зменшує температуру зовнішньої поверхні стіни і підвищує втрати тепла під час опалювального сезону.

В кліматичних умовах Харківської області України, в зимові дні температура зовнішньої сторони стіни з червоної керамічної цегли, орієнтованої на південь, в окремі періоди може перевищувати температуру зовнішнього повітря на 19 °C за умови безхмарної погоди і слабкого вітру.

Розробка алгоритму розрахунку зменшення втрат тепла з приміщення протягом опалювального сезону в результаті застосування покриття з високим коефіцієнтом поглинання сонячної енергії

В період холодної погоди шляхом теплопередачі через стінку від теплого повітря всередині приміщення до холодного зовнішнього боку стіни з будинку втрачається тепло q_{c1} , Вт/м².

$$q_{c1} = \frac{t_{c2} - t_{a1}}{\sum \left(\frac{h_i}{\lambda_i} \right) + \frac{1}{\alpha_1}}, \quad (1)$$

де t_{c2} , °C — температура зовнішньої поверхні стіни; t_{a1} , °C — температура повітря в будинку; h_i , м — товщина i -го шару огорожувальної конструкції; λ_i , Вт/м К — коефіцієнт теплопровідності i -го шару огорожувальної конструкції; i — кількість шарів огорожувальної конструкції; α_1 , Вт/м² К — коефіцієнт теплопередачі від стінки до повітря всередині приміщення.

Зовнішня поверхня стіни втрачає тепло за рахунок конвективного теплообміну з холодним зовнішнім повітрям q_{c2} , Вт/м².

До того ж, на зовнішню сторону стінки надходить потік тепла q_i , Вт/м², зумовлений інсоляцією.

Його кількість залежить від кліматичних умов території розташування об'єкта досліджень і коефіцієнта поглинання сонячної радіації зовнішньою поверхнею стіни.

Для забезпечення комфортної температури повітря в будинку t_{a1} , °C протягом холодного періоду року, у ньому працює система опалення, яка постачає необхідне тепло.

Для визначення температури зовнішньої поверхні стінки застосовано алгоритм розрахунку, аналогічний викладеному авторами у попередній публікації [19], де вона визначалася на підставі закону збереження енергії у формі теплового балансу в умовах квазістаціонарного процесу.

$$t_{c2} = \frac{\left(\frac{q_i}{\alpha_2} + t_{a2} \right) \left(\sum \left(\frac{h_i}{\lambda_i} \right) + \frac{1}{\alpha_1} \right) + \frac{t_{a1}}{\alpha_2}}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \left(\frac{h_i}{\lambda_i} \right) + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (2)$$

де q_i , Вт/м² — потік тепла на зовнішню сторону стінки, зумовлений інсоляцією; α_1 , Вт/м² К — коефіцієнт тепловіддачі від стінки до повітря всередині приміщення; α_2 , Вт/м² К — коефіцієнт тепловіддачі від стінки до зовнішнього повітря; t_{a2} , °C — температура зовнішнього повітря.

Втрати тепла через зазначену зовнішню огорожувальну конструкцію протягом опалювального сезону визначалися шляхом підсумовування щомісячних втрат тепла.

Щомісячні втрати тепла визначалися за використання нормативних показників середньої місячної температури зовнішнього повітря і середньої місячної суми сонячної радіації, що надходить на вертикальну поверхню, зорієнтовану на південь, за середніх умов хмарності [20].

У разі покриття усієї площі стіни суцільним шаром листопадної ліани, надходження тепла від сонячної радіації на стінку протягом вегетаційного сезону припиниться, відповідно застосування

світлопоглинального покриття не викличе збільшення надходження надлишкового тепла в приміщення.

На підставі досліджень [19] у подальших розрахунках будемо вважати, що середньодобова температура зовнішньої поверхні стіни, яка вкрита шаром вертикального озеленення, дорівнює середньодобовій температурі зовнішнього повітря.

Отримані в процесі досліджень значення температури зовнішньої поверхні стіни застосовано для апробації пропонованого алгоритму розрахунку.

Порівняння результатів, отриманих на об'єкті досліджень розрахунковим і експериментальним шляхом, показано на рис. 2.

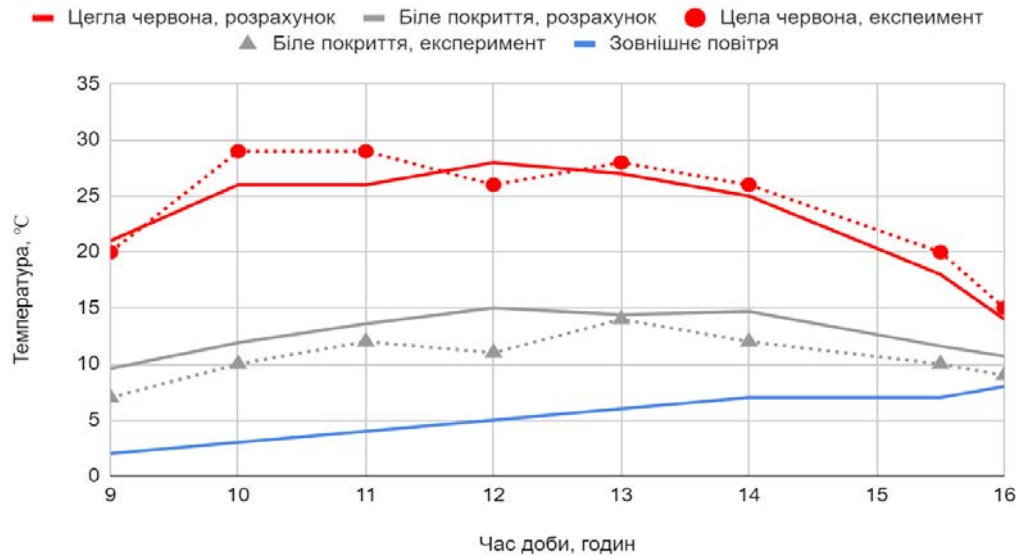


Рис. 2. Порівняння розрахункових і експериментальних значень температури зовнішньої поверхні стіни

В цілому результати, отримані із застосуванням запропонованого алгоритму розрахунку відповідають результатам експерименту.

Певні відхилення результатів зумовлено поривчастим характером вітру під час досліджень, що вплинуло на значення коефіцієнта тепловіддачі від стінки до зовнішнього повітря, а також, можливим завищеним довідниковим значенням коефіцієнта поглинання сонячної радіації білого покриття.

Аналіз отриманих результатів

Для проведення оцінки ефективності застосування покриття з високим коефіцієнтом поглинання сонячної радіації, вибрані такі вихідні дані:

- опалювальний сезон 2023—2024 рр тривав з 14 жовтня по 11 квітня.
- температура повітря у приміщенні 20 °С.

Зазначений раніше об'єкт досліджень знаходиться у кліматичній зоні м. Харків (Україна). Середні місячні кліматичні характеристики подано у табл. 2.

Таблиця 2

Кліматичні характеристики території об'єкта досліджень

Кліматичні характеристики	Місяці року						
	жовтень	листопад	грудень	січень	лютий	березень	квітень
Середня місячна температура зовнішнього повітря, °С	7,5	1	-3,7	-5,9	-5,1	0	9
Середньомісячні суми сонячної радіації, яка надходить на вертикальну поверхню, зорієнтовану на південь, за середніх умов хмарності, МДж/м ² міс.	233	119	99	119	181	259	251
Середня швидкість вітру, м/с	3,8	4,2	4,3	4,4	4,7	4,6	4,4

Оцінено осереднені значення втрат тепла через стінку об'єкта досліджень протягом опалювального сезону у разі застосування покриття з високим коефіцієнтом поглинання сонячної радіації $\rho = 0,9$, «охолоджувального покриття» $\rho = 0,1$ і червоної керамічної цегли $\rho = 0,7$.

Отримані значення середньої місячної температури зовнішньої сторони стінки у разі застосування покриття з високим коефіцієнтом поглинання сонячної радіації і «охладжувального покриття» у порівнянні з температурою зовнішнього повітря протягом опалювального сезону показано на рис. 3.

Перевищення середньої місячної температури зовнішнього боку стінки у разі застосування покриття з високим коефіцієнтом поглинання сонячної радіації, у порівнянні із застосуванням «охладжувального покриття», досягає 4 °С. Найвищі значення спостерігаються у період найбільшого відсотку безхмарних днів.

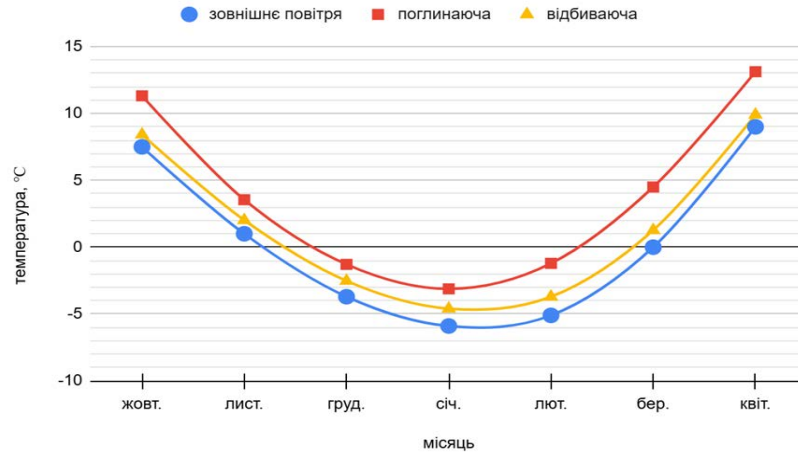


Рис. 3. Середня місячна температура зовнішньої сторони стінки у разі застосування покриття з високим коефіцієнтом поглинання сонячної радіації і «охладжувального покриття» у порівнянні з температурою зовнішнього повітря

Результати оцінювання потоку тепла з будинку через стінку від теплового повітря всередині приміщення до холодної зовнішньої поверхні стіни q_{c1} , Вт/м² показано на рис. 4.

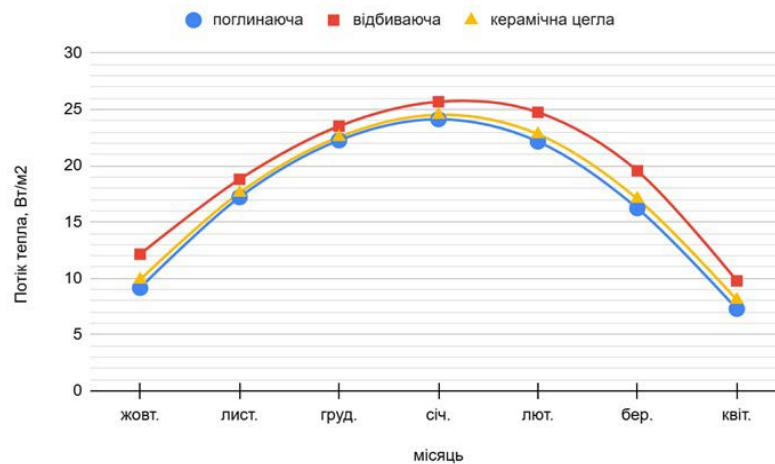


Рис. 4. Потік тепла з будинку через стінку від теплового повітря всередині приміщення до холодної зовнішньої поверхні стіни

Скорочення потоку тепла в результаті застосування покриття з високим коефіцієнтом поглинання сонячної радіації змінюється від 1,3 Вт/м² у грудні до 3,3 Вт/м² у березні.

Результати оцінки щомісячного питомого скорочення витрат тепла, кВт·год/м², отриманого в результаті застосування покриття з високим коефіцієнтом поглинання сонячної радіації і керамічної цегли, замість «охладжувального покриття», показано на рис. 5.

Застосування покриття з високим коефіцієнтом поглинання сонячної радіації замість «охладжувального покриття» щомісячно, протягом опалювального сезону, з кожного квадратного метра стіни об'єкта досліджень, дозволяє скоротити витрати енергії на опалення від 1 до 2,5 кВт·год.

Застосування покриття з високим коефіцієнтом поглинання сонячної радіації замість поверхні стіни з керамічної цегли дозволяє скоротити витрати енергії на опалення на 0,2...1,1 обсягу тепла у разі застосування покриття з високим коефіцієнтом поглинання сонячної радіації замість «охладжувального покриття».

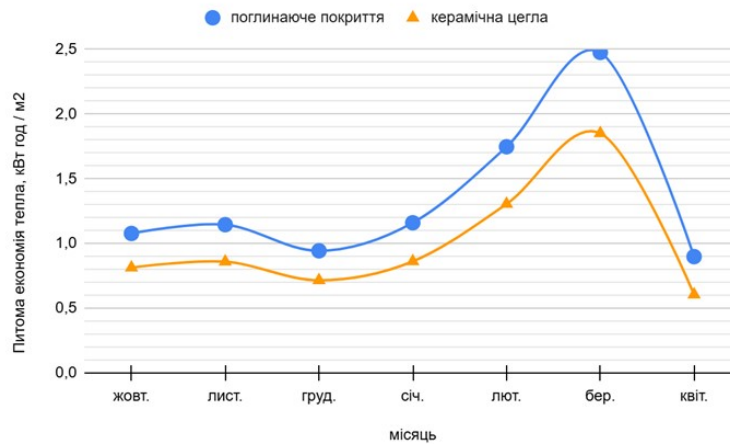


Рис. 5. Щомісячне питоме скорочення витрат тепла в результаті застосування покриття з високим коефіцієнтом поглинання сонячної радіації і керамічної цегли, замість «охолоджувального покриття»

Протягом опалювального сезону скорочення витрат тепла через стіну кімнати об'єкта досліджень площею 15 м^2 у разі застосування покриття з високим коефіцієнтом поглинання сонячної радіації замість «охолоджувального покриття» досягне $142 \text{ кВт}\cdot\text{год}$.

Висновки

Запропоновано систему, яка сезонно адаптується до потреб будівлі, і не потребує вартісного високотехнологічного обладнання і технічного обслуговування.

Для оздоблення стін будівель, які не мають достатньої теплоізоляції та зорієнтовані на південь, пропонується застосовувати фарбу, яка характеризується високим значенням коефіцієнта поглинання сонячної радіації. Для запобігання надходження надлишкового тепла через стіну в літній період, пропонується використовувати вертикальне озеленення з листопадних ліан, які у вегетаційний сезон вкриті листям, що запобігає надходженню надлишкового тепла ззовні.

Проведено експериментальні дослідження зміни температури зовнішньої поверхні стіни, розроблено алгоритм оцінювання впливу коефіцієнта поглинання сонячної радіації зовнішньою поверхнею стіни на скорочення витрат енергії для забезпечення теплового комфорту у будівлі, проведено його апробацію.

Оцінено скорочення енергоспоживання протягом опалювального сезону в кліматичних умовах території розташування об'єкта досліджень — м. Харків, Україна.

Встановлено, що протягом опалювального сезону скорочення витрат тепла через стіну кімнати площею 15 м^2 в кліматичних умовах території розташування об'єкта досліджень із застосуванням покриття будівлі з високим коефіцієнтом поглинання сонячної радіації замість «охолоджувального покриття», досягне $142 \text{ кВт}\cdot\text{год}$.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] М. П. Кузик, «Пасивна система сонячного теплопостачання.» *Науковий вісник НЛТУ України*, т. 29, № 5, с.111-114, 2019. <https://doi.org/10.15421/40290522>.
- [2] Y. Liu, et al., "Enhancing building energy efficiency using a random forest model: A hybrid prediction approach," *Energy Reports*, vol. 7, pp. 5003-5012, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.07.135>.
- [3] T. Kobashi, et al., "SolarEV City concept: building the next urban power and mobility systems," *Environmental Research Letters*, vol. 16, 2021. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abd430>.
- [4] T. Alam, et al., "Performance Augmentation of the Flat Plate Solar Thermal Collector: A Review," *Energies*, no. 14 (19), 2021. <https://doi.org/10.3390/en14196203>.
- [5] В. Basok, «Technical features of using a complex wind-solar power supply system of an energy-efficient house.» *Енергетика: економіка, технології, екологія*, наук. журнал, № 1, с. 33-38, 2021. <https://ela.kpi.ua/items/a53babac-a8f7-416c-b16e-9b36d6b75233>.
- [6] A. Peppas, et al., "Cross-Cutting Technologies for Developing Innovative BIPV Systems in the Framework of the PVadapt Project," *Proceedings*, no. 65 (1), 6, 2020. <https://doi.org/10.3390/proceedings2020065006>.
- [7] U. Dietrich, et al., "Zero-energy buildings in cities with different climates and urban densities: energy demand, renewable energy harvest on-site and off-site and total land use for different renewable technologies," *International Journal of Energy Production and Management*, vol. 6, iss. 4, pp. 335-346, 2021. <https://doi.org/10.2495%2FEQ-V6-N4-335-346>.

- [8] V. Tamhid, et al., “Thermal Concepts of Building Coatings to Create a Cool & Comfortable Indoor Environment for Composite Climate,” *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, vol. 07, iss. 12, pp. 786-797, 2020.
- [9] A. L. Pisello, et al., “State of the art on the development of cool coatings for buildings and cities,” *Solar Energy*, vol. 144, no. 1, pp. 660-680, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.01.068>.
- [10] F. Becherini, et al., “Characterization and thermal performance evaluation of infrared reflective coatings compatible with historic buildings,” *Building and Environment*, vol. 134, no. 15, pp. 35-46, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.02.034>.
- [11] A. Synnefa, et al., “Estimating the effect of using cool coatings on energy loads and thermal comfort in residential buildings in various climatic conditions,” *Energy and Buildings*, vol. 39, iss. 11, pp. 1167-1174, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.01.004>.
- [12] X. Nie, et al., “Energy and cost savings of cool coatings for multifamily buildings in U.S. climate zones,” *Advances in Applied Energy*, vol. 13, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.adapen.2023.100159>.
- [13] Y. Gao, et al., “Cool roofs in China: Policy review, building simulations, and proof-of-concept experiments,” *Energy Policy*, vol. 74, pp. 190-214, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.05.036>.
- [14] R. Levinson, et al., “Cooler tile-roofed buildings with near-infrared-reflective non-white coatings,” *Building and Environment*, vol. 42, iss. 7, pp. 2591-2605, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.06.005>.
- [15] О. Нижник, «Територіальне планування, розміщення та проєктування будівель в енергоефективних екологічних поселеннях на території харківської області,» *Містобудування та територіальне планування*, № 83, с. 219-228, 2023. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2023.83.219-228>.
- [16] S-K. Hong, et al., “Building Energy Savings by Developing Complex Smart Windows and Their Controllers,” *Applied Sciences*, no. 13 (17), 2023. <https://doi.org/10.3390/app13179647>.
- [17] E. I. Ghandourah, et al., “Performance assessment of a novel solar distiller with a double slope basin covered by coated wick with lanthanum cobalt oxide nanoparticles,” *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 32, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.101859>.
- [18] J. Wang, et al., “Light scattering materials for energy-related applications: Determination of absorption and scattering coefficients,” *Materia Today: Proceedings*, vol. 33, no. 6, pp. 2474-2480, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.01.339>.
- [19] Ю. Л. Коваленко, А. П. Полив’ячук, і В. С. Бекетов, «Дослідження ефективності використання природоорієнтованих технологій під час проведення енергомодернізації будівель,» *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, вип. 5, с. 33-39, 2024. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2024-176-5-33-39>.
- [20] ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 *Будівельна кліматологія*. Мінрегіонбуд України. Київ: Укрархбудінформ, 2011, 123 с.

Рекомендована кафедрою будівництва, міського господарства та архітектури ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 24.02.2025

Коваленко Юрій Леонідович — канд. техн. наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри інженерної екології міст, e-mail: kovalenko55@gmail.com .

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Харків;

Полив’ячук Андрій Павлович — д-р техн. наук, професор, професор кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, e-mail: armail@meta.ua .

Вінницький національний технічний університет, Вінниця;

Малярєнко Віталій Андрійович — д-р техн. наук, професор, професор кафедри систем електропостачання та електроспоживання міст, e-mail: vamalyarenko@gmail.com ;

Пономаренко Євгеній Георгійович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри інженерної екології міст, e-mail: anep99@ukr.net .

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Харків

Yu. L. Kovalenko²
A. P. Polyvianchuk¹
V. A. Malyarenko²
Ye. H. Ponomarenko²

Enhancement of Energy Efficiency of Buildings by Finishing External Enclosing Structures with Heat-Absorbing Coatings

¹Vinnitsia National Technical University;

²O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv

The article investigates the effectiveness of solar radiation technologies for improving the energy efficiency of buildings, taking into account climatic conditions. Based on the analysis of literature sources, it is established that the problem of ener-

gy saving in the construction sector is relevant and promising direction for its solution is the use of renewable energy sources, primarily solar radiation energy. A system is proposed that seasonally adapts to the needs of the building and does not require expensive high-tech equipment and maintenance. To decorate the walls of buildings that do not have sufficient thermal insulation and are oriented to the south, it is proposed to use paint with a high value of the solar radiation absorption coefficient. To prevent excess heat entering through the wall in summer, it is proposed to use vertical landscaping made of deciduous vines. Experimental studies of the effect of the external coating of building walls on the temperature of the outer side of the wall were carried out. It was found that in the climatic conditions of the Kharkiv region of Ukraine, on winter days, the temperature of the outer side of a south-facing red ceramic brick wall section can exceed the outdoor temperature by 19 °C in some periods under the condition of cloudless weather and low winds. An algorithm for calculating the reduction of heat loss from a room during the heating season as a result of the use of a coating with a high solar energy absorption coefficient was developed and tested. An assessment of the reduction in energy consumption during the heating season under the climatic characteristics of the territory of Ukraine was performed. It was found that during the heating season, the reduction in heat loss through the wall of a 15 m² room under the climatic characteristics of the research object's location in case of using a coating with a high solar radiation absorption coefficient instead of a "cooling coating" reaches 142 kWh.

Keywords: energy efficiency of buildings, solar radiation, heat transfer, absorption coefficient, vertical greening, climatic conditions, heat losses, passive technologies.

Kovalenko Yuri L. — Cand. Sc. (Eng.), Senior Researcher, Associate Professor of the Chair of Urban Ecology Engineering, e-mail: kovalenkoy55@gmail.com ;

Polyvianchuk Andrii P. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Chair of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, e-mail: apmail@meta.ua ;

Malyarenko Vitalii A. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Chair of Power Supply Systems and Electricity Consumption in Cities, e-mail: vamalyarenko@gmail.com ;

Ponomarenko Yevhenii H. — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Chair of Urban Ecology, e-mail: anep99@ukr.net