

АНОТАЦІЯ

Глущенко Р.О. Удосконалення системи дощової каналізації за допомогою «зелених» конструкцій. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 101 – Екологія. – Київський національний університет будівництва і архітектури Міністерства освіти і науки України, Київ, 2023.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню задачі запобігання затоплень міських територій з використанням технології «зелених» конструкцій, що є вкрай актуальним в умовах сьогодення для України та світу, зокрема для повоєнної відбудови інфраструктури та будівельних об'єктів.

Аналіз літературних джерел показав, що «зелені конструкції» є перспективною технологією управління дощовими стоками. Зелені дахи здатні захоплювати та затримувати дощову воду, що потрапляє на будинок. Її можна збирати в накопичувальні баки для повторного використання. Необхідно провести дослідження цієї води для визначення її сфери застосування.

Воду з ґрунту та доріжок можуть збирати дощові сади – спеціально облаштовані ділянки ґрунту. Також важливим елементом є водопроникні тротуари та «зелені» місця для паркування. Залишається невирішеним для кліматичних умов України збирання й видалення дощових вод безпосередньо з проїзних частин.

Ефективним рішенням є зелені вулиці та алеї, що поєднують більше ніж одну функцію для збору та очищення дощової води. Зелені вулиці та алеї створюються шляхом інтеграції елементів зеленої інфраструктури в їх дизайн для утримання, зберігання та фільтрації дощової води. Проникний тротуар, біопокриття й дерева є елементами, які можна вплести в дизайн зеленої вулиці чи алеї

На підставі проведеного аналізу створено концепцію природного управління дощовими стоками на урбанізованих територіях. Концепція визначає місце кожного елемента, що бере участь у збиранні та затриманні дощової води.

Для ефективного зменшення потоків дощової води досліджено три моделі

«зеленої покрівлі» ZinCo різних систем. «Седумний килим» Florafrain FD25, «Запашні трави» Florafrain FD40 та «Сад на даху» Florafrain FD60 площею 1 м². Перша модель показала найшвидше пропускання води – 1,63дм³/добу. Друга модель найкраще затримує воду – 0,62 дм³/добу. Тому вона рекомендується для управління дощовими водами.

Для повторного використання дощових стоків з «зеленої» покрівлі виконано натурні дослідження стоків з зеленої та неозеленої покрівлі житлового комплексу «Республіка». За всіма показниками вода з «зеленої покрівлі» відповідає стандартам для питної води.

Для безпосереднього швидкого і рівномірного збирання дощової води з проїхних частин доріг з подальшим її очищенням розроблено інноваційну систему зеленого каналу. Його шари – паркувальна решітка ФЕМ, щебенево-піщана суміш (ЩПС) фракції 0-5 мм, пісок дрібнозернистий природний $\rho = 1,63 \text{ т/м}^3$, щебінь фракції 10-20 мм, труба ПВХ дренажна перфорована $\varnothing 100-200$. Експериментальні дослідження каналу виконано шляхом проливання системи водою з розрахунку 8 дм³ на погонний метр. При виливанні води за 10 с рівень води досяг лише 30 мм. Досліди показали, що ці 8 дм³ води на погонний метр канал пропускає за 4 хв. При режимі опадів м. Києва за 2021-2022 р. показник ефективності каналу становить 2,7...4,33. Для Повітрофлотського проспекту м. Києва об'єм дощу 1,28 мм/хв буде поглинуто каналами з обох боків проїхних частини менше ніж за 39 с.

«Зелені» місця для паркування мають значний потенціал поглинання дощової води, а крім того, зниження температури – боротьби з ефектом теплового острова. Загальна площа офіційно визнаних місць для паркування Києва сягає 215 925 м². Загальне поглинання води цими паркомісцями становить 6677 м³ дощової води, яка на сьогодні навантажує міську зливову каналізацію.

Практичне застосування розроблених рішень показано на прикладі проекту «зеленої» покрівлі площею 350 м² на головному корпусі Київського національного університету будівництва і архітектури. Було проаналізуємо кількість опадів в м. Київ за 2022 р. Максимальний об'єм опадів у теплий період року 63,1 мм у вересні. Прийнято систему «Запашні трави» від компанії Zin-Co

зі спеціально підібраним для цього набору рослин, вологоутримувальними матами і дренажними елементами типу Floradrain® FD40. Площі зелених зон 250 м², що утримують воду, та площі пішохідних зон 100 м² з водопропускним покриттям, звідки вода відводиться.

При максимальній зливі за відсутності накопичення води 10 % її не буде утримано і потрапить у дощову каналізацію. Пропонується два варіанти: створити оборотне понаднормове поливання. При цьому вода знову прохідиме субстрат і корені рослин, що має очистити її від мікроорганізмів і утворених хімічних забруднювачів і продовжить строк зберігання в баку. Це потребуватиме насосів.

Іншою стратегією є використання води для туалетів на нижчих поверхах, що дозволяє скористатися гідростатичним тиском для самоплину. Два унітази спорожнюють бак за 10,4 доби. Оскільки строк зберігання води в баку без погіршення її якості становить 14 діб, таке рішення є обґрунтованим.

Також практичне застосування результатів досліджень показано на прикладі проєкт з встановленням акумулюючих баків для накопичення дощової води з покрівлі у приміщеннях підвального поверху багатоквартирного будинку в житловому комплексі «ФАЙНА ТАУН» в Києві з метою переведення поливального водопроводу на вторинне джерело – стічні води з «зеленої» покрівлі.

Проаналізовано показники водолічильних вузлів системи поливу житлового комплексу «ФАЙНА ТАУН» в м. Київ за період 04.2022р. до 09.2022р. та порівняно з кількістю опадів за аналогічний період для розрахунку об'єму та кількості накопичувальних баків (акумулюючих резервуарів) які необхідні для покриття потреб у воді системи.

Показано, що на першу чергу будівництва загальною площею покрівлі 4208 м² достатньо встановити 8 баків по 6 м³. Розроблено систему поливального водопроводу з живленням від накопичувальних баків та центрального водопостачання з пріоритетом за баками.

Порівняння з показами лічильника показало можливість заощадити до 90 %, витрат на використання централізованого водопостачання.

Ключові слова: дощовий стік, зелена конструкція, зелена покрівля, зелене місце для паркування, водопропускне покриття, проїзжа частина, зелений канал, накопичувальний бак.

ABSTRACT

Hlushchenko R.O. Improvement of the rainwater drainage system using "green" structures. – Qualifying scientific work on the rights of manuscript.

Thesis for obtaining the degree of Philosophy Doctor in the specialty 21.06.01 - environmental safety (101 - Ecology). - Kyiv National University of Construction and Architecture of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2023.

The dissertation is dedicated to solve the problem of preventing flooding of urban areas using the technology of "green" structures, which is extremely relevant in today's conditions for Ukraine and the world, in particular for the post-war reconstruction of infrastructure and construction objects.

The analysis of literary sources showed that "green constructions" are a promising technology for rainwater management. Green roofs are able to capture and retain rainwater that falls on the house. It can be collected in storage tanks for reuse. It is necessary to conduct a study of this water to determine its scope of application.

Water from the soil and paths can be collected by rain gardens – specially arranged areas of the soil. Water-permeable pavements and "green" parking spaces are also important elements. The collection and removal of rainwater directly from roadways remains unresolved for the climatic conditions of Ukraine.

An effective solution is green streets and alleys that combine more than one function to collect and purify rainwater. Green streets and avenues are created by integrating elements of green infrastructure into their design to capture, store and filter rainwater. Permeable pavement, bio-cover and trees are elements that can be woven into the design of a green street or alley

On the basis of the conducted analysis, the concept of natural management of rainwater run-off in urbanized areas was created. The concept defines the location of each element involved in the collection and retention of rainwater.

In order to effectively reduce rainwater flows, three models of ZinCo "green

roof" of different systems were investigated. "Sedum Carpet" Florafrain FD25, "Scented Herbs" Florafrain FD40 and "Roof Garden" Florafrain FD60 with an area of 1 m². The first model showed the fastest water flow – 1.63 dm³/day. The second model retains water the best – 0.62 dm³/day. Therefore, it is recommended for rainwater management.

For the reuse of rainwater run-off from the "green" roof, field studies of run-off from the green and ungreened roofs of the residential complex "Respublika" were performed. By all indicators, the water from the "green roof" meets the standards for drinking water.

An innovative system of the green channel has been developed for direct, fast and uniform collection of rainwater from roadways with subsequent cleaning. Its layers are a FEM parking grid, crushed stone-sand mixture fraction 0-5 mm, fine-grained natural sand $\rho = 1.63 \text{ t/m}^3$, crushed stone fraction 10-20 mm, perforated PVC drainage pipe $\varnothing 100-200$. Experimental studies of the channel were performed by pouring the system with water at the rate of 8 dm³ per linear meter. When pouring water in 10 seconds, the water level reached only 30 mm. Experiments have shown that the channel passes these 8 dm³ of water per linear meter in 4 minutes. With the rainfall regime of the city of Kyiv for 2021-2022, the efficiency index of the channel is 2.7...4.33. For Povitroflotskiy Avenue in Kyiv, a volume of rain of 1.28 mm/min will be absorbed by channels on both sides of the roadway in less than 39 seconds.

"Green" parking spaces have a significant potential for absorbing rainwater, and in addition, reducing the temperature – combating the heat island effect. The total area of officially recognized parking spaces in Kyiv reaches 215925 m². The total absorption of water by these parking spaces is 6,677 m³ of rainwater, which currently loads the city's storm sewerage.

The practical application of the developed solutions is shown on the example of the "green" roof project with an area of 350 m² on the main building of the Kyiv National University of Construction and Architecture. We analysed the amount of precipitation in the city of Kyiv for 2022. The maximum amount of precipitation in the warm period of the year is 63.1 mm in September. The "Fragrant Herbs" system by the Zin-Co company was adopted with a specially selected set of plants, moisture-retaining

mats and drainage elements Floradrain® FD40. Areas of green zones of 250 m², which retain water, and areas of pedestrian areas of 100 m² with a permeable coating, from where water is diverted.

At maximum rainfall, in the absence of water accumulation, 10 % of it will not be retained and will enter the storm sewerage. Two options are offered: create reversible overtime watering. At the same time, the water will again pass through the substrate and plant roots, which should clean it of microorganisms and formed chemical pollutants and extend the storage period in the tank. This will require pumps.

Another strategy is to use water for toilets on lower floors, which allows taking advantage of hydrostatic pressure for self-flow. Two toilets empty the tank in 10.4 days. Since the term of storage of water in the tank without deterioration of its quality is 14 days, such a decision is justified.

Also, the practical application of the research results is shown on the example of a project with the installation of storage tanks for the accumulation of rainwater from the roof in the basement of an apartment building in the "Faina Taun" residential complex in Kyiv with the aim of transferring the irrigation water supply to a secondary source – wastewater from the "green" roof .

The indicators of the water metering units of the irrigation system of the residential complex "Faina Taun" in Kyiv for the period from April until September 2022 were analysed and compared with the amount of precipitation for the same period to calculate the volume and number of storage tanks that are necessary to cover the water needs of the system.

It is shown that for the first stage of construction with a total roof area of 4208 m², it's enough to install 8 tanks of 6 m³. A system of irrigation water supply with power from storage tanks and central water supply with priority by tanks has been developed.

A comparison with the readings of the meter showed the possibility of saving up to 90 % of the costs of using centralized water supply.

Keywords: rainwater run-off, green structure, green roof, green parking space, permeable pavement, carriageway, green channel, storage tank.

Список публікацій здобувача:

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Глущенко Р., Ткаченко Т. Збереження, якість та використання дощової води після «зеленої» покрівлі. Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. – Вип. 42, К.: КНУБА, 2023. – С. 4-12. **(Фахове видання)**

Особистий внесок здобувача полягає у зборі проб дощової води для хімічного аналізу в лабораторії; формування пропозиції щодо встановлення та розрахунку накопичувальних баків для дощової води у житловому будинку.

2. Hlushchenko R., Tkachenko T., Mileikovskiy V., Kravets V., Tkachenko O. Green structures for effective rainwater management on roads. Production Engineering Archives. 2022. Vol. 28. Iss. 4. P. 295–299. ISSN 2353-5156, 2353-7779 **(SCOPUS Q2, WoS)**

Особистий внесок здобувача полягає у формуванні концепції відведення надлишку дощових вод з автошляхів.

3. Глущенко Р. О., Ткаченко Т. М., Мілейковський В. О. Ефективне відведення дощової води з доріг Дощовими садами-смугами у концепції міста-губки. Екологічна безпека та природокористування. – Вип. 40. - К.: КНУБА, 2021. – С. 48-61. **(Фахове видання)**

Особистий внесок здобувача полягає у виявленні етапів виникнення об'ємів дощового стоку та шляхи їх розподілу.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

4. Tkachenko T., Voloshkina O., Mileikovskiy V., Sipakov R., Hlushchenko R., Tkachenko O. Using Rain-Garden Bands for Rainwater Drainage from Roads. World Environmental and Water Resources Congress 2023. Reston: ASCE, 2023, P. 1207-1214 **(SCOPUS)**

Особистий внесок здобувача полягає у розробленні технічного рішення для збору дощової води з багаторівневих доріг.

5. Ткаченко Т. М. Глущенко Р. О. Зелені покрівлі на поверхнях бетонних мегаполісів. Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції «Green Construction» («Зелене будівництво»). Київ: Київський національний університет будівництва і архітектури. 2023, С. 66-69.

Особистий внесок здобувача полягає у розрахунку об'єму дощового стоку на поверхні даху з системою «зеленої» покрівлі.

6. Ткаченко Т., Мілейковський В., Глущенко Р. Наслідки підриву Каховської ГЕС та їхня компенсація методами зеленого будівництва. Екотехногенні наслідки руйнування гідротехнічних споруд. Прогнози та перспективи відновлення: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції 20 червня 2023 р. – Київ: КНУБА, 2023. – С. 9-11.

Особистий внесок здобувача полягає у розробці проєкту «зеленої» покрівлі для навчального корпусу КНУБА.

7. Глущенко Р. О., Ткаченко Т. М. Можливості використання дощової води після фільтрації зеленими покрівлями. Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування. VII Міжнародний конгрес, 12-14 жовтня 2022, Україна, Львів: Збірник матеріалів — Київ: Яроченко Я. В., 2022. — С.98.

Особистий внесок здобувача полягає у дослідженні показників хімічного складу дощової води після системи «зеленої» покрівлі та подальше її вторинне використання.

8. Ткаченко Т., Мілейковський В., Глущенко Р., Ткаченко О. "Зелені конструкції" – перспективна біотехнологія післявоєнного відновлення будівель. Міжнародна науково-практична конференція «Екологія, ресурси, енергія», Київ, 23-25 листопада 2022 р. Робоча програма та тези доповідей. Київ, 2022. С. 12-13.

Особистий внесок здобувача полягає у визначенні місця «зелених» конструкцій у системі «зеленого» будівництва.

9. Tkachenko T., Hlushchenko R., Mileikovskiy V., Ujma A. Effective drainage of rainwater from roads by rain gardens-strips in the concept of the city-

sponge. II Міжнародна науково-практична конференція «Екологія. Ресурси. Енергія», 24-26 листопада 2021 р. – К.: КНУБА. – С. 41-42.

Особистий внесок здобувача полягає у виявленні етапів виникнення об'ємів дощового стоку та шляхи їх розподілу.

10. Глущенко Р. О., Ткаченко Т. М. Зелені технології для регулювання дощових стоків. Актуальні проблеми, пріоритетні напрямки та стратегії розвитку України: тези доповідей I Міжнародної науково-практичної онлайн-конференції, м. Київ, 15 березня 2021 року/ редкол. О.С. Волошкіна та ін. – К.: ІТТА, 2021. – С. 51-53.

Особистий внесок здобувача полягає у обґрунтуванні проблеми затоплень міст та напрямки щодо їх вирішення за допомогою «зелених» конструкцій.

11. Hlushchenko R. O., Tkachenko T. M. "Green" technologies as an element of the sustainable development system. Тези доповідей IV міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні технології в архітектурі і дизайні», 21-22 травня 2020 року, Харків: ХНУБА. 2020. С. 12-14.

Особистий внесок здобувача полягає у обґрунтуванні місця «зелених» конструкцій в концепції сталого розвитку.

12. Ткаченко Т. М., Глущенко Р. О. Регулювання дощових стічних вод за допомогою зелених конструкцій. Зелене будівництво: Матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції. – Миколаїв: Видавець Торубара В.В., 2019. – С.46-47.

Особистий внесок здобувача полягає у пропонуванні методів регулювання дощових стічних вод за допомогою «зелених» конструкцій.