

УДК 536.2:620.9:502

Натурні дослідження «охолоджувального ефекту» вертикального озеленення будівель

Т. М. Ткаченко¹

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

Анотація. Мета роботи полягала у проведенні натурних досліджень «охолоджувального ефекту» вертикального озеленення будівель та порівняння отриманих значень з «охолоджувальним ефектом» рослинного шару «зелених покрівель». Проведено натурні дослідження «охолоджувального ефекту» вертикального озеленення забору з винограду дикого (Parthenocissus) на території Київського національного університету будівництва і архітектури в теплий період року 8 червня 2018р. о 14:30 при періодичній появі вітру та незначній його швидкості. Використання забору з практично однаковою температурою повітря з обох боків дозволяє уникнути впливу теплових потоків приміщень. Для вимірювання використано термометр скляний рідинний з ціною поділки 0,1 °С. Для мінімізації впливу радіаційної теплоти колба термометра була захищена тепловідбивним екраном з алюмінієвої фольги. Екран мав достатню глибину, щоб відбивати радіаційні теплові потоки від сонячної радіації, навколишніх предметів та стіни паркану. Для вимірювання температури під рослинним шаром термометр прив'язувався до стебла рослини у місці його природного кріплення до паркана. Для вимірювання температури повітря термометр тримався ззовні паркану на відстані витягнутої руки від дослідника. Середня значення «охолоджувального ефекту» становить 1,23 К. Отриманий «охолоджувальний ефект» перевищує його значення для трав'яного шару зеленої покрівлі (0,6... 0,9 К) на 0,5...0,6 К. Таке перевищення може бути пов'язане з особливостями транспірації винограду дикого (Parthenocissus) та більшою площею листової пластинки. У подальшому планується провести дослідження у день зі штилем і забезпечити постійний механічний обдув достатньої площі поверхні паркана протягом кількох годин для уникнення впливу теплової інерції та теплових потоків вздовж площини паркана.

Ключові слова: охолоджувальний ефект, вертикальне озеленення, зелена покрівля.

Постановка проблеми. Сталий розвиток сучасних міст передбачає перехід на альтернативні джерела енергії та енергоефективні технології. Однією з таких технологій є «зелені конструкції», під якими ми розуміємо архітектурно-будівельні елементи, поєднані з живими рослинами: покрівельне озеленення, фасадні зелені блоки, вертикальне озеленення, екопарковки, зелені схили. Вони екологічні за рахунок створення додаткових локальних біогеоценозів, збереження та поповнення біорізноманіття, створення додаткових мостів міграції для біоти в місто. Ці конструкції енергоефективні завдяки додатковій теплоізоляції, зменшенню холодительного навантаження на кондиціонування повітря, затіненню, зменшенню навантаження на міське дощове водовідведення, можливості вторинного використання стічних вод на полив та технічні потреби. «Зелені конструкції» забезпечують соціально-економічний розвиток урбоценозів завдяки боротьбі з парниковим ефектом, збереженню земельних ресурсів, екологічній утилізації будівель, зменшенню рівня шуму. Ці технології є потужним потенціалом для збереження здоров'я людей за рахунок продукування кисню, створення рекреаційних і продовольчих зон, поліпшення якості повітря фітонцидами.

У європейських країнах застосування «зелених конструкцій» у будівництві є обов'язковим та контролюється на рівні законодавства.

Україна є державою, де відсоток міських жителів (68,9 %) привалює над відсотком жителів сільської місцевості (31,1 %), але незважаючи на це, введення «зелених конструкцій» гальмується через відсутність нормативної бази, вітчизняних технологій та фундаментальних науково-технічних розробок. Тому розробка наукових засад «зелених» енергоефективних технологій для управління екологічною безпекою урбоценозу в Україні є першочерговою та актуальною проблемою.

Актуальність дослідження. У серпні цього року уряд України ухвалив «Стратегію низьковуглеводного розвитку до 2050 року» [1], яка передбачає поступове скорочення використання викопного палива та старт інвестування у відновлювальні джерела енергії. Тому пошук та впровадження енергоефективних технологій є пріоритетним завданням для України.

Скорочення викидів CO₂ є основним механізмом уповільнення зміни клімату. У вирішенні даної проблеми «зелені конструкції» можуть розглядатися як перспективні технології. За рахунок «охолоджувального ефекту» в період охолодження відбувається зменшення холоди-

льного навантаження на кондиціонування повітря, завдяки чому відбувається непряме зменшення викидів CO₂ на ТЕЦ.

Останні дослідження та публікації. Теплові та енергетичні вигоди від «зелених конструкцій» пов'язані з їхнім «охолоджувальним ефектом». При цьому порівнюються температури повітря над поверхнею неозелених покрівель з температурою зелених покрівель з рослинним шаром. Температура над звичайними покрівлями у багато разів більше, ніж над зеленими. На підставі таких досліджень ґрунтується підхід «міський тепловий острів», а також «ефект кондиціонування». Вважається, що в літній період зелена покрівля працює як пасивний охолоджувач. За даними Кембриджського університету, влітку відкрита площа чорного даху може досягати 80°C. При цьому еквівалентна площа під зеленим дахом становить лише 27°C [2]. Дослідження в Канаді (Оттава) також продемонстрували зниження температури на зеленому даху. При температурі навколишнього середовища 35°C, температура неозеленого даху досягла 70°C, а на зеленій покрівлі температура залишалася рівною 25°C [3,4]. Професор Гернот Мінке вважає, що озеленення покрівель порівняно зі звичайним покрівельним покриттям має численні переваги [5]. Наприклад, температура покрівельної конструкції під системою зеленого даху при температурі навколишнього середовища 30°C, становила 17,5°C. При цьому товщина субстрату була всього 160 мм. У січні при мінус 14°C, температура під рослинним шаром становила 0°C [6]. Крім того, додаткову енергоефективність дає комбінування технологій зеленої покрівлі та сонячної енергосистеми. Температура модулів на зелених покрівлях завдяки вологості, яку виділяють рослини, знижується до плюс 27°C, завдяки чому геліосистеми не перегріваються. Для порівняння: на бітумних покрівлях температура модулів зростає до плюс 40°C [7]. Аналіз літературних джерел [8-11] показав дуже високі значення «охолоджувального ефекту» (до 7 К). Але в роботах чітко не зазначено причини такого значного зниження температури. У даному випадку ми можемо припускати, що «охолоджувальний ефект» викликаний фізіологічним процесом у рослинах, а саме евапотранспірацією. Проведені натурні дослідження не підтвердили цього значення «охолоджувального ефекту» [12]. Також були зроблені натурні дослідження температури над чорною та блискучою металевою поверхнею при стоянні сонця в зеніті у червні в місті Києві

за ясної погоди. Різниця температури між ними 29 °С. Таким чином, властивості неозеленої поверхні впливають на різницю температури озеленої та неозеленої поверхні більше, ніж властивості рослинного шару. Виходячи зі сказаного, запропоновано під «охолоджувальним ефектом» розуміти різницю температури між озеленою поверхнею покрівлі і повітрям:

$$\theta_{ext} = \theta_{ext,act} - \Delta\theta, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (1)$$

де $\theta_{ext,act}$ – фактичне значення температури, °С, зовнішнього повітря за даними кліматологічних нормативних документів або температура потоку, °С, в аеродинамічній трубі; $\Delta\theta$, К – «охолоджувальний ефект».

У роботі [13] наведено методику дослідження «охолоджувального ефекту» в лабораторних умовах в аеродинамічній трубі. За результатами досліджень побудовано графік залежності «охолоджувального ефекту» $\Delta\theta$, °С, від швидкості повітря v , м/с. Однак, для розрахунку заощадження енергії від «охолоджувального ефекту» результати мають бути подані у вигляді формули. Регресія отриманих результатів за методом найменших квадратів для висоти трави 40 та 123 мм дає наступне рівняння:

$$\Delta\theta_{c.e.} = (0,508 \operatorname{atan}(v) + 0,543) \times \operatorname{atan}^2(v) + 0,752 \quad (2)$$

Формулювання цілей статті. Мета роботи – проведення натурних досліджень «охолоджувального ефекту» вертикального озеленення будівель та порівняння отриманих значень з «охолоджувальним ефектом» рослинного шару «зелених покрівель».

Виконання експерименту. Проведено натурні дослідження «охолоджувального ефекту» вертикального озеленення на території Київського національного університету будівництва і архітектури в теплий період року 8 червня 2018р. о 14:30. У цей день у даному місці вітер з'являвся лише періодично, а вимірювання виконувалися при незначній швидкості повітря. Для уникнення впливу теплообміну між внутрішнім повітрям приміщення та «прошарком повітря під рослинним шаром» дослідження проведені на вертикальному паркані (рис. 1), з обох боків якого температура повітря однакова. Паркан був озелений виноградом диким (*Parthenocissus*).

Для вимірювання використано термометр скляний рідинний з ціною поділки 0,1 °С.

Для мінімізації впливу радіаційної теплоти колба термометра буда захищена тепловідбивним екраном з алюмінієвої фольги. Екран мав достатню глибину, щоб відбивати радіаційні теплові потоки від сонячної радіації, навколишніх предметів та стіни паркану.

Для вимірювання температури під рослинним шаром (рис. 2) термометр прив'язувався до стебла рослини у місці його природного кріплення до паркана.



Рис. 1. Вертикальний паркан з винограду дикого (*Parthenocissus*)

Таким чином, термометр опинявся під зеленим листвяним покривом, який і створює «охолоджувальний ефект». Вимірювання виконані у трьох точках під рослинним шаром. Для вимірювання температури повітря термометр тримався ззовні паркану на відстані витягнутої руки від дослідника (рис. 3).

Перед початком зняття показів термометр витримувався не менше 5 хвилин для стабілізації його показів. Після цього повторно записувалися і усереднювалися його покази. Покази не змінювалися більше ніж 0,1...0,2 °С.

Результати вимірювання. Результати вимірювань та розрахунок «охолоджувального ефекту» (табл.) показали, що температура повітря біля паркану становила 31,7 °С і практично не змінювалася протягом попередніх годин, що мінімізує вплив теплової інерції паркану.

Температура під рослинним шаром становила $\theta_0 = 30,2...30,6$ °С. Тоді середнє значення «охолоджувального ефекту» становить 1,23 К. Отриманий «охолоджувальний ефект» перевищує його значення для трав'яного шару зеленої покрівлі (0,6...0,9 К) на 0,5...0,6 К. Таке перевищення може бути пов'язане з особливостями транспірації винограду дикого (*Parthenocissus*) та більшою площею листової пластинки.



Рис.2. Розташування термометра для вимірювання температури під рослинним шаром вертикального озеленення з винограду дикого (*Parthenocissus*)



Рис. 3. Вимірювання температури повітря біля паркану з винограду дикого (*Parthenocissus*)

Висновки. Середня значення «охолоджувального ефекту» становить 1,23 К. Отриманий «охолоджувальний ефект» перевищує його значення для трав'яного шару зеленої покрівлі (0,6...0,9 К) на 0,5...0,6 К. Таке перевищення може бути пов'язане з особливостями транспі-

рації винограду дикого (*Parthenocissus*) та більшою площею листової пластинки.

Таблиця
Результати дослідження «охолоджувального ефекту»

Точка	Температура повітря, °С		Охолоджувальний ефект $\Delta\theta$, К
	під рослинним шаром θ_0	навколишнього θ_{ext}	
1	30,2	31,7	1,5
2	30,5	31,7	1,2
3	30,6	31,7	1,1
Середнє	30,43	31,7	1,23

Перспективи подальших досліджень. У натурних умовах практично неможливо досягти постійної швидкості вітру, тому проаналізувати вплив швидкості повітря на «охолоджувальний ефект» визначити практично неможливо. Для цього необхідно провести дослідження у день зі штилем і забезпечити постійний механічний обдув достатньої площі поверхні паркана протягом кількох годин для уникнення впливу теплової інерції та теплових потоків вздовж площини паркана. У перспективі планується проведення подібних досліджень. Для виконання досліджень в аеродинамічній трубі необхідна велика висота робочої частини для розміщення моделі з достатньо розвиненими рослинами.

Література

1. Стратегія низьковуглецевого розвитку України до 2050 року [Електронний ресурс]. – Київ 2017. – 53 с. – Режим доступу: <https://menr.gov.ua/files/docs/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82%20%D0%A1%D1%82%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%B3%D1%96%D1%97%20%D0%BD%D0%B8%D0%B7%D1%8C%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D1%83%D0%B3%D0%BB%D0%B5%D1%86%D0%B5%D0%B2%D0%BE%D0%B3%D0%BE%20%D1%80%D0%BE%D0%B7%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%BA%D1%83%20%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D0%B8%20.pdf>. – Дата звертання: 01.10.2018.
2. FiBRE – Findings in Built and Rural Environments, Can Greenery Make Commercial Buildings More Green? Cambridge University, 2007.
3. Bass B. Evaluating Rooftop and Vertical Gardens as an Adaptation Strategy for Urban Areas./ B. Bass, B. Baskaran. – Institute for Research and Construction, Ottawa, Canada: National Research Council, 2003.
4. Liu K. Thermal Performance of Green Roofs Through Field Evaluation. NRCC-48204 / K. Liu, B. Baskaran. – In Proc. Greening Rooftops for Sustainable Communities: Chicago, 2003.
5. Minke G. 13 Fragen an Professor Gernot Minke // Dach+Grün. –2014. - № 3. - P. 6-10.
6. Minke G. Dämmung durch Dachbegrünungen // Dach+Grün. –2014. № 4. -P. 6-12.
7. Сонячна енергія та зелені покрівлі. Керівництво з планування. ТОВ «ЗінКО Україна, 2015. – 7 с.
8. Wong N. H. Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment / N. H. Wong, Yu. Chena, C. L. Ong, A. Sia // Building and Environment. - 38 (2) 2003. - 261–270.
9. Lui K. Performance evaluation of an extensive green roof / K. Lui, J. Minor // Greening Rooftops for Sustainable Communities, Washington, DC, 2005.
10. Santamouris M. Investigating and analysing the energy and environmental performance of an experimental green roof system installed in a nursery school building in Athens / M. Santamouris et al. // Greece, Energy. – Vol. 32, Iss. 9, 2007. – P. 1781–1788.
11. Poorova Z. Green Roof as a saving technology and creator of microclimate / Z. Poorova, F. Vranay, Z. Vranayova // Вісник національного університету «Львівська політехніка». Серія: «Теорія і практика будівництва». – № 844. – Львів: вид-во «Львівська політехніка», 2016. – С. 311-316. – Режим доступу: <http://vlp.com.ua/node/16156>.
12. Ткаченко Т. Исследование влияния травяного покрова на температуру грунта для кровельного озеленения / Т. Ткаченко, В. Милейковский // Budownictwo o zoptymalizowanym Potencjale energetycznym. Construction of optimized energy. – 1 (19). - Poland, 2017. – P. 67-72.
13. 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”. – № 7 (23), Vol. 1, 2017. – P. 22-24.

References

1. Stratehiia nyzkovuhletsevoho rozvytku Ukrainy do 2050 roku. – Kyiv 2017. – 53 s. – Access mode: <https://menr.gov.ua/files/docs/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82%20%D0%A1%D1%82%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%B3%D1%96%D1%97%20%D0%BD%D0%B8%D0%B7%D1%8C%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D1%83%D0%B3%D0%BB%D0%B5%D1%86%D0%B5%D0%B2%D0%BE%D0%B3%D0%BE%20%D1%80%D0%BE%D0%B7%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%BA%D1%83%20%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D0%B8%20.pdf>

[%D0%B7%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%BA%D1%83%20%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D0%B8%20.pdf](#). – Access date: 01.10.2018.

2. *FiBRE – Findings in Built and Rural Environments, Can Greenery Make Commercial Buildings More Green?* Cambridge University, 2007.
3. Bass B., Baskaran B. *Evaluating Rooftop and Vertical Gardens as an Adaptation Strategy for Urban Areas*. Institute for Research and Construction, Ottawa, Canada: National Research Council, 2003.
4. Liu K, Baskaran B. “Thermal Performance of Green Roofs Through Field Evaluation”. *Proc. Greening Rooftops for Sustainable Communities*, Chicago, 2003.
5. Minke G. “13 Fragen an Professor Gernot Minke.” *Dach+Grun*, no. 3, 2014, pp. 6-10.
6. Minke G. “Dämmung durch Dachbegrünungen.” *Dach+Grun*, no. 4, 2014, pp. 6-12.
7. *Soniachna enerhiia ta zeleni pokrivli. Kerivnystvo z planuvannia*. TOV “ZinKO Ukraina”, 2015.
8. Wong N. H., Chena Yu., Ong C. L., Sia A. “Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment.” *Building and Environment*, vol. 38, Iss. 2, 2003, pp. 261-270, [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(02\)00066-5](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(02)00066-5).
9. Lui K., Minor J. *Performance evaluation of an extensive green roof. NRCC-48204*. Greening Rooftops for Sustainable Communities, 2005.
10. Santamouris M. et al. “Investigating and analysing the energy and environmental performance of an experimental green roof system installed in a nursery school building in Athens” *Energy*, vol. 32, iss. 9, 2007, pp. 1781–1788.
11. Poorova Z., Vranay F., Vranayova Z. “Green Roof as a saving technology and creator of microclimate.” *Visnyk natsionalnoho universytetu “Lvivska Politehnika”*, Serii: “Teoriia i praktika budivnytstva”, no. 844, 2016, pp. 311-316, <http://vlp.com.ua/node/16156>.
12. Tkachenko T. Mileikovskii V. “Issledovaniie vliianiia travianogo pokrova na temperaturu grunta dlia krovelnogo ozeleneniia.” *Budownictwo o zoptymalizowanym Potencjale energetycznym*, no. 1(19), 2017, pp. 67-72.
13. Tkachenko T., Mileikovskiy V. “Research of cooling effect of vegetation layer of green structures in construction.” *International Scientific and Practical conference “World science”*, no. 7(23), vol. 1, 2017, pp. 22-24.

УДК 536.2:620.9:502

Натурные исследования «охлаждающего эффекта» вертикального озеленения зданий

Т. М. Ткаченко¹

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

Аннотация. Цель работы заключалась в проведении натурных исследований «охлаждающего эффекта» вертикального озеленения зданий и сравнения полученных значений с «охлаждающим эффектом» растительного слоя «зелёных кровель». Проведены натурные исследования «охлаждающего эффекта» вертикального озеленения забора из винограда дикого (Parthenocissus) на территории Киевского национального университета строительства и архитектуры в тёплый период года 8 июня 2018 г. в 14:30 при периодическом появлении ветра и незначительной его скорости. Использование забора с практически одинаковой температурой воздуха с обеих сторон позволяет избежать влияния тепловых потоков помещений. Для измерения использован термометр стеклянный жидкостный с ценой деления 0,1 °С. Для минимизации влияния радиационной теплоты колба термометра была защищена теплоотражающим экраном из алюминиевой фольги. Экран имел достаточную глубину, чтобы отражать радиационные тепловые потоки от солнечной радиации, окружающих предметов и стены забора. Для измерения температуры под растительным слоем термометр привязывался к стеблю растений в месте его естественного крепления к забору. Для измерения температуры воздуха термометр удерживался вне забора на расстоянии вытянутой руки от исследователя. Среднее значение «охлаждающего эффекта» составляет 1,23 К. Полученный «охлаждающий эффект» превышает его значение для травяного слоя зелёной кровли (0,6 ... 0,9 К) на 0,5 ... 0,6 К. Такое превышение может быть связано с особенностями транспирации винограда дикого (Parthenocissus) и большей площадью листовой пластинки. В дальнейшем планируется провести исследования в день со штилем и обеспечить постоянный механический обдув достаточной площади поверхности забора течение нескольких часов во избежание влияния тепловой инерции и тепловых потоков вдоль плоскости забора.

Ключевые слова: охлаждающий эффект, вертикальное озеленение, зелёная кровля.

УДК 536.2:620.9:502

Field Studies of the "Cooling Effect" of Vertical Greening of Buildings

T. Tkachenko¹

¹PhD., Associate Professor. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, tkachenkknuba@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2105-5951

*Abstract. The aim of the work was to carry out field studies of the "cooling effect" of vertical greening of buildings and to compare the results with the "cooling effect" of the vegetation layer of "green roofs". The field studies of the "cooling effect" of vertical greening are carried out on a fence by wild grapes (*Parthenocissus*) at the territory of Kiev National University of Construction and Architecture in warm period of year on June 8, 2018 at 14:30 with the periodic appearance of wind and its insignificant speed were carried out. The use of the fence with practically the same air temperature on both sides avoids the effect of the heat fluxes of the premises. The thermometer is a liquid glass thermometer with a 0.1 °C scale value. To minimize the effect of radiation heat, the bulb of the thermometer was protected by a heat-reflecting screen made of aluminum foil. The screen had enough depth to reflect radiation heat fluxes from solar radiation, surrounding objects and the fence. To measure the temperature under the plant layer, the thermometer was attached to the plant stem in the place of its natural attachment to the fence. To measure air temperature, the thermometer was held outside the fence at arm's length from the researcher. The average value of the "cooling effect" is 1.23 K. The resulting "cooling effect" exceeds its value for the grass layer of the green roof (0.6 ... 0.9 K) by 0.5 ... 0.6 K. This excess can be due to the peculiarities of transpiration of the wild grapes (*Parthenocissus*) and the larger area of the leaf blade. In the future it is planned to conduct research on a day with calm and ensure constant mechanical blowing of a sufficient surface area of the fence for several hours in order to avoid the influence of thermal inertia and heat flows along the fence plane.*

Keywords: cooling effect, vertical greening, green roof.

Надійшла до редакції / Received 20.06.2018