

Ю. Л. Коваленко¹
А. П. Полив'янчук²
В. Є. Бекетов¹

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПРИРОДООРІЄНТОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ЕНЕРГОМОДЕРНІЗАЦІЇ БУДІВЕЛЬ

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

²Вінницький національний технічний університет

Розглянуто технології забезпечення комфортних умов у приміщеннях під час спекотної погоди та зменшення негативного впливу «хвиль тепла» на здоров'я населення. Встановлено, що найбільше розповсюджені технології забезпечення комфортних умов потребують застосування сучасного високотехнологічного обладнання, значних матеріальних ресурсів для придбання і монтажу обладнання, забезпечення його експлуатації. Запропоновано для зменшення надходження надлишкового тепла у спекотну погоду застосувати вертикальне озеленення з ліаноподібних рослин, які в теплий сезон року здатні вкрити стіни щільним шаром листя та захистити їх від впливу сонячної радіації. Передбачається оздоблення зовнішніх огорожувальних конструкцій будівель, які зорієнтовані на південь, схід та захід. Об'єктом досліджень вибрано будівлю з червоної керамічної цегли, розташовану на території м. Харків, частина стін якої щільно вкрито листопадною ліаною Кампсис (Campsis). Експериментальні дослідження проведено у безхмарні спекотні дні в період липень-серпень 2023 року. Визначалась температура зовнішньої поверхні стін різної орієнтації, із застосуванням вертикального озеленення і без.

Розроблено алгоритм розрахунку зменшення надходжень надлишкового тепла у приміщення протягом спекотної погоди завдяки застосуванню вертикального озеленення. Для визначення температури зовнішнього боку стіни застосовано рівняння збереження енергії у формі теплового балансу в умовах квазістаціонарного процесу. Порівняння результатів експериментальних досліджень і розрахунків підтверджує можливість використання цього алгоритму розрахунку. Підтверджено ефективність застосування вертикального озеленення на прикладі вибраного об'єкта досліджень. Надходження надлишкового тепла до кімнати будинку через стіну, площею 15 м², яка зорієнтована на південь, протягом «хвилі тепла» тривалістю 7 діб за кліматичними умовами м. Харків скоротилося на 19,7 кВт·год, або у 2,5 рази.

Ключові слова: вертикальне озеленення, витрати енергії, інсоляція, кліматичні умови, охолодження повітря, «хвиля тепла».

Вступ

Глобальні зміни клімату, насамперед підвищення глобальної температури на земній кулі становлять потенційну загрозу людству.

Найважливішим чинником змін клімату є спалювання органічного палива на об'єктах енергетики, наслідками чого є утворення та викиди парникових газів [1], [2].

Сучасні зміни клімату супроводжуються зростанням повторюваності та інтенсивності так званих «хвиль тепла». В майбутньому негативні наслідки зміни клімату будуть посилюватись [3], [4].

Для забезпечення комфортних умов та зменшення негативного впливу «хвиль тепла» на здоров'я населення масово використовуються системи охолодження повітря у приміщеннях. В свою чергу, ці системи витрачають багато енергії, що призводить до збільшення обсягів її виробництва і, відповідно, до збільшення викидів парникових газів.

Питанням контролю та регулювання параметрів мікроклімату у різних типах приміщень та скороченню витрат енергії на забезпечення комфортних умов останнім часом приділяється багато уваги.

Викладення основного матеріалу

Авторами [5] пропонується застосовувати інтелектуальні системи управління, які оцінюють параметри мікроклімату в приміщенні і автоматично вибирають режим роботи відповідних пристроїв, які забезпечують комфортні параметри мікроклімату з ефективним використанням енергоресурсів для цього. Ефект скорочення витрат енергії планують отримати шляхом автоматичного визначення, та забезпечення оптимальних значень температури, вологості, швидкості руху повітря.

В роботі [6] наведено результати розробки системи кондиціонування повітря з живленням від сонячної енергії. Це дає можливість забезпечити роботу систем охолодження повітря у приміщенні, використовуючи енергію відновлюваних джерел.

У низці робіт досліджено і розроблено технології підвищення ефективності роботи теплових насосів [7]—[9]. Найбільша економія теплової енергії досягається за комплексного підходу [10].

У багатьох країнах вже впродовж значного часу спрямовуються зусилля на проведення термомодернізації, метою якої є значне скорочення споживання енергії в будівлях [11]—[14].

Реалізація зазначених результатів досліджень потребує застосування сучасного високотехнологічного обладнання, значних матеріальних ресурсів для придбання і монтажу обладнання, забезпечення його експлуатації.

З огляду на це, виникає потреба в додатковому пошуку і розробці технологій, які б забезпечували скорочення витрат енергії і не потребували значних капіталовкладень.

Здавня у багатьох країнах застосовували вертикальне озеленення стін будинків. Але у сучасному світі ці технології поки не знайшли масового застосування. Експерти в Берліні оцінюють ймовірність впровадження озеленення фасаду в нинішніх умовах у 2 % [15]. Кілька експериментів проведено влітку на трьох фасадах будівель у центрі Берліна. Температура поверхні зовнішніх і внутрішніх стін будівлі знизилася на 15,5 К і 1,7 К відповідно. Аналіз ризику показує, що вже середнє зниження T_{air} у приміщенні на 0,8 К може зменшити кількість смертей, пов'язаних зі спекою [16].

Результати досліджень [17] показали можливість пом'якшення теплового впливу на пішоходів біля фасаду.

За результатами моделювання скорочення витрат енергії на охолодження приміщень під час спекотної погоди в умовах клімату м. Барселона (Іспанія) виявлено, що зелені фасади можуть скоротити споживання електроенергії для охолодження приблизно на 28 % [18].

Важливим є також те, що завдяки вертикальному озелененню можна приховати недоліки і підкреслити архітектурні особливості споруд [19].

Показниками успішного зростання ліани є зимостійкість, посухостійкість, стійкість до шкідників та хвороб, а також здатність до розмноження.

Виявлено, що найстійкішими є *Celastrus scandens* L., *Lonicera periclymenum* L., *L. brownii* (Reg.) Carr., *L. japonica* Thunb., *Menispermum canadense* L., *Schisandra chinensis* (Turcz.) Baill., *Wisteria sinensis* (Sims) Sweet [20].

Це дозволяє зробити висновок про наявність ресурсу скорочення витрат енергії на охолодження приміщень під час «хвилі терла» шляхом впровадження вертикального озеленення.

Метою роботи є оцінення ефективності природоорієнтованих технологій, які дозволяють скоротити витрати енергії на охолодження повітря у приміщеннях під час спекотної погоди, без використання високовартісного обладнання, з мінімальними експлуатаційними витратами, без проведення робіт з утеплення стіни.

З огляду на це, *завданнями досліджень* визначено:

- розробити алгоритм розрахунку скорочення надходження надлишкового тепла у приміщення під час спекотної погоди в результаті застосування вертикального озеленення, з урахуванням кліматичних умов та теплозахисних властивостей зовнішніх огорожувальних конструкцій;
- провести експериментальну перевірку розрахункових методів;
- виконати оцінку ефективності застосування вертикального озеленення з урахуванням кліматичних умов України під час «хвилі тепла».

Проведення експериментальних досліджень

Об'єктом досліджень вибрано будівлю з червоної керамічної цегли, розташовану на території м. Харків, частину стін якої щільно вкрито листопадною ліаною Кампсіс (*Campsis*).

Площа досліджуваної частини стіни $F = 15 \text{ м}^2$. Стіну зорієнтовано на південь.

Стіна виготовлена з керамічної цегли, однорідної, без теплопровідних включень, порожнистої, густиною 1400 кг/м^3 . Товщина цегляної частини стіни 0,38 м. Коефіцієнт теплопровідності цегли

$\lambda = 0,47$ Вт/(м·К). Коефіцієнт поглинання сонячної радіації, орієнтовно, $\rho = 0,7$.

Внутрішня сторона стіни оштукатурена цементно-піщаним розчином густиною $1\ 800$ кг/м³ товщиною $0,02$ м. Коефіцієнт теплопровідності шару штукатурки $\lambda = 0,58$ Вт/(м·К).

Для відведення надлишкового тепла з будівлі застосовано віконний кондиціонер. За результатом огляду ринку базових моделей віконних кондиціонерів, які застосовуються протягом останнього десятиріччя, коефіцієнт ефективності споживання енергії орієнтовно становить $3,0$ [21].

Температуру зовнішньої поверхні стіни виміряли пірметром FLUS IR-820. Для вимірювання швидкості вітру і температури зовнішнього повітря і повітря у будинку застосовували анемометр лабораторний НТ-81. Експериментальні дослідження проводилися у безхмарні спекотні дні в період липень-серпень 2023 року.

За результатами досліджень можна зробити такі висновки:

– застосування вертикального озеленення в кліматичних умовах міста Харків дозволяє суттєво знизити температуру зовнішньої поверхні стіни будинку та скоротити потік надлишкового тепла від нагрітої зовнішньої поверхні стіни в приміщення.

– різниця температури зовнішньої поверхні стіни, яка має вертикальне озеленення, і стіни, що його не має, досягає 15 °С.

Застосування вертикального озеленення дає можливість скоротити споживання енергії технічними системами охолодження повітря у ньому або забезпечує комфортніші умови перебування у приміщенні.

Розробка алгоритму розрахунку зменшення надходжень надлишкового тепла у приміщення протягом спекотної погоди в результаті застосування вертикального озеленення

В період спекотної погоди шляхом теплопередачі через стінку в будинок надходить потік тепла q_{c1} , Вт/м², зумовлений теплопередачею через стінку від теплого зовнішнього боку стіни t_{c2} , °С до прохолоднішого повітря всередині приміщення t_{a1} , °С.

Зовнішній бік стіни отримує тепло за рахунок конвективного теплообміну з теплим зовнішнім повітрям q_{c2} , Вт/м². До того ж, протягом дня на зовнішню сторону стінки надходить потік тепла q_i , Вт/м², зумовлений інсоляцією.

Для забезпечення комфортної температури повітря в будинку t_{a1} , °С протягом спекотної погоди, у ньому працює система охолодження повітря, яка відводить надлишкове тепло.

У разі застосування щільного вертикального озеленення, укриття усієї площі стіни суцільним шаром листопадної ліани Кампсіс (Campsis), надходження тепла від сонячної радіації на стінку припиниться, відповідно скоротиться надходження тепла в приміщення і витрати енергії на роботу системи охолодження.

У холодний сезон року листя на рослинах вертикального озеленення відсутнє і нічого не буде перешкоджає надходженню тепла від інсоляції у будинок.

Для визначення температури зовнішнього боку стінки скористуємось рівнянням збереження енергії у формі теплового балансу умовах квазістаціонарного процесу.

$$q_i + q_{c2} + q_{c1} = 0. \quad (1)$$

Потік тепла на зовнішню поверхню стінки q_i , Вт/м², зумовлений інсоляцією

$$q_i = I' \cdot \rho, \quad (2)$$

де ρ — коефіцієнт поглинання сонячної радіації матеріалом стінки; I' , Вт/м² — потік тепла від інсоляції, який залежить від інтенсивності радіації I , вертикального α і горизонтального β кута падіння сонячної радіації на стінку.

$$I' = \frac{I}{\sqrt{(1 + \tan^2(\alpha) + \cot^2(\beta))}}. \quad (3)$$

Потік тепла тепловіддачею від нагрітої зовнішньої поверхні стінки у зовнішній простір

$$q_{c2} = \frac{t_{c2} - t_{a2}}{1/a_2}, \quad (4)$$

де a_2 , Вт/м²·К — коефіцієнт тепловіддачі від стінки до зовнішнього повітря; t_{c2} — температура

зовнішньої поверхні стінки; t_{a2} — температура зовнішнього повітря.

Потік тепла від нагрітої зовнішньої поверхні стінки у внутрішній простір

$$q_{c1} = \frac{t_{c2} - t_{a1}}{\sum_1^n \left(\frac{h_i}{\lambda_i} \right) + \frac{1}{\alpha_1}}, \quad (5)$$

де α_1 , Вт/м²·К — коефіцієнт тепловіддачі від стінки до повітря всередині приміщення; i — кількість шарів огорожувальної конструкції; h_i , м — товщина i -го шару огорожувальної конструкції, відповідно, цегли і штукатурки; λ_i , Вт/м·К — коефіцієнт теплопровідності i -го шару огорожувальної конструкції; n — кількість шарів огорожувальної конструкції.

Застосовано розрахункові значення коефіцієнтів тепловіддачі внутрішньої α_1 та зовнішньої α_2 поверхонь огорожувальних конструкцій відповідно до документів [22]—[24].

Значення коефіцієнтів тепловіддачі від стінки до зовнішнього та внутрішнього повітря визначалися згідно з чинними нормативами будівельної кліматології.

Підставляємо (5)—(2) в (1) і отримуємо

$$q_i = \frac{t_{c2} - t_{a2}}{\frac{1}{\alpha_2}} = \frac{t_{c2} - t_{a1}}{\sum_1^n \left(\frac{h_i}{\lambda_i} \right) + \frac{1}{\alpha_1}}. \quad (6)$$

Користуючись (6), визначимо температуру зовнішнього боку стінки

$$t_{c2} = \frac{t_{c2} - t_{a2}}{\frac{1}{\alpha_2}} = \frac{\left(\frac{q_i}{\alpha_2} + t_{a2} \right) \cdot \left(\sum_1^n \left(\frac{h_i}{\lambda_i} \right) + \frac{1}{\alpha_1} \right) + \frac{t_{a1}}{\alpha_2}}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_1^n \left(\frac{h_i}{\lambda_i} \right) + \frac{1}{\alpha_2}}. \quad (7)$$

Користуючись значенням температури зовнішнього боку стінки, можна визначити надлишковий потік тепла у будинок в умовах інсоляції, за формулою (5).

Аналіз отриманих результатів

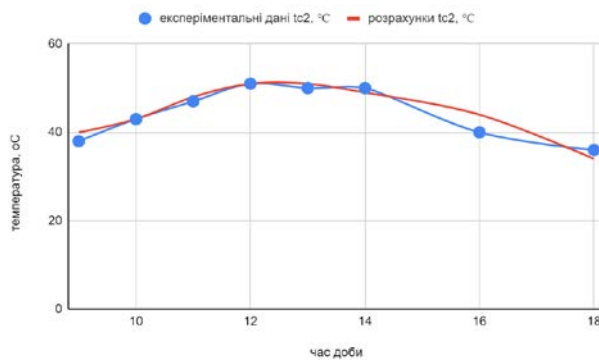


Рис. 1. Температура зовнішньої поверхні стіни

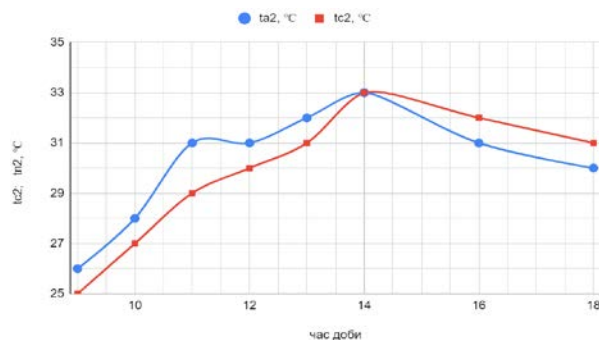


Рис. 2. Температура зовнішнього повітря і ділянки стіни, захищеної від інсоляції вертикальним озелененням

Використовуючи (2), (3) і (7), а також архівні дані кліматичних спостережень у регіоні щодо висоти сонця над горизонтом і інтенсивності потоку радіації, визначено температуру зовнішньої поверхні стіни для погодних умов, які спостерігалися під час проведення експериментальних досліджень. Порівняння результатів експериментальних досліджень і розрахунків показано на рис. 1.

Зовнішня поверхня стіни, зорієнтованої на південь під впливом інсоляції має температуру більшу, ніж 50 °C протягом 3 годин у випадку, коли температура зовнішнього повітря перевищує відмітку + 30 °C протягом 5 годин.

Різниця температури зовнішньої поверхні стінки за результатами розрахунків і експериментальних досліджень не перевищує 4°C.

Коливання між результатами розрахунків і експериментальних досліджень можна пояснити поривчастим характером вітру, швидкість якого впливає на значення коефіцієнта тепловіддачі зовнішнього боку стінки і, відповідно, на температуру зовнішньої поверхні стінки.

На рис. 2 показано добову зміну температури

зовнішнього повітря і ділянки стіни, захищеної від інсоляції вертикальним озелененням.

Як впливає з рис. 2, у першій половині дня температура стінки, вритої вертикальним озелененням, менше на 1—2 °С ніж температура зовнішнього повітря. У другій половині дня навпаки, температура стінки, вритої вертикальним озелененням, перевищує на 1—2 °С температуру зовнішнього повітря.

Це можна пояснити певною тепловою інерцією цегляної стіни. Також, це дає можливість у подальших дослідженнях вважати, що середньодобова температура зовнішньої поверхні стіни, яка вкрита шаром вертикального озеленення, дорівнює середньодобовій температурі зовнішнього повітря.

Результати розрахунку потоку тепла через південну стінку будинку в умовах інсоляції, та в умовах застосування вертикального озеленення, наведено на рис. 3.

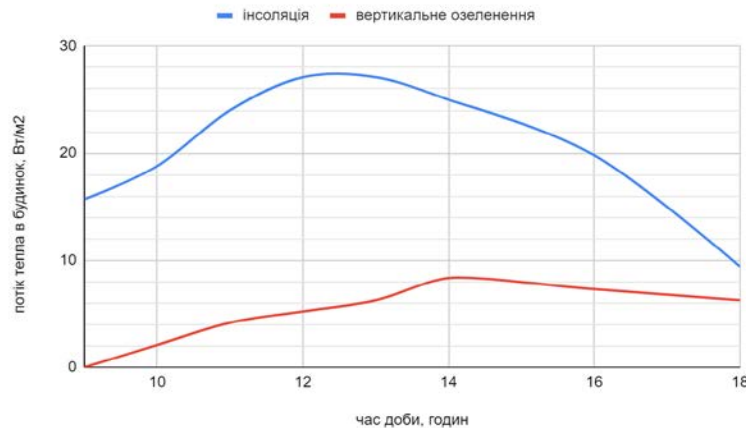


Рис. 3. Потік тепла через стінку в будинок під впливом інсоляції, та в умовах застосування вертикального озеленення

За результатами оцінки ефективності застосування вертикального озеленення південної стіни будинку встановлено:

- застосування вертикального озеленення дозволяє скоротити надходження надлишкового тепла до будинку через південну стіну, площею 15 м², протягом доби у безхмарний день в період липень-серпень за кліматичними умовами м. Харків скорочується на 1,9 кВт·год, або у 4,2 рази.
- добові витрати енергії на відведення надлишкового тепла, за використання поширених систем охолодження повітря у приміщенні, скоротилися на 0,63 кВт·год.

Висновки

Розроблено алгоритм оцінювання скорочення надходження надлишкового тепла у будівлю під час літньої спекотної погоди шляхом застосування вертикального озеленення. Враховано кліматичні умови території розміщення будівлі, шляхом застосування архівних даних кліматичних спостережень у регіоні щодо висоти сонця над горизонтом, інтенсивності потоку радіації та температури зовнішнього повітря, а також теплотехнічні властивості зовнішніх огорожувальних конструкцій.

Вибрано об'єкт досліджень — це стіна кімнати будівлі площею 15 м², яка зорієнтована на південь, її теплотехнічні властивості та кліматичні умови території розташування.

Для об'єкта досліджень оцінено ефективність використання вертикального озеленення щодо скорочення надходження у приміщення надлишкового тепла, в результаті чого встановлено:

- надходження надлишкового тепла до будинку через південну стіну, площею 15 м², протягом доби у безхмарний день в період липень-серпень за кліматичними умовами м. Харків скорочується на 1,9 кВт·год, або у 4,2 рази;
- добові витрати енергії на відведення надлишкового тепла, у разі застосування поширених систем охолодження повітря у приміщенні, скоротилися на 0,63 кВт·год.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. [Electronic resource]. Available: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/about/how-to-cite-this-report/>. Accessed: 10.12.2023.
- [2] *Global Warming of 1.5 °C. SPECIAL REPORT*. [Electronic resource]. Available: <https://www.ipcc.ch/sr15/>. Accessed 12.12.2023.

- [3] Amruta Nori-Sarma et al., “Advancing our Understanding of Heat Wave Criteria and Associated Health Impacts to Improve Heat Wave Alerts in Developing Country Settings”. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, no. 16(12), pp. 1-13, 2019. <https://doi.org/10.3390/ijerph16122089> .
- [4] Т. А. Сафранов, Г. П. Катеруша, О. В. Катеруша, і К. Яраї, «Особливості динаміки хвиль тепла в окремих містах України», *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна*, серія: Геологія. Географія. Екологія, № (55), с. 232-244, 2021. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-17> .
- [5] Ю. Човнюк, П. Чередніченко, і А. Москвітїна, «Моделювання та алгоритм розрахунку параметрів системи регулювання мікроклімату приміщення з елементами штучного інтелекту», *Містобудування та територіальне планування*, № (79), с. 446-462, 2022. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2022.79.446-462> .
- [6] О. А. Гокмен, і А. В. Трофименко, «Техніко-економічні аспекти економії палива при кондиціонуванні та теплозабезпеченні будівлі», *Вісник соціально-економічних досліджень: зб. наук. праць; Одеський національний економічний університет*, № 66 (2), с. 129-137, 2018.
- [7] Chiara Mancinelli, “Thermal energy storage as a way to improve transcritical CO₂ heat pump performance by means of heat recovery cycles,” *Energy Storage and Saving*, vol. 2, issue 3, pp. 532-539, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.enss.2023.06.003> .
- [8] Shuxue Xu, Jianhui Niu, and Guoyuan Ma, “Experimental investigation of an air source heat pump with multigroup heat pipe radiators,” *Solar Energy*, vol. 260, pp. 137-146, August. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.05.034> .
- [9] Shuo Ma et al., “Investigation on the thermal performance and economy of a solar assisted air source heat pump domestic hot water system,” *Applied Thermal Engineering*, vol. 232, September. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.121007> .
- [10] О. І. Кузнєцова, і І. С. Жукінська, «Оцінювання економії енергетичних ресурсів на опалення при проведенні термомодернізації житлового будинку», *Вісник КНУТД*, № 5 (90), с. 81-90, 2015.
- [11] М. С. Мальований, і А. Жичинська, «Мінімізація енерговитрат на опалення будинків шляхом термомодернізації (на прикладі навчальних корпусів)», *Екологічна безпека та збалансоване ресурсовикористання*, наук.-техн. журнал, № 2 (14) с. 135-140, 2016.
- [12] D. Jermyn, and R. Richman, “A process for developing deep energy retrofit strategies for single-family housing typologies: Three Toronto case studies,” *Energy and Buildings*, vol. 116, no. 15, pp. 522-534, 2016.
- [13] P. Rocha, M. Kaut, and A. S. Siddiqui, “Energy-efficient building retrofits: An assessment of regulatory proposals under uncertainty,” *Energy*, vol. 101, no. 15, pp. 278-287, 2016.
- [14] K. G. Droutsa, S. Kontoyiannidis, E. G. Dascalaki, and C. A. Balaras, “Mapping the energy performance of hellenic residential buildings from EPC (energy performance certificate),” *Energy*, vol. 98, no. 1, pp. 284-295, 2016.
- [15] Nora Spronde et al., “Urban climate and heat stress: how likely is the implementation of adaptation measures in mid-latitude cities? The case of façade greening analyzed with Bayesian networks,” *One Ecosystem*, 2016. <https://doi.org/10.3897/oneeco.1.e9280> .
- [16] Marie-Therese Hölscher, “Quantification of cooling effects and water demand of urban facade greenings,” *Technische Universität Berlin*, Berlin, Germany, 2018.
- [17] Jonathan Fox, “The effect of facade design on facade surface temperature and outdoor microclimate,” *Australian Graduate School of Urbanism. The University of New South Wales*, Australia, 2021.
- [18] Alberto Speroni, et al., “Experimental Assessment of the Reflection of Solar Radiation from Façades of Tall Buildings to the Pedestrian Level,” *Sustainability*, no. 14(10), pp. 5781, 2022. <https://doi.org/10.3390/su14105781> .
- [19] Л. І. Бойко, Ю. С. Юхименко, Н. М. Данильчук, і О. О. Шульга, «Інтродукція дерев'янистих ліан та перспективи їх використання в озелененні м. Кривий ріг», *Вісник Одеського національного університету. Біологія*, № 26 (48), с. 17-28, 2021. [https://doi.org/10.18524/2077-1746.2021.1\(48\).232852](https://doi.org/10.18524/2077-1746.2021.1(48).232852) .
- [20] Т. О. Воїко, О. І. Демєтєєва, and Y. S. Kotovska, «Оцінювання біолого-екологічних властивостей деревних ліан в умовах міста Херсон», *Науковий вісник НЛТУ України*, № 29 (5), с. 31-35, 2019. <https://doi.org/10.15421/40290506> .
- [21] Pradeep Bansal, “High efficiency novel window air conditioner,” *Applied Energy*, vol. 156, no. 15, pp. 311-320, October 2015. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.07.007> .
- [22] ДБН В.2.6-31:2021 *Теплова ізоляція будівель*. Чинний від 2022-09-01. Вид. Офіц. Київ: Мінрегіон України, 2022.
- [23] Г. С. Ратушняк, і К. В. Анохіна, *Будівельна теплофізика*, практикум. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2021. 51 с. https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/2021/Ratushnyak_2021_51.pdf .
- [24] І. А. Пономарчук, К. В. Колесник, *Опалення*, навч. посіб. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2017. 125 с. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2022/Ponomarchuk_2017_125.pdf .

Рекомендована кафедрою автомобілів та транспортного менеджменту ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 18.10.2024

Коваленко Юрій Леонідович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри інженерної екології міст, e-mail: atm.kafedra@gmail.com ;

Бекетов Володимир Єгорович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри інженерної екології міст, e-mail: atm.kafedra@gmail.com .

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

Полив'ячук Андрій Павлович — д-р техн. наук, професор, професор. кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, e-mail: armail@meta.ua .

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Yu. L. Kovalenko¹
A. P. Polyvyanchuk²
V. Ye. Beketov¹

Study of the Efficiency of Using Nature-Oriented Technologies in the Process of Energy Modernization of the Buildings

¹O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv;

²Vinnitsia National Technical University

The article considers technologies for ensuring comfortable indoor conditions during hot weather and reducing the negative impact of heat waves on human health. It is established that the most common technologies for ensuring comfortable conditions require the use of modern high-tech equipment, significant material resources for the purchase and installation of equipment, and ensuring its operation.

It is proposed to use vertical landscaping with vine-like plants to reduce the intake of excess heat in hot weather, which in the warm season can cover the walls with a dense layer of foliage and protect them from solar radiation.

*The exterior envelope of the buildings, which are oriented to the south, east, and west, is to be decorated. The object of research is a red ceramic brick building located in Kharkiv, part of the walls of which are densely covered with the deciduous vine *Campsis*.*

Experimental studies of the temperature of the outer surface of walls of different orientations, with and without vertical landscaping, were conducted on cloudless hot days in July-August 2023.

The algorithm has been developed for calculating the reduction of excess heat in a room during hot weather as a result of the use of vertical landscaping.

To determine the temperature of the outer side of the wall, the equation of energy conservation in the form of a heat balance under the conditions of a quasi-stationary process was applied.

Comparison of the results of experimental studies and calculations confirms the possibility of using this calculation algorithm. The effectiveness of the use of vertical greening is confirmed on the example of the selected research object.

Excessive heat entering a room in a house through a 15 m² wall facing south during a 7-day "heat wave" under the climatic conditions of Kharkiv decreased by 19.7 kWh, or 2.5 times.

Keywords: vertical gardening, energy consumption, insolation, climatic conditions, air cooling, "heat wave".

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

Polyvyanchuk Andrii P. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Chair of Automobile and Transport Management Department, e-mail: apmail@meta.ua ;

Beketov Volodymyr Ye. — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Chair of Urban Ecology, e-mail: atm.kafedra@gmail.com