

16. Saloux E., Candanedo J.A. Optimal rule-based control for the management of thermal energy storage in a Canadian solar district heating system. *Solar Energy*. 2020. Vol. 207. P. 1191–1201. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.07.046>

17. Fiorentini M., Heer P., Baldini L. Design optimization of a district heating and cooling system with a borehole seasonal thermal energy storage. *Energy*. 2023. Vol. 262. P. 125464. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125464>

18. Лисак О. В. Аналіз системи центрального тепlopостачання за використання сезонного геотермального акумулювання в комбінації з системою виробництва та споживання водню. *Відновлювана енергетика*. 2020. № 3(62). С. 70–88. DOI: [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2020.3\(62\).70-88](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2020.3(62).70-88)

19. Лисак О.В. Аналіз умов впровадження сезонного геотермального акумулювання в системах сонячного централізованого тепlopостачання. *Відновлювана енергетика*. 2021. № 3(66). С. 72–87. DOI: [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2021.3\(66\).72-8](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2021.3(66).72-8)

## **ЗЕЛЕНЕ БУДІВНИЦТВО ТА ІНЖЕНЕРНІ СИСТЕМИ**

*Душкін Станіслав Сергійович*

*Національний університет цивільного захисту України,*

*d.akass@ukr.net*

У сучасному світі, коли зростає увага до сталого розвитку та екологічної стійкості, будівництво міст та урбанізованих територій вимагає нових підходів [1,2]. Одним із ключових аспектів цього є забезпечення сталого водопостачання та водовідведення, яке стає викликом для міст та їх інфраструктури. При цьому важливо розглянути інтеграцію водоочисних систем у зелене будівництво.

Другий напрямок - це використання передових технологій для переробки стічних вод у воду відновлюваного використання. Це сприяє не лише зменшенню витрат на водопостачання, але й зниженню навантаження на природні водні ресурси.

Третій аспект - це впровадження інноваційних технологій управління водопостачальними мережами. Інтелектуальні системи моніторингу та контролю дозволяють виявляти витіки, оптимізувати тиск у мережах та раціоналізувати розподіл води. Це допомагає не лише зменшити втрати води, але й забезпечити більш ефективне використання цього ресурсу.

Інтеграція передових інженерних систем та технологій зеленого будівництва у сферу водопостачання та водовідведення міст є ключовим кроком до створення сталих та екологічно чистих урбанізованих середовищ.

Характеристика деяких екосистемних рішень у сфері управління поверхневими стічними водами при проектуванні інтелектуальних міст наведена нижче.

**Технології стійкого міського дренажу** - це методи та прийоми, що імітують процеси в природних екосистемах під час відведення поверхневих стічних вод. Основною метою системи є збір дощової води та сповільнення швидкості водного потоку, щоб надати воді можливість випаровуватися та впитуватися в ґрунт, одночасно очищуючи воду від забруднень.

Традиційним рішенням для відведення поверхневих стічних вод з міської території є система інженерних споруд ливневої каналізації. Проте через зростання автомобілізації та широке застосування хімічних засобів для літнього та зимового утримання доріг система ливневої каналізації потребує модернізації. В умовах щільної забудови та високої вартості землі створення або збереження значних за розміром природних екосистем стає надзвичайно складним. У такому разі стійкі системи дренажу мають значний потенціал для зеленого озеленення, підтримки екосистемних послуг та покращення якості міського середовища. Тому в Західній Європі [3] широко використовуються стійкі природні дренажні рішення для дощових вод.

Системи стійкого дренажу - це відхід від традиційного підходу до відведення поверхневих стічних вод з міських територій. При проектуванні стійких дренажних систем перевага має надаватися рішенням, за яких випаді опаді обробляються на місці їх утворення (випадання), оскільки в такому випадку вдається ефективно знизити кількість поверхневого стоку та його забруднення. Проектування стійкої дренажної системи передбачає поєднання декількох типів елементів стійкого дренажу - дощові сади, канами, зниження тощо.

Стійкі дренажні системи - це інженерні елементи, робота над якими не завершується після завершення будівництва. Вони включають в себе безліч компонентів, кожний з яких має різні підходи до управління водними потоками, обсягами, якістю води та забезпечує якість екосистемних послуг.

**«Зелені дахи»** відповідають екологічним викликам сучасності, не лише прикрашають місто, а й значно зменшують витрати електроенергії. В спекотну погоду вони зберігають прохолоду у приміщенні, а взимку є хорошими теплоізоляторами. Крім того, зелень на дахах очищує повітря та поглинає дощові опади, розвантажуючи міську дренажну систему. Розрізняють екстенсивні та інтенсивні зелені дахи.

Для створення екстенсивних зелених дахів використовується лише рівномірно розподілений по тонкому ґрунтовому шару (5-15 см) трав'яний покрив - газонна трава та рослини, які прекрасно переносять не лише посушливі періоди, але і різкі перепади температур. Зелена поверхня не потребує особливого догляду: таку дахову конструкцію потрібно поливати лише у період активного росту трави та рослин. Після їх приживання

потреба у поливі відпадає, і весь догляд зводиться до періодичного стрижки трави та очищення від бур'янів. Цей тип дахів переважно є неексплуатованим, з обмеженим доступом людей.

Інтенсивні зелені дахи - це повноцінний сад, створений на даху будинку. Зелення цього типу передбачає посадку не лише різноманітних сортів рослин і квітів, але також кущів та навіть невеликих дерев, тобто створення унікальної та достатньо складної екологічної системи. Товщина шару ґрунту може досягати 60 см, що призводить до певних обмежень за вагою на основну (несучу) конструкцію. До ґрунту також пред'являються особливі вимоги: він повинен бути збагачений органічними сполуками. Догляд та полив даху потребує особливої уваги.

Основна проблема для зеленого даху - зісковзування «зеленого» шару. Без додаткової стабілізації будівництво зеленого даху доцільно з кутом нахилу не більше 9,5 градусів.

Під час проєктування необхідно обов'язково враховувати ризик загоряння. Для цього необхідно контролювати заростання рослинністю країв даху. Зелені дахи повинні бути довговічними та витримувати цілорічні вітри.

**Збір дощової води.** Рішення щодо збору та рециркуляції дощової води виправдовуються у випадках, коли можливості стоку дощової води обмежені, діє оплата за використання ливневої каналізації, а також у ситуаціях, коли існує необхідність у технічному використанні води (в основному для поливу). Слід пам'ятати, що збір та повторне використання дощової води не може бути єдиним рішенням у ланцюгу елементів стійкого дренажу, оскільки резервуари наповнюються дощовою водою протягом кількох хвилин, але їх очищення вимагає набагато більше часу.

Перед встановленням резервуарів для збору води необхідно визначити, в якій кількості вода може бути зібрана, і на цій основі визначити, для яких цілей вона може бути використана.

**Проникливі поверхні** - це поверхні, придатні для руху пішоходів та/або транспортних засобів, при цьому дозволяючи дощовій воді проникати через поверхню до нижніх шарів. Існує три різних типи проникних покриттів - пористе дорожнє покриття, зелені парковки та пластикове покриття.

**Пористе дорожнє покриття.** Пористий асфальт та бетон дуже схожі на звичайний асфальт та бетон. Коли дощова вода вбирається через пористе покриття, вона досягає фільтруючих шарів субстрату, де вода знаходиться протягом короткого часу, а потім повільно фільтрується в ґрунт

**Зелені парковки.** Зелена парковка - це типове плиткове покриття (з шаром гравію, піску та тротуарної плитки), в якому плитки розміщені не вщільно, а на значній відстані одна від одної. Проміжки заповнюються гравієм, дрібним щебнем або засіваються травою. Правильна підготовка ділянки, монтаж та обслуговування подовжать термін служби такого проникного покриття.

*Пластикове покриття.* Пластикові сітки зазвичай виготовляються з переробленого пластику. Вони можуть бути заповнені гравієм або травою, посадженою в них та використовуються на автостоянках, житлових дорогах, тротуарах та велосипедних доріжках.

**Фільтрація.** Фільтрація та видалення осаду або інших часток зі стоку поверхневих вод є одним із основних методів очищення для стійкого дренажу. Розрізняють кілька типів споруд для фільтрації.

*Фільтраційні смуги* є пологими, вкритими рослинами смугами землі, які забезпечують можливості для повільного транспортування та проникнення дощових та талих вод.

*Фільтрувальні траншеї* є неглибокими вирізами, заповненими щебенем або каменем, які створюють тимчасове підземне сховище ливневих стоків. Вони використовуються для фільтрації та транспортування дощової води в нижні елементи дренажної системи.

**Інфільтрація.** Компоненти інфільтрації використовуються для уловлювання стоку поверхневих вод і дозволяють йому проникати і фільтруватися в нижні шари аж до водоносного горизонту. Інфільтраційні компоненти можуть бути включені до ряду елементів системи стійкого дренажу.

Не рекомендується впроваджувати елементи інфільтрації на водонепроникних ґрунтах (глини, суглинки). Елементи інфільтрації повинні бути розміщені на 1,2 м вище сезонного рівня підземних вод. Інфільтраційні елементи не можна розміщувати ближче 3 м від будівлі (на відміну від проникних поверхонь). Розумно аналізувати кожну ділянку забудови окремо. Якщо одна ділянка не підходить для інфільтрації, це не означає, що вся територія забудови не підходить для інфільтрації.

Інфільтраційні басейни є заглибленнями з рослинним покривом, призначеними для утримання стоку на поверхні та поступового проникнення води в ґрунт. Вони сухі, за винятком періодів сильних дощів. Поверхневий стік необхідно очистити від витривалої частинки, щоб не допустити забруднення системи.

Інфільтраційні траншеї є неглибокими вирізами з щебенем або каменем, які створюють тимчасове підземне сховище ливневих стоків, тим самим підвищуючи природну здатність ґрунту накопичувати та відводити воду. Інфільтраційні траншеї дозволяють воді фільтруватися в ґрунт від основи та боків траншеї. В ідеалі траншеї повинні отримувати бічний притік від сусідньої непроникної поверхні, але притоки води від точкових джерел також підходять.

Основною метою уловлювачів є направлення стоку безпосередньо в підземний контейнер і дозвіл воді проникати в ґрунт. Уловлювачі - це квадратні або круглі заглиблення, заповнені щебнем або облицьовані цеглою з перфорованою трубою, щоб передати забруднений стік наступному елементу дренажної системи, якщо це необхідно. Найбільш

ефективним резервуаром вважається штормовий ящик. При встановленні уловлювачів дуже важливим є розділення шарів геотекстилем, щоб запобігти потраплянню ґрунту в пори наповнювача. Уловлювачі забезпечують накопичення ливневих вод, їх очищення та підживлення підземних вод. Уловлювачі можуть бути згруповані і пов'язані між собою, щоб висушити великі площі, включаючи автодороги. Вони допомагають уникнути лощин.

Аналіз літературних джерел дозволяє стверджувати, що наведені вище технології для забезпечення сталого розвитку водопостачання та водовідведення оптимізують використання водних ресурсів та витрати на їхнє оброблення.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Ткаченко Т.М. Перспективи зеленого будівництва у майбутньому відновленні України. Електронний ресурс: URL <https://decentralization.ua/news/15011>
2. Зелене будівництво-сертифіковане екологічне будівництво. Електронний ресурс: URL <https://www.geze.ua/uk/cikavi-novini/temi/zelene-budivnictvo>
3. Орловська Ю.В., Яковишина Т.Ф. Зелене будівництво – шлях до стійкого розвитку урбоекосистем на основі досвіду ЄС. Економічний простір. 2017. №120. С. 216-223.