

УДК 628.38:628.13:628.16:628.17:618.21

Roman Hlushchenko, post-graduate student

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2863-1480> **e-mail:** gr2017inc@gmail.com

Tetiana Tkachenko, Dr Hab., professor, Head of a Department

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2105-5951> **e-mail:** tkachenkoknuba@gmail.com

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

RAINWATER MANAGEMENT BY “GREEN” ROOFS ON THE EXAMPLE OF TRADE-BUSINESS CENTRE “PEREKHRESTIA”, DNIPRO CITY

Abstract. *The densification of urban building causes the replacement of urban green areas with negative environmental impact. Therefore, it is necessary to move to the concept of combining living plants with building structures. The concept of green construction is a universal approach that allows not only to reduce the negative impact of construction on the environment but on the contrary, to ensure a positive impact on the environment. This concept can be applied at all levels – from a single building to neighborhoods or settlements. One of the serious problems of cities is the management of stormwater runoff. They carry trash, bacteria, heavy metals and other pollutants through storm drains into local waterways. The most common means of managing urban runoff are storm sewer systems, which have the conventional name of "grey infrastructure." These systems are ageing and require expensive repairs. Due to climate change, the amount of runoff is increasing, which leads to exceeding the carrying capacity of the systems. The development of territories significantly disrupts the water balance. The sponge city allows effective solving of these problems thanks to the maximum approach of the functioning of built-up areas to unbuilt ones. In this work, a "green" roof is being developed on the roof of the "Perekhrestia" shopping and business center in Dnipro city. To do this, the volume of precipitation in the city for 2022 was analyzed. The "Roof Garden" system from the Zinko-Ukraine company was adopted. This system currently has a margin of 50% retention of precipitation falling on green areas. To dispose of water from pedestrian areas, it is necessary to install water storage tank(s). It is advisable to use this water for watering green areas or for toilet needs. Two toilets in the public toilet ensure the emptying of the tank(s) in 15 days. Increasing the number of sanitary devices simplifies the water supply system and increases the resilience of objects to climate change.*

Keywords: *"green construction"; "green" roof; rainwater; stormwater runoff; sponge city; rainwater management.*

Р.О. Глушенко, Т.М. Ткаченко

Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна

КЕРУВАННЯ ДОЩОВИМИ СТОКАМИ «ЗЕЛЕНИМИ» ПОКРІВЛЯМИ НА ПРИКЛАДІ ТОРГОВЕЛЬНО-ДІЛОВОГО КОМПЛЕКСУ «ПЕРЕХРЕСТЯ» В М. ДНІПРО

Анотація. *Ущільнення забудови міст спричиняє заміщення міських зелених зон з негативним впливом на довкілля. Тому необхідно переходити до концепції поєднання живих рослин з будівельними конструкціями. Концепція зеленого будівництва є універсальним підходом, що дозволяє не просто зменшити*

негативний вплив будівництва на довкілля, а навпаки, забезпечити позитивний вплив на навколишнє середовище. Цю концепцію можна застосовувати на всіх рівнях – від окремої будівлі до кварталів або населених пунктів. Однією з серйозних проблем міст є керування зливовими стоками. Вони переносять сміття, бактерії, важкі метали та інші забруднювачі через зливову каналізацію в місцеві водні шляхи. Найбільш розповсюдженим засобом управління міськими стоками є системи зливової каналізації, які мають умовну назву «сіра інфраструктура». Ці системи старіють і вимагають дорогого ремонту. Через зміни клімату обсяг стоків зростає, що призводить до перевищення пропускної спроможності систем. Забудова території суттєво порушує водний баланс. Місто-губка дозволяє ефективно вирішувати ці проблеми завдяки максимальному наближенню функціонування забудованих територій до незабудованих. У даній роботі розробляється «зелена» покрівля на даху торговельно-ділового комплексу «Перехрестя» в м. Дніпро. Для цього проаналізовано об'єми опадів в м. Дніпро за 2022 р. Прийнято систему «Сад на даху» від компанії Зінко-Україна. Ця система на сьогодні має запас 50% утримання опадів, що потрапили на зелені зони. Для утилізації води з пішоходних зон необхідно встановлювати бак(и) для накопичення води. Цю воду доцільно використовувати на полив зелених зон або для потреб туалетів. Два унітази громадського туалету забезпечують спорожнення бака(ів) за 15 діб. Збільшення кількості санітарних приладів спрощує систему водопостачання та підвищує стійкість об'єктів до змін клімату.

Ключові слова: «зелене» будівництво; «зелена» покрівля; дощові води; зливові стоки; місто-губка; керування дощовими стоками.

<https://doi.org/10.32347/2411-4049.2023.3.49-58>

Вступ

З початку технологічної революції урбанізація набула лавинного характеру. Це призводить до знищення природних ландшафтів. Ущільнення забудови міст спричиняє заміщення міських зелених зон, тобто втрату рекреаційних можливостей, біорізноманіття, природних засобів очищення довкілля та насичення киснем. Тому необхідно переходити до концепції поєднання живих рослин з будівельними конструкціями.

Якщо не вживати заходів, виникають небезпечні явища – ефект міського теплового острова (різниця температури сягає 10°C), погіршення якості повітря через техногенне навантаження, проблеми з відведенням поверхневого стоку через зростання їхнього об'єму та зношення системи дощової каналізації, соціальні проблеми – нестача місць для рекреації, погіршення стану здоров'я, відеоєкологічні проблеми (погіршення естетичних якостей, створення психічно агресивного середовища) та багато інших.

Концепція зеленого будівництва є універсальним підходом, що дозволяє не просто зменшити негативний вплив будівництва на довкілля, а навпаки, забезпечити позитивний вплив на навколишнє середовище. Цю концепцію можна застосовувати на всіх рівнях – від окремої будівлі до кварталів або населених пунктів.

Об'єкт вважається об'єктом “зеленого” будівництва, якщо його спроектовано, побудовано та він експлуатується з забезпеченням [1]:

- ефективного використання ресурсів;
- захисту довкілля та зменшення забруднення;
- здорового, зручного та ефективного використання простору;
- гармонійного співіснування з природою.

Технології зеленого будівництва відіграють важливу роль у зниженні викидів вуглецю. Виробництво бетонів дає до 5% світових антропогенних викидів цього парникового газу [2]. Тому зменшення загального об'єму бетону, який використовується під час будівництва, відповідає концепції “зеленого” будівництва.

У зелених будівлях використовуються різні технології та матеріали, щоб зменшити вплив на навколишнє середовище та/або витрати на енергію. Такими є оптимізація орієнтації будівлі [3], використання екологічно чистих та енергоефективних матеріалів протягом усього життєвого циклу будівлі [3, 4], енергоефективне підтримання параметрів мікроклімату опаленням та кондиціонуванням повітря [5], зокрема правильним повітророзподіленням [6, 7], управління освітленням [5], використання природного освітлення [5], використання відновлюваних джерел енергії [5], навчання людей правильній експлуатації будівель [5], технологія розумного міста [8]. Це дозволяє оптимізувати режими роботи різних систем життєзабезпечення та споживання ресурсів, а також впровадити “зелені конструкції”, що поєднують будівельні конструкції з живими рослинами [9-15].

Однією з серйозних проблем міст є керування зливовими стоками [16], що є основною причиною забруднення води та ґрунту в містах. Вони переносять сміття, бактерії, важкі метали та інші забруднювачі через зливову каналізацію в місцеві водні шляхи. Сильні зливи можуть спричинити повені, які завдадуть шкоди майну та інфраструктурі [17].

Найбільш розповсюдженим засобом управління міськими стоками є системи зливної каналізації, які мають умовну назву «сіра інфраструктура» [18]. Ці системи старіють і вимагають дорогого ремонту. Через зміни клімату обсяг стоків зростає, що призводить до перевищення пропускної спроможності систем.

Виходом є перехід до «зеленої» інфраструктури [19] за концепцією «місто-губка» [20]. Основним принципом є поглинання дощової води якомога ближче до її падіння.

У 2019 році Конгрес Сполучених Штатів Америки прийняв «Закон про покращення водної інфраструктури» [21], який визначає зелену інфраструктуру як «набір заходів, які використовують системи рослин або ґрунту, водопроникне покриття або інші водопроникні поверхні чи субстрати, збір та повторне використання дощової води або озеленення для зберігання, проникнення або випаровування зливної води для зменшення надходження до каналізаційних систем або поверхневих вод».

Концепція міста-губки передбачає максимальне використання наявних поверхонь для поглинання дощової води – «зелені» покрівлі, дощові сади, водопропускні покриття доріг та доріжок тощо [22]. Водостоки покрівель можуть обладнуватися резервуарами для збирання дощової води на технічні цілі [23]. Особливо ефективно збирати воду після фільтрації в шарах «зелених» покрівель [23].

Забудова територій [24] суттєво порушує водний баланс (рис. 1), що негативно позначається на довкіллі. Зокрема, зменшення випаровування призводить до зниження відносної вологості повітря. А відсутність потоку ґрунтових вод призводить до порушення водного балансу водоносних горизонтів, зокрема, роботи колодязів у прилеглих територіях. Місто-губка дозволяє ефективно вирішувати ці проблеми завдяки максимальному наближенню функціонування забудованих територій до незабудованих.

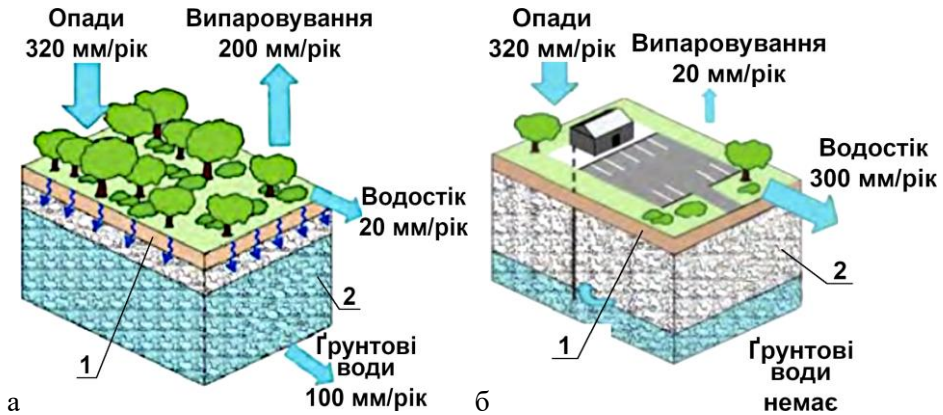


Рис. 1. Водний баланс територій [24]: а – незабудованої; б – забудованої

Таким чином, «зелена» інфраструктура – це адаптивний і багатофункціональний підхід до управління зливовими водами та підвищення кліматичної стійкості з багатьма перевагами для громад:

- покращує якість стічних вод та зберігає їх для повторного використання;
- підвищує стійкість спільноти та інфраструктури;
- зміцнює місцеву економіку через зменшення водоспоживання, витрат на дощову каналізацію, більш надійну логістику через відсутність затоплення автошляхів, відсутність втрат через затоплення підвалів, цокольних поверхів, підземних переходів тощо.

Одним з елементів «зеленого будівництва», який виконує функцію губки, є зелені покрівлі на будівлях, тобто поєднання покрівлі з живими рослинами. Особливістю «зелених покрівель» є не лише затримання і відведення дощової води, але і її фільтрація з подальшою можливістю застосування для господарських потреб. Тому постає задача створення таких «зелених» покрівель.

Матеріали і методи

У даній роботі розробляється «зелена» покрівля на даху торговельно-ділового комплексу «Перехрестя» в м. Дніпро. При цьому необхідно врахувати кліматичні умови за даними [25]. Дніпропетровська область знаходиться в помірних широтах і має помірно континентальний клімат [25]. У січні спостерігається найнижча температура – мінус 5,5 °С. У липні спостерігається найвища температура – плюс 26,7 °С. Річна кількість опадів 513 мм. Водні ресурси області в середній за водністю рік становлять 52,8 млрд м³. Зокрема, місцевий стік, що формується в межах області, становить 0,825 млрд м³ і 0,381 млрд м³ – запаси підземних вод. Водозабезпеченість в середньому по області становить 0,57 тис. м³ води на душу населення на рік. В порівнянні цей показник по Україні становить 1 тис. м³ на рік, у Європі – 4,6 тис. м³, в Канаді – 99 тис. м³, у світі – 8,2 тис. м³.

Огляд та аналіз наявних систем водопостачання та водовідведення області показує, що вони знаходяться переважно в незадовільному стані, очисні споруди працюють неефективно та потребують ремонту та реконструкції.

У цілому, переважання більшості очисних споруд не спостерігається. Однак, якість очищення стічних вод незадовільна, низка показників перевищує нормативи гранично-допустимого скиду забруднювачів (ГДС) і не дозволяє досягнути категорії “нормативно-очищені”.

Для створення «зеленої» покрівлі на даху торговельно-ділового комплексу «Перехрестя» в м. Дніпро проаналізуємо об'єми опадів в м. Дніпро за 2022 р. (рис. 2). Максимальний об'єм опадів відповідає $O_c = 34$ мм у квітні (кількість днів $z = 30$).

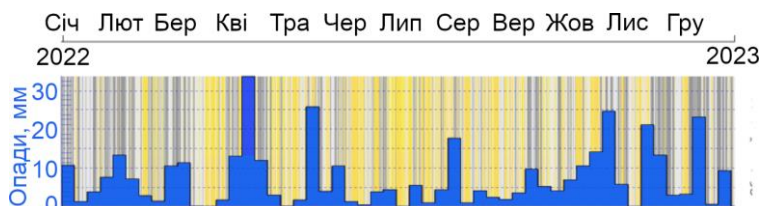


Рис. 2. Об'єм опадів за даними архіву погоди

Розроблення «зеленої» покрівлі з функцією водоутримання та повторного використання води

Задля максимального утримування води було проаналізовано наявні на ринку рішення і прийнято систему «Сад на даху» від компанії Зінко-Україна (рис. 3, 4). Це – система зі спеціально підібраним для цього набором рослин, вологоутримуючими матами і дренажними елементами типу Floradrain® FD 40 [26]. Висота системи 160 мм, маса 180 кг/м², водонакопичення 68 дм³/м² або $H = 68$ мм, співвідношення стоку $C < 30$. Площа даху ТДК «Перехрестя» $S_n = 1192$ м² складається з площі зелених зон $S_{gy} = 544$ м², що утримують воду, та площі пішохідних зон $S_{og} = 648$ м² з водопроникним покриттям, звідки вода відводиться.

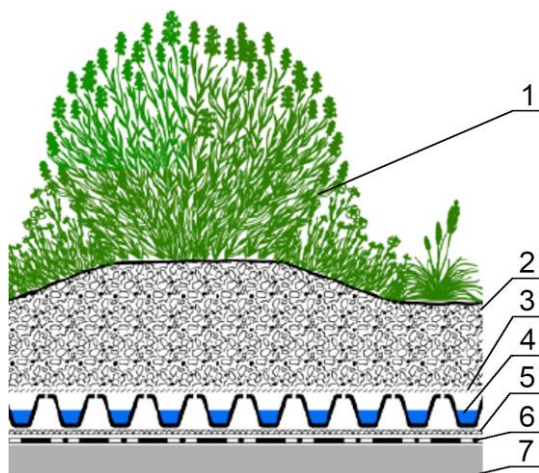


Рис. 3. Схема системи Floradrain® FD 40 [26]: 1 – багаторічні рослини; 2 – системний субстрат «запашні трави»; 3 – системний фільтр SF; 4 – дренажний елемент Floradrain® FD 40-E, FD 40-R (рулон), FD 40-RV (рулон і системний фільтр); 5 – вологоутримувальний захисний мат SSM 45; 6 – протикореневий шар WSF 40; 7 – конструкція даху



Рис. 4. Проект «зеленої» покрівлі:

- монтування дренажного мату Floradrain® FD 40 у пішохідних зонах отворами донизу для швидшого водовідведення ($S_{ee} = 648 \text{ м}^2$);
- монтування дренажного мату Floradrain® FD 40 у зонах насаджень отворами догори для утримування води ($S_{ey} = 544 \text{ м}^2$)

При максимальній зливі на рівні $O_c = 34 \text{ мм}$ запас становить

$$Z = 100 \cdot (H - O_c) / H = 50\%.$$

Таким чином, кліматичні зміни і пов'язане з ними зростання кількості опадів не повинні виснажити можливості водоутримання зелених зон покрівлі. Дощова вода буде повністю утримана зеленими зонами без навантаження на зливове водовідведення.

Теоретична максимальна кількість опадів, яка утримується зеленими зонами даної покрівлі, дм^3 ,

$$W_{ey} = S_{ey} \cdot O_c. \quad (1)$$

За формулою (1) $W_{ey} = 18496 \text{ дм}^3$.

Потреба у воді на полив за [27] становить 3...6 $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{добу})$. Якщо асортимент рослин відповідає відносно невеликій кількості опадів області, приймаємо потребу $q = 3 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{добу})$. Тоді потреба у поливі зелених зон становитиме, $\text{дм}^3/\text{добу}$,

$$Q_n = S_{ey} \cdot q. \quad (2)$$

За формулою (2) $Q_n = 1632 \text{ дм}^3/\text{добу}$. Тоді кількість діб, які покрівлю не слід поливати після максимальної зливи, слід визначати за формулою, діб,

$$n = W_{ey} / Q_n = O_c / q. \quad (3)$$

За формулою (3) покрівлю можна не поливати $n = 11,3$ діб. При цьому залишається невикористаний ресурс дощової води з пішохідних зон об'ємом, м^3 ,

$$W_{ee} = S_{ee} \cdot O_c. \quad (4)$$

За формулою (4) $W_{\text{вв}} = 22032 \text{ дм}^3$. Цю воду доцільно збирати до бака(ів) для подальшого використання. Для максимальної утилізації даного ресурсу об'єм бака(ів) має відповідати $W_{\text{вв}}$ з заокругленням у більший бік – $\Sigma W_{\text{в}} = 23 \text{ м}^3$.

Оптимальний час зберігання води за досвідом становить 2...3 тижні, після чого якість води значно погіршується через біологічні та хімічні процеси. Використання накопиченого об'єму на полив відбуватиметься протягом n_n діб за формулою

$$n_n = W_{\text{вв}} / Q_n = (S_{\text{вв}} / S_{\text{вн}}) \cdot (O_c / q) = (S_{\text{вв}} / S_{\text{вн}}) \cdot n. \quad (5)$$

За залежністю (5) маємо $n_n = 13,5$. Якщо починати полив з бака(ів) після вичерпування утриманої води, зберігати воду в баку прийдеться $n + n_n = 24,8$ дні. Останні 3,5 дні до субстрату потраплятиме вода неналежної якості.

Можна спробувати стратегію поповнення запасів утриманої води шляхом більш інтенсивного поливання, ніж потрібно. При цьому вода знову проходить субстрат і корені рослин, що має очистити її від мікроорганізмів і утворених хімічних забруднювачів. Можливість такої біоремедіації води з продовженням строку зберігання вимагає додаткового експериментального підтвердження.

З іншого боку, бак(и) буде розташовано нижче рівня покрівлі, що вимагатиме застосування насосів для підняття її на полив. Іншою стратегією є використання води для туалетів на нижчих поверхах, що дозволяє скористатися гідростатичним тиском для самоплину. За [27] середня за годину потреба у воді на один унітаз і пісуар громадських туалетів становить, відповідно, 90 і 20 $\text{дм}^3/\text{год}$. При восьмигодинному робочому дні добова потреба становитиме, відповідно, 720 і 160 $\text{дм}^3/\text{год}$. Таким чином, два унітази спорожнять бак(и) за $22032 / (2 \cdot 720) = 15,3$ доби, що відповідає оптимальному режиму експлуатації. Використання баків для більшої кількості санітарних приладів залишається виправданим задля спрощення системи водопостачання відповідних туалетів. Адже спорожнення бака(ів) швидше ніж за 14 діб не погіршує якість води.

Оскільки зміни клімату можуть збільшити кількість опадів, то бак(и) рекомендується проектувати з запасом. На сьогодні методики визначення запасу відсутні, а прогнози залишаються недостатньо обґрунтованими. Тому пропонується приймати запаси з урахуванням можливостей замовника та будівельних конструкцій. У такому разі збільшення кількості санітарних приладів, що обслуговуються, стає виправданим задля підвищення стійкості об'єктів до кліматичних змін.

Висновки

Зелені покрівлі є перспективним напрямком підвищення водної стійкості міст у рамках концепції «міста-губки». Забудова територій погіршує їхній водний режим через порушення водного балансу. Перехід до міста-губки дозволяє максимально відновити цей баланс. На прикладі «зеленої» покрівлі на даху торговельно-ділового комплексу «Перехрестя» в м. Дніпро показано, що зелені зони здатні накопичувати весь об'єм опадів без скидання. Пішохідні зони збирають суттєвий об'єм води, який доцільно збирати в баку(ах) для

подальшого використання на полив або туалети. Подальші дослідження буде спрямовано на врахування прогнозованих кліматичних змін при проєктуванні системи утилізації води від опадів.

Подяки

Дана робота є частиною прикладного дослідження з держбюджетним фінансуванням «Створення перспективних технологій формування безпечного середовища будівель поєднанням "зелених конструкцій", фітодизайну та інженерних систем», номер держреєстрації 0122U001197.

Публікацію підготовлено в рамках проєкту «Багаторівнева місцева, національна та загальнодержавна освіта та навчання в галузі кліматичних послуг, адаптації та пом'якшення наслідків зміни клімату 619285-EPP-1-2020-1-FI-EPPKA2-SVHE-JP». Підтримка Європейською комісією випуску цієї публікації не означає схвалення вмісту, який відображає лише думки авторів, і Комісія не може нести відповідальність за будь-яке використання інформації, що міститься в ній.



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



REFERENCES

1. Zhu, M. Q. (2012). Green construction concept in assessment system for Green Building. *Advanced Materials Research*, 507, 142–146. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.507.142>
2. Digital Cement. (2011, May 10). *Exbrief Cement MAY2011*. WBCSD Cement. Executive Brief / March 2011. Retrieved March 26, 2023, from https://www.dcement.com/UploadFiles/CSI_UploadFiles_7000/201108/2011083111385307.pdf
3. Maglad, A. M., Houda, M., Alrowais, R., Khan, A. M., Jameel, M., Rehman, S. K., Khan, H., Javed, M. F., & Rehman, M. F. (2023). BIM-based energy analysis and optimization using insight 360 (case study). *Case Studies in Construction Materials*, 18, e01755. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01755>
4. Wu, Z. (2023). Performance Analysis of New Energy-saving and environment-friendly materials for building decoration based on the whole life cycle. *Journal of Experimental Nanoscience*, 18(1), 2170358. <https://doi.org/10.1080/17458080.2023.2170358>
5. Oloruntobi, O., Mokhtar, K., Mohd Rozar, N., Gohari, A., Asif, S., & Chuah, L. F. (2023). Effective technologies and practices for reducing pollution in warehouses - A Review. *Cleaner Engineering and Technology*, 13, 100622. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2023.100622>
6. Voznyak, O., Savchenko, O., Spodyniuk, N., Sukholova, I., Kasynets, M., & Dovbush, O. (2022). Improving of ventilation efficiency at air distribution by the Swirled Air Jets. *Pollack Periodica*, 17(1), 123–127. <https://doi.org/10.1556/606.2021.00419>
7. Zhelykh, V., Voznyak, O., Yurkevych, Y., Sukholova, I., & Dovbush, O. (2021). Enhancing of energetic and economic efficiency of air distribution by swirled-compact air jets. *Production Engineering Archives*, 27(3), 171–175. <https://doi.org/10.30657/pea.2021.27.22>
8. Fan, H., Zhang, N., & Su, H. (2023). The effects of smart city construction on Urban Green Total Factor Productivity: Evidence from China. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 36(1), 2181840. <https://doi.org/10.1080/1331677x.2023.2181840>
9. Tkachenko, T., & Mileikovskiy, V. (2020). Methodology of thermal resistance and cooling effect testing of green roofs. *Songklanakarın Journal of Science and Technology*, 42(1), 50–56. <https://doi.org/10.14456/sjst-psu.2020.8>

10. Krivenko, O., Mileikovskiy, V., & Tkachenko, T. (2018). The principles of energy efficient microclimate provision in the skyscraper “biotecton” of 1 km height. *European Journal of Engineering and Formal Sciences*, 2(3), 66–75. <https://doi.org/10.26417/ejef.v2i3.p66-75>
11. Tkachenko, T., & Mileikovskiy, V. (2019). Solution of sick building syndrome problem using indoor plants. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*, 6(2019)(3), 405–411. https://procedia-esem.eu/pdf/issues/2019/no3/48_Tkachenko_19.pdf
12. Tkachenko, T., & Mileikovskiy, V. (2018). Geometric basis of the use of “Green constructions” for Sun Protection of glazing. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 809, 1096–1107. https://doi.org/10.1007/978-3-319-95588-9_94
13. Tkachenko, T., Mileikovskiy, V., & Ujma, A. (2019). Field study of air quality improvement by a “Green roof” in Kyiv. *System Safety: Human - Technical Facility - Environment*, 1(1), 419–424. <https://doi.org/10.2478/czoto-2019-0054>
14. Voloshkina, O., Tkachenko, T., Sipakov, R., & Tkachenko, O. (2019). The estimation and reduction of risks caused by air pollution in cities. *Budownictwo o Zoptymalizowanym Potencjale Energetycznym*, 8(2/2019), 17–25. <https://doi.org/10.17512/bozpe.2019.2.02>
15. Tkachenko, T. (2018). Energy efficiency of “green structures” in cooling period. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(3.2), 453–457. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i3.2.14570>
16. Zhou J., Pang Y., Fu G., Wang H., Zhang Y., & Memon F. A. (2018). A review of urban rainwater harvesting in China. *Journal Of Water Reuse And Desalination*, 13(1), 041. <https://doi.org/10.2166/wrd.2023.041>
17. Chen, J., Li, Y., & Zhang, C. (2023). The effect of design rainfall patterns on urban flooding based on the Chicago method. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(5), 4245. <https://doi.org/10.3390/ijerph20054245>
18. Environmental Protection Agency. (2023, February 7). *Green and Gray Infrastructure Research*. EPA. <https://www.epa.gov/water-research/green-and-gray-infrastructure-research>
19. Interfax-Ukraine. (2019, November 7). *Velyki mista ta ikhni zhyteli naibilsh urazlyvi pered ekolohichnymi katastrofamy – ekspert*. Interfax-Ukraine. <https://interfax.com.ua/news/general/623225.html> [in Ukrainian].
20. Wang, M., Yuan, H., Zhang, D., Qi, J., Rao, Q., Li, J., & Keat Tan, S. (2023). Supply-demand measurement and spatial allocation of sponge facilities for Sponge City Construction. *Ecological Indicators*, 148, 110141. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110141>
21. Public Law 115–436, *Water Infrastructure Improvement Act* (2019). Washington. <https://www.congress.gov/115/plaws/publ436/PLAW-115publ436.pdf>
22. Hlushchenko, R., Tkachenko, T., Mileikovskiy, V., Kravets, V., & Tkachenko, O. (2022). “Green structures” for effective rainwater management on roads. *Production Engineering Archives*, 28(4), 295–299. <https://doi.org/10.30657/pea.2022.28.37>
23. Tkachenko, T.M. & Prokopenko, I.O. (2020). Calculation of maintenance of surface drainage roofing of a German manufacturer. *Environmental Safety and Natural Resources*, 35(3), 44–56. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2020.3.44-56> [in Ukrainian].
24. Southwest Michigan Planning Commission. (2009). *Planning and Zoning for Water Quality Protection in the Black River Watershed*. Benton Harbor, Michigan; Southwest Michigan Planning Commission. Retrieved May 20, 2023, from https://www.swmpc.org/downloads/report_planning_and_zoning_1.pdf
25. Department of Ecology and Natural Resources of Dnipropetrovsk Regional Military Administration. (2022). *Regional report on the state of the natural environment in the Dnipropetrovsk region for 2021*. Dnipro; Department of Ecology and Natural Resources of Dnipropetrovsk Regional Military Administration. <https://adm.dp.gov.ua/storage/app/media/Pro%20oblast/Ekolojiia/Rehionalna%20dopovid%20ta%20Ekolohichniyi%20pa sport/Rehionalna%20dopovid%20pro%20stan%20navkolyshnoho%20pryrodoho%20sere dovyscha%20v%20Dnpr.obl./REHIONALNA%20DOPOVID%20pro%20stan%20navkolyshnoho%20pryrodoho%20sere dovyscha%20u%202021%20rotsi.pdf> [in Ukrainian].

26. Stuckmann, M. P. (n.d.). *Perennial Garden Chart*. *Perennial Garden Chart | ZinCo Green Roof Systems USA*. <https://zinco-usa.com/node/574>

27. Bovkun, Zh., Kashlikov, M., Pavlyk, L., & Kasimova, N. (2013). *Vnutrishnii vodoprovod ta kanalizatsiia*. *DBN V.2.5-64:2012*. Kyiv. Minrehion.

Стаття надійшла до редакції 22.05.2023 і прийнята до друку після рецензування 24.08.2023

The article was received 22.05.2023 and was accepted after revision 24.08.2023

Глущенко Роман Олександрович

аспірант, Київський національний університет будівництва і архітектури

Адреса робоча: Повітрофлотський проспект, 31, м. Київ, 03037, Україна

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2863-1480> **e-mail:** gr2017inc@gmail.com

Ткаченко Тетяна Миколаївна

докт. техн. наук, професорка, завідувачка кафедри, Київський національний університет будівництва і архітектури

Адреса робоча: Повітрофлотський проспект, 31, м. Київ, 03037, Україна,

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2105-5951> **e-mail:** tkachenkoknuba@gmail.com