

12. Hrashchenko Iryna, Krasnyuk Maxim, Krasniuk Svitlana (2020). Iterative methodology of bankruptcy forecast of logistic companies in emerging markets, taking into account global/regional crisis. *Collection of scientific works Problems of the systemic approach in economics*, 2020, vol. 1(75), pp. 138-147.
13. Qiao K. et al. An evolutionary multitasking optimization framework for constrained multiobjective optimization problems // *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*. – 2022. – T. 26. – №. 2. – C. 263-277.
14. Tan K. C., Feng L., Jiang M. Evolutionary transfer optimization-a new frontier in evolutionary computation research // *IEEE Computational Intelligence Magazine*. – 2021. – T. 16. – №. 1. – C. 22-33.
15. Liang J. et al. A survey on evolutionary constrained multiobjective optimization // *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*. – 2022. – T. 27. – №. 2. – C. 201-221.
16. Zhan Z. H. et al. A survey on evolutionary computation for complex continuous optimization // *Artificial Intelligence Review*. – 2022. – T. 55. – №. 1. – C. 59-110.
17. Krasnyuk, M. (2014). Hybridization of intelligent methods of business data analysis (anomaly detection mode) as a standard tool of corporate audit. *The state and prospects of the development Education and science of today: materials of the III International science and practice conf.* [m. Ternopil, October 10-11. 2014]. TNEU, 2014. pp. 211-212 [in Ukrainian].
18. Telikani A. et al. Evolutionary machine learning: A survey // *ACM Computing Surveys* (CSUR). – 2021. – T. 54. – №. 8. – C. 1-35.

UDC 628.21:711.4

DOI: <https://doi.org/10.64076/iedc251104.15>

Rational stormwater management: international experience for building climate-resilient Ukrainian communities

Mykola Riabyka

Lviv Polytechnic National University, Lviv

<https://orcid.org/0009-0006-8240-5782>

Abstract. *The crisis in stormwater management is intensifying due to climate change and urbanization. Traditional centralized systems have proven ineffective under conditions of heavy rainfall. This paper examines international experience in implementing sustainable stormwater management practices that employ nature-based solutions and institutional mechanisms. The study highlights the importance and feasibility of applying global approaches to foster climate-resilient communities in Ukraine.*

Keywords: *stormwater management, green infrastructure, water-sensitive urban design, climate change adaptation, nature-based solutions.*

Рациональне управління дощовою водою: міжнародний досвід для формування кліматично стійких українських громад

Микола Рябика

Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів

<https://orcid.org/0009-0006-8240-5782>

Анотація. Криза у сфері управління дощовою водою загострюється внаслідок зміни клімату та урбанізації. Традиційні централізовані системи виявляються неефективними в умовах інтенсивних опадів. У матеріалі розглянуто міжнародний досвід впровадження раціональних практик управління дощовою водою із застосуванням природоорієнтованих рішень і інституційних механізмів. Дослідження підтверджує важливість і можливість використання світових практик для формування кліматично стійких громад в Україні.

Ключові слова: управління дощовою водою, зелена інфраструктура, водочутливий міський дизайн, адаптація до зміни клімату, природоорієнтовані рішення.

В умовах зміни клімату традиційна модель управління дощовою водою, що базується на швидкому відведенні через централізовану каналізаційну систему, демонструє критичні обмеження. Зростання інтенсивних опадів призводить до перевантаження інфраструктури, забруднень і затоплень. У цьому контексті актуальним стає вивчення міжнародного досвіду управління дощовою водою. У різних країнах світу дедалі ширше застосовуються природоорієнтовані рішення, що поєднують інженерну ефективність, екологічну доцільність і соціальну користь, інтегруючись у нормативні, фінансові та освітні політики.

У європейських містах формуються цілісні стратегічні підходи до управління дощовою водою. Місто Берлін (Німеччина) системно впроваджує концепцію "місто-губка" [1]: програма зеленої інфраструктури впродовж 2017-2022 років забезпечила реалізацію понад 100 об'єктів, включно з 60 зеленими дахами та 40 дощовими садами, що зменшило пікові навантаження на каналізацію до 30% [2]. Підземні резервуари на Потсдамській площі об'ємом понад 3500 м³ збирають дощову воду для систем охолодження, поливу та поповнення ґрунтових вод [3], а житловий район Шумахер у місцевості Тегель не підключений до централізованої каналізації – у ньому впроваджено трирівневу систему з перехоплення дощової води зеленими дахами, тимчасового зберігання у резервуарах і поступової інфільтрації [4]. Правовий механізм підтримується податком на дощові стоки та субсидіями, і контролюється агентством із управління дощовою водою [2].

Ще один приклад – стратегічний план "ParisPluie" міста Париж (Франція), у якому передбачено зонування території громади за рівнем водного навантаження, встановлено нормативи щодо допустимих обсягів скидання

дощової води та впровадження обмежень на нове будівництво [5]. Згідно цього плану забудовники мають передбачати рішення щодо утримання опадів на місці з використанням зелених дахів, резервуарів і водонепроникних покриттів. Окрему увагу приділяють повторному використанню дощової води для поливу рослин, прибирання вулиць і для інших технічних потреб [6].

Місто Сан-Франциско (Сполучені Штати Америки) демонструє амбітні підходи до інтеграції у бюджетні заклади раціональних рішень управління дощовою водою. Для закладів освіти ключову роль відіграє програма "*Tap the Sky*", в межах якої до 2023 року було реалізовано понад 2200 активностей зі встановлення накопичувальних резервуарів, облаштування дощових садів, висадки дерев, демонтажу водонепроникних покриттів, що дозволило акумулювати близько 49210 м³ дощової води. Ці заходи сприяли зниженню навантаження на каналізаційну інфраструктуру, а також забезпечили альтернативне джерело води для поливу зелених зон і технічного обслуговування шкільних об'єктів [7]. Подібні системи також активно впроваджуються у інших установах: Музеї сучасного мистецтва, кампусі Університету Каліфорнії, круїзному терміналі, громадських їдальнях і житлових комплексах із соціальним призначенням. Наприклад, у Музеї науки "*Exploratorium*" використовується система збору дощової води об'ємом понад 1200 м³, що дозволяє щорічно заощаджувати до 3785 м³ питної води [8].

Ключовим інструментом системного впровадження практик раціонального використання води у місті Сан-Франциско є локальний правовий акт – Ординанс про непитну воду, що зобов'язує у нових будівлях площею понад 9290 м² впроваджувати системи збирання, очищення та повторного використання альтернативних джерел води. До таких джерел віднесено дощову воду, конденсаційну вологу, воду з охолоджувальних систем, воду дренажу та, за окремих умов, очищені стоки. Зібрана рідина використовується для змиву у туалетах, поливу рослин, охолодження технічних систем і прибирання. Очікуваний ефект від реалізації Ординансу полягає у зменшенні споживання питної води на 25-30% у нових багатофункціональних будівлях [9].

Поряд із європейськими та американськими прикладами країни Азії демонструють не менш ефективні моделі. Зокрема, Південна Корея формує системну державну політику управління дощовою водою з початку 2000 років, коли було запроваджено перші тематичні нормативні документи [10]. Так, уряд країни ухвалив Закон про сприяння та підтримку повторного використання води, згідно з яким місцеві органи влади зобов'язані надавати технічну та фінансову підтримку для встановлення систем збору дощової води [11]. У 2010-2018 роках кількість таких систем в країні зросла майже у 8 разів. Понад 95% зібраної води використовується для технічних потреб [12].

Практики використання дощової води присутні також в Індії. Показовим прикладом є штат Тамілнад, який у 2001 році став першим у країні, де уряд зробив обов'язковим облаштування систем збору дощової води для всіх будівель. Це стало реакцією на хронічну нестачу води після особливо посушливих років і деградації водозабірних територій. Станом на пізніший період понад 2,3 мільйона будівель у панчаятах (місцевих общинах) були оснащені системами збору дощової води і впродовж п'яти років рівень підземних вод у столиці штату місті Ченнай зріс на 50%. Успіх моделі Тамілнаду згодом був адаптований у інших штатах країни [13; 14].

У свою чергу, держава-континент Австралія демонструє ефективність впровадження рішень зі збору дощової води у зовсім іншому контексті – транспортній інфраструктурі. Так, у місті Мельбурн у 2023 році було реалізовано пілотну програму зі встановлення 30 зупинок громадського транспорту, обладнаних системами збору дощової води, кожна з яких може зберігати до 3000 літрів, зменшуючи експлуатаційні витрати на 15-25% [15].

Міжнародний досвід управління дощовою водою демонструє перехід від традиційних централізованих систем до децентралізованого підходу, що поєднує екологічні, інженерні та соціальні аспекти. Досвід громад на різних континентах свідчить, що раціональне управління дощовою водою забезпечує значне зниження навантаження на інженерні мережі, створює альтернативні джерела водопостачання і підвищує кліматичну стійкість. Адаптація представлених практик до українських реалій через формування відповідного нормативно-правового поля та фінансових механізмів стимулювання становить перспективний напрям для розвитку кліматично стійких громад в умовах урбанізації та зміни клімату.

Список використаних джерел

1. Germany's sponge cities to tackle heat and flooding. URL: https://www.oecd.org/en/publications/ipac-policies-in-practice_22632907-en/germany-s-sponge-cities-to-tackle-heat-and-flooding_7b6caa58-en.html (дата звернення: 03.11.2025).
2. Berliner Regenwasseragentur. URL: <https://interlace-hub.com/berlin-rainwater-agency> (дата звернення: 03.11.2025).
3. Potsdamer Platz. URL: <https://urbangreenbluegrids.com/projects/potsdamer-platz-berlin-germany> (дата звернення: 03.11.2025).
4. Forecast-Based Rainwater Management. URL: <https://futr-hub.urbantechrepublic.de/en/sustainable-forecast-based-rainwater-management> (дата звернення: 03.11.2025).
5. ParisPluie, URL: <https://paris.fr/pages/le-plan-parispluie-5618> (дата звернення: 03.11.2025).
6. Guide d'accompagnement pour la mise en œuvre du zonage pluvial à Paris. – Paris. URL: <https://cdn.paris.fr/paris/2019/07/24/843a7be4c5c6c532a4eaab07a15724da.pdf> (дата звернення: 03.11.2025).

7. How San Francisco schools are digging deep to weather climate change. URL: <https://www.cbsnews.com/sanfrancisco/news/how-san-francisco-schools-are-digging-deep-to-weather-climate-change> (дата звернення: 03.11.2025).

8. Onsite Water Recycling. URL: https://watereuse.org/wp-content/uploads/2023/11/OnsiteWaterTreatment_2022_v8.pdf (дата звернення: 03.11.2025).

9. San Francisco's Non-potable Water Ordinance Updates. URL: <https://bacwa.org/wp-content/uploads/2022/01/SFPUC-Non-Potable-Water-Ordinance-Updates-2022-01-18.pdf> (дата звернення: 03.11.2025).

10. Lee, J.Y., Han, M.Y., Kim, H. Review on codes and application of urban rainwater harvesting utilization : Focused on case study in South Korea // International Journal of Urban Sciences. – 2010. – Vol. 14, № 3. – P. 307–319.

11. Jin Y., Lee S., Kang T., Park J., Kim Y. Capacity Optimization of Rainwater Harvesting Systems Based on a Cost–Benefit Analysis: A Financial Support Program Review and Parametric Sensitivity Analysis // Water. – 2023. – Vol. 15, № 1. – Article 186. – URL: <https://doi.org/10.3390/w15010186> (дата звернення: 03.11.2025).

12. New solutions for water resources management in South Korea. URL: <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2022/03/Water-Report-New-solutions-for-water-resources-management-in-South-Korea%20DEF.pdf> (дата звернення: 03.11.2025).

13. Mangottiri V. and Narayanan N. An investigation on the adaptability of residential RWH in Tamil Nadu // Water Supply – 2021. – Vol. 21, № 5. – P. 1927–1938. – URL: <https://iwaponline.com/ws/article/21/5/1927/77596/An-investigation-on-the-adaptability-of> (дата звернення: 03.11.2025).

14. Chennais groundwater hits new high. URL: https://timesofindia.indiatimes.com/home/environment/developmental-issues/chennais-groundwater-hits-new-high/article-show/3303868.cms?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 03.11.2025).

15. Sustainable Practices in Bus Stop Construction: Melbourne's Green Initiatives. URL: <https://infra-projects.com.au/sustainable-practices-in-bus-stop-construction-melbournes-green-initiatives> (дата звернення: 03.11.2025).

