

УДК 536.2:620.9:502

Оцінка заощадження енергії та непрямого зменшення викидів CO₂ вертикальним озелененням

Т. М. Ткаченко¹, В. О. Мілейковський², О. М. Гунченко³

¹д.т.н., проф. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, tkachenkoknuba@gmail.com, ORCID:0000-0003-2105-5951

²к.т.н., доц. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, v_mil@ukr.net
ORCID: 0000-0001-8543-1800

³к.т.н., доц. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, gunchenko.oksana@gmail.com
ORCID: 0000-0002-5769-2496

Анотація. У дослідженні розглянуто формування передумов сталого розвитку з урахуванням фактора безпеки. Завдяки впровадженню технологій «зеленого будівництва» створюються передумови для підвищення безпеки людини в умовах урбанізованого середовища як на етапі виробничого процесу (від виготовлення будівельних матеріалів до їхньої утилізації та під час виконання будівельних робіт) так і під час експлуатації вже збудованих об'єктів. Показано, що одним із дієвих способів підвищення комфорту й безпеки у будівельній галузі та у будь-якому урбанізованому середовищі є вертикальне озеленення будівель. Проведені в попередній роботі натурні дослідження «охолоджувального ефекту» вертикального озеленення будівель показали підвищений охолоджувальний ефект порівняно з горизонтальним озелененням. При штилі озеленення диким виноградом (*Parthenocissus*) значення «охолоджувального ефекту» становить 1,23 К. З урахуванням цього значення внесено поправки у формулу для визначення залежності охолоджувального ефекту від швидкості вітру. Розраховано заощадження енергії та непряме зменшення викидів CO₂ від охолоджувального ефекту вертикального озеленення для різних видів палива в теплий період року. Отримані результати показують доцільність використання вертикального озеленення для підвищення енергоефективності будівель та зменшення викиду парникових газів на теплогенераторах.

Ключові слова: сталий розвиток, безпека, зелена конструкція, зелене будівництво, вертикальне озеленення, енергоефективність, парникові гази.

Вступ. Одним з негативних факторів індустріальної концепції розвитку є створення передумов для формування нових типів ризику та форм його проявлення і впливу на людину, довкілля та матеріальні цінності. Нові форми ризиків стимулюють розробку відповідних стратегій захисту та вдосконалення інформаційної підтримки при впровадженні цих стратегій. Лавиноподібне зростання економічних, соціальних та екологічних викликів потребує переходу від постфакторного реагування до передбачення та контрфакторного застереження з розробкою уніфікованих інтегрованих систем управління та стандартів мінімальної безпеки.

При застосуванні такої стратегії управління реалізація ідентифікованих ризиків зведена до контрольованих рівнів, близьких до мінімуму, але не унеможливує виникнення нових ризиків у далекому майбутньому [1]. Теперішні покоління не знають пріоритетів їхніх нащадків, але повинні надати їм можливість скористатися нагодою вибору. Тому концепція сталого розвитку ґрунтується на вимогах підвищення рівня безпеки (рис. 1) у всіх сферах життя та діяльності людини, який є цементувальною базою для поєднання основних формувальних векторів стійкого розвитку. Перед сучасним ви-

робником стоїть задача виготовлення якісної продукції. При цьому слід забезпечити таку організацію виробництва, яка не шкодить природному середовищу та створює всі умови для збереження життя, здоров'я й працездатності людей які беруть участь у виготовленні продукції та можуть потрапити в зону впливу виробничих потужностей або використовують вироблену продукцію.

Загальна ідея концепції сталого розвитку полягає в необхідності досягти балансу між сучасними потребами людства і захистом інтересів майбутніх поколінь. Безумовно, що ця мета також потребує збереження безпечного та здорового довкілля як запоруки створення сприятливих умов для появи та розвитку наступних поколінь.

У 2015 році в Україні підписано указ про прийняття Стратегії сталого розвитку «Україна-2020» [2]. Метою є впровадження європейських стандартів життя та вихід України на провідні позиції у світі. Мета реалізації Стратегії здійснюється за чотирма векторами: розвитку, безпеки, відповідальності та гордості. Однією зі складових вектора розвитку (рис. 1) є програма енергоефективності, а вектора безпеки – програма збереження навколишнього природного середовища.



Рис. 1. Складові формування передумов сталого розвитку з урахуванням фактору безпеки

Реалізації Стратегії сталого розвитку також сприяє впровадження принципів соціальної відповідальності бізнесу за міжнародним стандартом SA 8000, та прийнятий нещодавно ISO 45001, який дає новий поштовх до удосконалення системи управління професійною безпекою та здоров'ям.

Зазначені стратегії управління у сучасних умовах не є обов'язковими до виконання та застосовуються на добровільному принципі впровадження. Однак, кожен відповідальний роботодавець розуміє, що реалізація цих принципів у виробництво є запорукою не тільки сталого розвитку суспільства, а і його економічного зростання в майбутньому.

Актуальність дослідження. Будівельна галузь є значним важелем розвитку економіки держави. Вона має можливості швидкого впровадження нових технологій. На сьогодні, ця галузь має перспективи ефективного перетворення з енергомісткої, екологічно небезпечної та економічно нестабільної в галузь з екологічно свідомим поглядом на виробництво, використання та утилізацію. Сьогодні в Україні широко використовують технології будівництва у яких матеріали для утеплення зовнішніх стін будівель дозволяють досить ефективно та швидко досягти показників енергоефективності бу-

дівлі, але не є достатньо екологічними.

Для промислових об'єктів гостро стоїть питання викидів небезпечних хімічних речовин і парникових газів у повітря та способи їхнього зменшення, нейтралізації їхнього впливу на людину та довкілля.

Для великих міст, де щільна забудова у житловому секторі стикається з наявністю промислових об'єктів з різним ступенем впливу на довкілля та підвищенням екологічно небезпечного транспортного навантаження, одним з шляхів сталого розвитку є впровадження технологій «зеленого будівництва».

«Зелене будівництво» – це стратегія, яка відповідає принципам сталого розвитку. Вона дозволяє наповнювати економіку фінансовими потоками завдяки створенню умов для майбутнього безпечного та комфортного існування людини, особливо в межах урбанізованого середовища під сильним техногенним впливом. Це вигідно державі, яка отримує прибуток через надходження податків від підприємств будівельної галузі. Власники будівельних компаній отримують більші прибутки від використання екологічно чистих матеріалів і дружніх до довкілля та людини технологій. Знижуються ризики отримання професійних захворювань робітниками цієї галузі через ви-

користання безпечних матеріалів. Кінцеві споживачі отримують значні переваги через більш безпечне повітряне середовище, зниження енергоспоживання завдяки «охолоджувальному ефекту» рослин у теплий період року та додатковій теплоізоляції. Таким чином, зелене будівництво доцільне для всіх, хто створює та буде прямо чи опосередковано користуватися збудованими об'єктами.

Надалі розглянемо перспективи підвищення енергоефективності будівель завдяки «охолоджувальному ефекту» рослин.

Останні дослідження та публікації. У національній доповіді «Цілі Сталого Розвитку: Україна» (2017 р.) [3] йдеться про 17 цілей, одинадцять з котрих орієнтована на підвищення безпеки урбанізованих територій. Однак, серед науковців лунають як оптимістичні та ґрунтовні погляди на проблематику [4] так і скептичні гасла, які стверджують що Україна не має концепції і Стратегії сталого розвитку [5].

Така палітра висловлювань обумовлена складністю проблеми поєднання трьох основних векторів впливу на сталість розвитку (рис. 1).

Підвищення енергоефективності формування мікроклімату будівель та зменшення викидів парникових газів на сьогодні є одним з головних завдань розвитку будівельної галузі, а використання для цього біотехнічних технологій має на відміну від інших методів лише позитивний вплив на навколишнє середовище.

Більшість енергоефективних рішень, серед яких теплоізоляція фасадів, модернізація інженерних систем, сонячна та вітрова енергетика, використовують матеріали і речовини, які важко розкладаються в навколишньому середовищі. Тому особливу увагу слід приділяти технологіям, які мають мінімальний негативний вплив на довкілля. Серед цих заходів слід виділити зелені конструкції, поєднані з живими рослинами. Вони є біотехнічним засобом, що створює лише позитивний вплив: поглинання діоксиду вуглецю, генерація кисню, підтримання та примноження біорізноманіття тощо. Енергоефективність будівлі в теплий період року підвищується за рахунок «охолоджувального ефекту» рослин.

Як показали авторські лабораторні дослідження [6] в аеродинамічній трубі (рис. 2), горизонтальне озеленення даху з райграсу пасовищного (*Lolium perenne*) дає охолоджувальний ефект на 0,6...1,35 К при штилі (середнє значення – 0,752 К) зі значним зростанням ефекту при збільшенні швидкості руху повітря v , м/с.

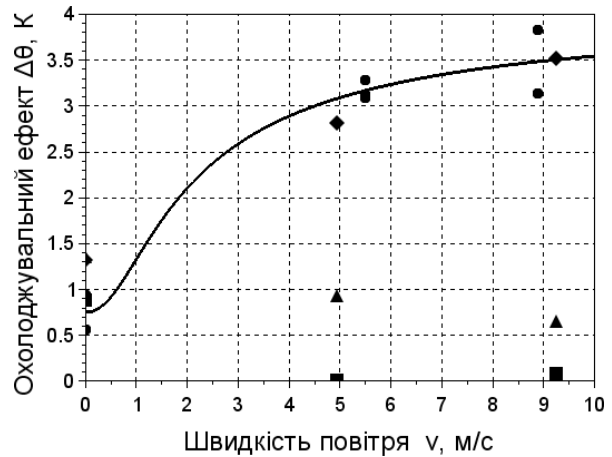


Рис. 2. Результати дослідження [7] охолоджувального ефекту райграсу пасовищного (*Lolium perenne*) в аеродинамічній трубі залежно від швидкості повітря: ● – висота трави 40 і 123 мм, різні точки; ▲ – висота трави 399 мм, навколо центру моделі; ■ – висота трави 399 мм, кут з навітряного боку; ◆ - висота трави 399 мм, кут з завітряного боку

Апроксимація отриманих значень дає формулу [7]:

$$\Delta\theta_{c.e.} = (0,508 \arctg(v) + 0,543) \arctg^2(v) + 0,752, \text{ К.} \quad (1)$$

Під охолоджувальним ефектом $\Delta\theta_{c.e.}$, К, розуміється зниження температури, К, безпосередньо під рослинами порівняно з температурою навколишнього середовища, К.

Проведені натурні дослідження охолоджувального ефекту вертикального озеленення диким виноградом (*Parthenocissus*) показали [8] більший охолоджувальний ефект – 1,1 ... 1,5 К (у середньому 1,23 К).

Це дозволяє на даному етапі внести поправки у формулу (1), а також визначити заощадження енергії на охолодження будівлі та непрямі зменшення викидів CO₂ (на джерелі теплоти).

Формулювання цілей статті. Метою роботи є коригування залежності «охолоджувального ефекту» вертикального озеленення будівель, визначення заощадження енергії від охолоджувального ефекту та непрямого зменшення викидів CO₂.

Основна частина. По-перше, скоригуємо формулу (1) для вертикального озеленення диким виноградом (*Parthenocissus*). При штилі охолоджувальний ефект зростає порівняно з горизонтальним озелененням райграсом пасовищним (*Lolium perenne*) на

$$1,23 - 0,752 = 0,478 \text{ К}$$

або в

$$1,23 / 0,752 = 1,64 \text{ рази.}$$

Якщо вважати приблизно постійним відношення охолоджувального ефекту, то при швидкості повітря 5 м/с формула (1) даватиме охолоджувальний ефект райграсу пасовищного 3,09 К, а для дикого винограду отримаємо охолоджувальний ефект $3,09 \cdot 1,64 = 5,06$ К. При швидкості 10 м/с матимемо $3,54 \cdot 1,64 = 5,80$ К. Такі великі значення охолоджувального ефекту мало ймовірні. Тому приймаємо на даному етапі приблизно постійну різницю охолоджувального ефекту. Тоді формула (1) набуде вигляду (рис. 3):

$$\Delta\theta_{c.e.} = (0,508 \operatorname{atan}(v) + 0,543) \operatorname{atan}^2(v) + 1,23, \text{ К.} \quad (2)$$

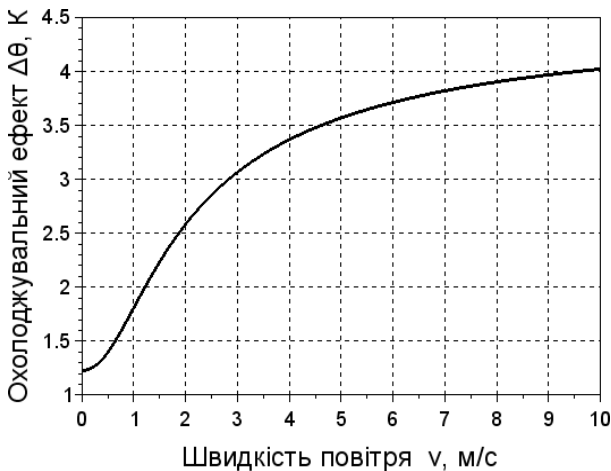


Рис. 3. Оцінка охолоджувального ефекту дикого винограду (*Parthenocissus*)

Оцінимо непряме зменшення викидів CO_2 вертикальним озелененням за рахунок «охолоджувального ефекту» в період охолодження аналогічно роботі [7] з використанням методики В. Н. Білоусова [9] для м. Києва. Непрямим названо [7] зменшення викидів через зменшення витрати палива на джерелі енергії завдяки підвищенню енергоефективності будівлі на відміну від прямого поглинання CO_2 рослинами завдяки фотосинтезу.

Термічний опір R , $m^2 K / \text{Вт}$ стін (без урахування озеленення) прийнято аналогічно роботі [7] від 0 до 10. Середній холодильний коефіцієнт холодильних машин у системах охолодження повітря будівлі прийнято $\epsilon = 4$. Частка електроенергії, що отримується при використанні палива, прийнято $\eta = 0,3$. Розрахунки виконані для [7]:

- вугілля з нижчою робочою теплою

згоряння $Q_i^f = 17,62$ МДж/кг та коефіцієнтом емісії CO_2 $k_c = 25,58$ [9];

- газу з нижчою робочою теплою згоряння $Q_i^f = 34,78$ МДж/кг та коефіцієнтом емісії CO_2 $k_c = 15,04$ [9].

Ступінь повного окислення вуглецю до CO_2 $k_{CO_2} = 3,67$ [9]. Теплий період року вважається таким, що триває в середньому $N = 120$ днів [7]. Швидкість вітру v , м/с та його повторюваність (без урахування шторму) n , % прийняті згідно з ДСТУ – Н Б В.1.1 – 27:2010 [10]. Також враховано шторм з повторюваністю n_0 , %.

Результати (табл. 1) при мінімальному термічному опорі стін [11] ($3,3 m^2 K / \text{Вт}$) показують суттєво більшу за райграс пасовищний (*Lolium perenne*) економію енергії та зменшення викиду CO_2 . Збільшення теплоізоляції (рис. 4, 5) зменшує вплив озеленення, однак, ефект залишається значущим, як і для райграсу пасовищного (*Lolium perenne*) [7] на відміну від даних [12].

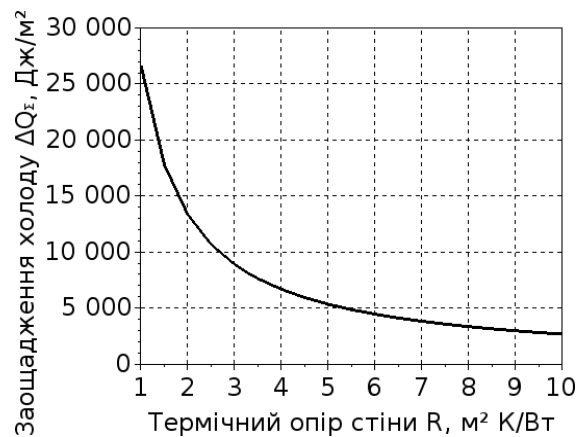


Рис. 4. Залежність заощадження холоду, Дж/м², через охолоджувальний ефект дикого винограду (*Parthenocissus*) від термічного опору стіни, м² К/Вт

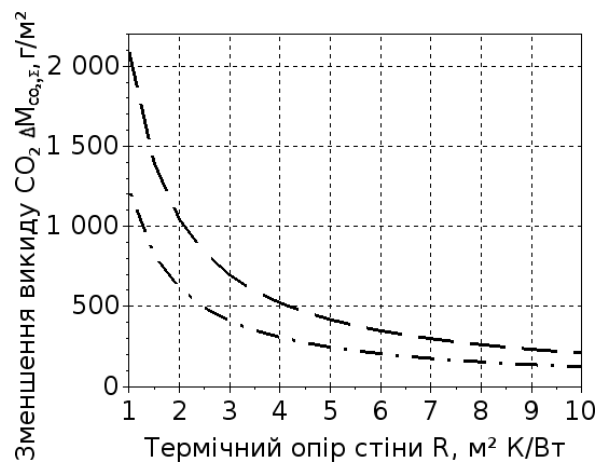


Рис. 5. Залежність заощадження холоду, Дж/м², через охолоджувальний ефект дикого винограду (*Parthenocissus*) від термічного опору стіни, м² К/Вт

Таким чином, вертикальне озеленення є доцільним і безпечним засобом підвищення енергоефективності будівель. Для озеленення першого-п'ятого поверхів воно вимагає мінімуму капітальних вкладень. Ампельні рослини висаджуються у відкритий ґрунт на відстані 0,3...0,5 м від стіни будівлі. Для більш високих поверхів необхідне терасове озеленення.

Висновки. Зелене будівництво в рамках концепції сталого розвитку є ефективним засобом підвищення безпеки та здоров'я людей на всіх етапах існування будівель і споруд. Від його впровадження користь отримують усі, хто прямо або опосередковано опиняються під впливом таких будівель або споруд. Однією з переваг даного підходу є підвищення енергоефективності будівель завдяки охоло-

джувальному ефекту рослин на "зелених конструкціях". Отримана залежність охолоджувального ефекту вертикального озеленення дикийм виноградом (*Parthenocissus*) від швидкості вітру дозволяє визначати заощадження енергії в період охолодження. Заощадження холоду від стіни з мінімальним опором теплопередачі $3,3 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}$ становить 8083 Дж/м^2 . Непряме (на джерелі енергії) зменшення викиду CO_2 при спалюванні вугілля становить 632 г/м^2 , а для газу – 372 г/м^2 . Це показує доцільність вертикального озеленення будівель, яке крім того вимагає мінімальних капітальних вкладень.

Перспективи подальших досліджень. У подальшому буде виконано дослідження охолоджувального ефекту вертикального озеленення при штучному обдуві з різною швидкістю.

Таблиця 1

Розрахунок зменшення викиду CO_2 для вертикального озеленення стіни з мінімальним опором теплопередачі ($3,3 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}$) у м. Києві при використанні вугілля (газу)

Напрямок вітру	Пн	ПнСх	Сх	ПдСх	Пд	ПдЗх	Зх	ПнЗх	Штиль	Середнє	Σ
Розрахунок за липень (31 доба)											
Швидкість вітру v , м/с	2,7	2,1	1,6	1,8	2,1	2,3	2,1	2,4	0	2,03	—
Повторюваність вітру без штилю, п, %	18,0	9,1	4,8	8,0	11,3	10,4	20,4	18,0	—	—	100
Повторюваність вітру зі штилем $P = p (1 - 0,01 n_{штилю})$, %	16,34	8,26	4,36	7,26	10,26	9,44	18,52	16,34	9,2	—	100
«Охолоджувальний ефект» $\Delta\theta_{с.е.}$, °С	2,9 2,5	2,6 2,2	2,3 1,8	2,5 2,0	2,6 2,2	2,8 2,3	2,6 2,2	2,8 2,3	1,2 0,8	2,57 2,09	—
Заощадження холоду $\Delta\phi = U\Delta T_{с.е.}$, Вт/м ²	0,893 0,411	0,801 0,361	0,701 0,306	0,744 0,330	0,801 0,361	0,835 0,380	0,801 0,361	0,851 0,388	0,373 0,125	—	—
Заощадження холоду $\Delta Q = 3600 \cdot 24 \cdot 31 \times (P/100)\Delta\phi$, Дж/м ²	391 180	177 80	82 36	145 64	220 99	211 96	398 179	372 170	92 31	—	2088 935
Зменшення роботи компресора на 1 м ² конструкції $\Delta A = \Delta Q/\varepsilon$, кДж/м ²	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	522 234
Заощадження теплової енергії на 1 м ² конструкції $\Delta Q_f = \Delta A/\eta_{el}$, кДж/м ²	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1740 779
Заощадження палива на квадратний метр конструкції $\Delta B = 10^{-6} \Delta Q_f/Q_f^*$, кг/м ²	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,099 (0,050) 0,044 (0,022)
Зменшення викиду CO_2 на квадратний метр конструкції $\Delta M_{\text{CO}_2} = \Delta B Q_f^* k_c k_{\text{CO}_2}$, г/м ²	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	163,4 (96,1) 73,2 (43,0)
Розрахунок за теплий період року											
Заощадження холоду, $\Delta Q_{\Sigma} = \Delta Q N/31$, Дж/м ²	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8083 3620
Зменшення роботи компресора на квадратний метр конструкції $\Delta A = \Delta A N/31$, Дж/м ²	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2021 905
Зменшення викиду CO_2 на квадратний метр конструкції $\Delta M_{\text{CO}_2, \Sigma} \approx \Delta M_{\text{CO}_2} N/31$, г/м ²	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	632 (372) 283 (167)

Примітка. Косим шрифтом виділено відповідні дані для озеленення райграсом пасовищним (*Lolium perenne*) покривлі з мінімальним опором теплопередачі ($6 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}$).

Література

1. Керівні принципи сталого розвитку Європейського континенту [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://rm.coe.int/168070018e>. – Дата доступу: 06.02.2019.
2. Указ про прийняття Стратегії сталого розвитку «Україна – 2020» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/5/2015>. – Дата доступу: 19.05.2017.
3. Національна доповідь «Цілі Сталого Розвитку: Україна», 2017. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.idss.org.ua/monografii/2017_SDGs_NationalReport.pdf. – Дата доступу: 23.07.2018.
4. Руденко Л. Г. Національна доповідь України про стан виконання положень «Порядку денного на XXI століття» за десятирічний період. Звіт з НДР № держреєстрації 0112U006426 / Л. Г. Руденко, Б. В. Буркинський, Г. П. Галушкіна, Г. В. Герасименко та ін. – Київ. – 2012. – 345 с.
5. Завдання географії у впровадженні в Україні парадигми сталого розвитку і цілей 2030. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://don.kyivcity.gov.ua/files/2018/3/30/1.pdf>. – Дата доступу: 06.02.2019.
6. Tkachenko T. Research of cooling effect of vegetation layer of green structures in construction / T. Tkachenko, V. Mileikovskiy // International Scientific and Practical conference “World science”. – 2017. – Vol. 1. – no 7 (23). – P. 22-24.
7. Tkachenko T. Energy Efficiency of “Green Structures” in Cooling Period / T. Tkachenko // International Journal of Engineering & Technology. – 2018. – Vol 7. – No 3.2. – P. 453-457. <http://doi.org/10.14419/ijet.v7i3.2.14570>
8. Ткаченко Т. М. Натурні дослідження «охолоджувального ефекту» вертикального озеленення будівель / Т. М. Ткаченко // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. – 2018. – Вип. 25. – С. 44-49.
9. Белоусов В. Н. Энергосбережение и выбросы парниковых газов / В. Н. Белоусов, С. Н. Смородин, В. Ю. Лакомкин. – Санкт-Петербург: СПбГТУРП, 2014. – 52 с.
10. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія. – Чинні від 01.11.2011. – Київ: Укрархбудінформ, 2011. – 123 с.
11. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. – Чинні від 01.05.2017. – Київ: Укрархбудінформ, 2017. – 33 с.
12. Rakotondramiarana H. T. Dynamic Simulation of the Green Roofs Impact on Building Energy Performance, Case Study of Antananarivo, Madagascar / H. T. Rakotondramiarana, T. F. Ranaivoarisoa, D. Morau // Buildings. – 2015. – №5. – P. 497-520. <http://doi.org/10.3390/buildings5020497>

References

1. *Kerivni pryntsyipy staloho rozvytku Yevropeiskoho kontynentu*. <https://rm.coe.int/168070018e>. Accessed 06 February 2019.
2. *Ukaz pro pryiniattia Stratehii staloho rozvytku «Ukraina – 2020»*. <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/5/2015>. Accessed 19 May 2017.
3. *Natsionalna dopovid «Tsili Staloho Rozvytku: Ukraina», 2017*. http://www.idss.org.ua/monografii/2017_SDGs_NationalReport.pdf. Accessed 23 July 2018.
4. Rudenko L. H., Burkynskiy B. V., Halyshkina H. P., Herasymenko H. V. ta in. *Natsionalna dopovid Ukrainy pro stan vykonannia polozhen «Poriadku dennoho na XXI stolittia» za desiatyrichnyi period. Zvit z NDR № derzhreiestratsii 0112U006426*. 2012. 345 p.
5. *Zavdannia heohrafii u vprovadzheni v Ukraini paradyhmy staloho rozvytku i tsilei 2030*. <https://don.kyivcity.gov.ua/files/2018/3/30/1.pdf>. Accessed 06 February 2019.
6. T. Tkachenko, V. Mileikovskiy. Research of cooling effect of vegetation layer of green structures in construction. *International Scientific and Practical conference “World science”*. 2017. Vol. 1. no 7 (23). pp. 22-24.
7. Tkachenko T. Energy Efficiency of “Green Structures” in Cooling Period. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018. Vol 7, no 3.2. pp. 453-457. <http://doi.org/10.14419/ijet.v7i3.2.14570>
8. Tkachenko T. M. Naturni doslidzhennia «okholodzhuvalnoho efektu» vertykalnoho ozelenennia budivel. *Ventylatsiia, osvittennia ta teplohapostachannia*. 2018. Vol. 25. pp. 44-49.
9. Belousov V. N., Smorodin S. N., Lakomkin V. Yu. *Energoberezhenie i vybrosy parnikovyykh gazov*, SPbGTURP, 2014
10. *Budivselna klimatolohiia*. DSTU-N B V.1.1-27:2010, Ukrarkhbudininform, 2011.
11. *Teplova izoliatsiia budivel*. DBN V.2.6-31:2016, Ukrarkhbudininform, 2017.
12. Rakotondramiarana H. T., Ranaivoarisoa T. F., Morau D. Dynamic Simulation of the Green Roofs Impact on Building Energy Performance, Case Study of Antananarivo, Madagascar. *Buildings*. 2015. no 5. pp. 497-520. <http://doi.org/10.3390/buildings5020497>

УДК 536.2:620.9:502

Оценка экономии энергии и косвенного уменьшения выбросов CO₂ вертикальным озеленением

Т. Н. Ткаченко¹, В. А. Мілейковський², О. Н. Гунченко³

¹д.т.н., проф. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, tkachenkoknuba@gmail.com, ORCID:0000-0003-2105-5951

²к.т.н., доц. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, v_mil@ukr.net
ORCID: 0000-0001-8543-1800

³к.т.н., доц. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, gunchenko.oksana@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5769-2496

Аннотация. В исследовании рассмотрено формирование предпосылок устойчивого развития с учётом фактора безопасности. Благодаря внедрению технологий «зелёного строительства» создаются предпосылки для повышения безопасности человека в условиях урбанизированной среды как на этапе производственного процесса (от изготовления строительных материалов и их утилизации и во время выполнения строительных работ), так и во время эксплуатации уже построенных объектов. Показано, что одним из действенных способов повышения комфорта и безопасности в строительной отрасли и в любой урбанизированной среде является вертикальное озеленение зданий. Проведённые в предыдущей работе натурные исследования «охлаждающего эффекта» вертикального озеленения зданий показали повышенный охлаждающий эффект по сравнению с горизонтальным озеленением. При штиле для озеленения диким виноградом (Parthenocissus) значения «охлаждающего эффекта» составляет 1,23 К. С учётом этого значения внесены поправки в формулу для определения зависимости охлаждающего эффекта от скорости ветра. Рассчитаны экономия энергии и косвенное уменьшение выбросов CO₂ от охлаждающего эффекта вертикального озеленения для различных видов топлива в тёплый период года. Полученные результаты показывают целесообразность использования вертикального озеленения для повышения энергоэффективности зданий и уменьшение выброса парниковых газов на теплогенераторах.

Ключевые слова: устойчивое развитие, безопасность, зелёная конструкция, зелёное строительство, вертикальное озеленение, энергоэффективность, парниковые газы

УДК 536.2:620.9:502

Assessment of energy savings and indirect reduction of CO₂ emissions by vertical gardening

T. Tkachenko¹, V. Mileikovskiy², O. Hunchenko³

¹Dr.Hab., Prof. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, tkachenkoknuba@gmail.com, ORCID:0000-0003-2105-5951

²PhD., assoc. prof. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, v_mil@ukr.net, ORCID: 0000-0001-8543-1800

³PhD., assoc. prof. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, gunchenko.oksana@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5769-2496

Abstract. In the study, the formation of the prerequisites for sustainable development is considered, taking into account the safety factor. Thanks to the introduction of green building technologies, preconditions are being created for improving human security in an urbanized environment both at the stage of the production process (from the manufacture of building materials and their disposal and during construction work), and during the operation of already constructed buildings. It is shown that one of the effective ways to increase comfort and safety in the construction industry and in any urban environment is the vertical gardening of buildings. The field studies of the "cooling effect" of the vertical gardening of buildings carried out in the previous work showed an increased cooling effect compared to horizontal gardening. When calmness for gardening with Virginia creeper (Parthenocissus), the value of the "cooling effect" is 1.23 K. Based on this value, amendments are made to the formula for determination of the dependence of the cooling effect on wind speed. The energy savings and indirect reduction of CO₂ emissions from the cooling effect of vertical gardening for various types of fuel in the warm season are calculated. Saving cold from the wall with a minimum (in Ukraine) heat transfer resistance of 3.3 m² K / W (overall heat transfer coefficient $U = 1 / 3.3 = 0.303 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$) is 8083 J / m². The indirect (at the energy source) reduction in CO₂ emissions for coal combustion is 632 g / m², and for gas – 372 g / m². For comparison, at gardening with perennial ryegrass (Lolium perenne) of a roof with minimum (for Ukraine) heat transfer resistance 6 m² K / W (overall heat transfer coefficient $U = 1 / 6 = 0.167 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$), we have the saving of cold 3620 J / m². The

indirect (at the energy source) reduction in CO₂ emissions for coal combustion is 283 g / m², and for gas – 167 g / m². The results show the feasibility of using vertical gardening to increase the energy efficiency of buildings and reduce greenhouse gas emissions from heat generators.

Keywords: sustainable development, safety, green construction, green structures, vertical gardening, energy efficiency, greenhouse gases

Надійшла до редакції / Received 30.09.2019.