

Латчук В.А., студент 2 курсу,
спеціальності «Гідротехнічне будівництво,
водна інженерія та водні технології»

Науковий керівник: Козішкурт С.М., к.т.н., доцент
Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

ІННОВАЦІЙНІ СИСТЕМИ ЛАНДШАФТНОГО ЗРОШЕННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ СТІЙКОСТІ ЗАБУДОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ

Проблема забезпечення водними ресурсами урбанізованих територій загострюється в умовах кліматичних змін, дефіциту прісної води та інтенсивного антропогенного впливу. Водна рамкова директива ЄС (2000/60/ЕС) і Стратегія ЄС з адаптації до зміни клімату (2021) наголошують на необхідності раціонального управління водними ресурсами й формування стійких міських екосистем. Міські екосистеми, на відміну від природних, характеризуються обмеженою здатністю до саморегулювання водного балансу, що призводить до деградації ґрунтів, пересихання зелених насаджень і підвищення температури повітря в літній період. Ущільнення забудови та зменшення площі природного ґрунтового покриття посилюють ефект так званого «теплого острова міста» та сприяють накопиченню поверхневого стоку, який не використовується повторно.

Збереження зелених насаджень є ключовим чинником формування комфортного й екологічно збалансованого міського простору. Для підтримання їх життєздатності необхідно забезпечувати оптимальний водний режим в умовах підвищених температур, нерівномірних опадів та ущільнених ґрунтів. Ландшафтне зрошення виконує не лише естетичну, а й важливу екологічну функцію, сприяючи стабільності урбанізованих територій, підвищенню біорізноманіття та ефективному використанню води.

Традиційні методи поливу (ручний, поверхневий, за допомогою пересувних установок) характеризуються низькою рівномірністю зволоження, великими втратами води на випаровування і стік, а також значними трудовитратами. Вони не враховують фактичний стан вологості ґрунтів, що призводить до нераціонального водокористування. За рекомендаціями ФАО (FAO Irrigation and Drainage Paper 66), ефективність зрошення визначається не кількістю поданої води, а ступенем її засвоєння рослинами.

Централізовані системи водопостачання, які використовуються для поливу зелених насаджень у містах, також мають обмеження. Вони проєктувалися для господарсько-питних потреб і не розраховані на пікові навантаження влітку. Використання питної води для поливу є економічно й екологічно неефективним, оскільки зменшує резерви для населення та промисловості. Крім того, централізовані системи не забезпечують належного тиску у віддалених або висотних ділянках, що знижує ефективність поливу.

У сучасних умовах поширюються водозберігаючі технології зрошення, орієнтовані на оптимальне використання води. До них належать:

- дощові системи, що забезпечують рівномірне покриття поверхні території та можливість автоматичного керування поливом;
- краплинне зрошення, при якому вода подається безпосередньо до кореневої зони рослин, що зменшує втрати на випаровування;
- підґрунтове зрошення, яке дозволяє зволожувати кореневий шар без утворення поверхневої кірки, забезпечуючи стабільний мікроклімат і збереження структури ґрунту.

Застосування цих технологій у комплексі з автоматичним керуванням і локальними джерелами води створює основу для формування інноваційних систем ландшафтного зрошення в урбанізованому середовищі.

Інноваційність сучасних систем ландшафтного зрошення полягає у впровадженні інтелектуальних технологій управління, використанні альтернативних джерел води, енергоощадних компонентів та інтеграції у зелену інфраструктуру міських територій. Основна мета таких рішень – досягнення високої ефективності поливу при мінімальному споживанні водних і енергетичних ресурсів.

Одним із ключових напрямів розвитку є **автоматизація управління поливом**. Сучасні системи оснащуються сенсорами вологості ґрунту, температури, швидкості вітру, інсоляції та опадів. Дані з цих датчиків передаються на контролер, який визначає оптимальний режим поливу відповідно до фактичних умов. Завдяки цьому виключається людський фактор і перевитрати води, а водний баланс підтримується з високою точністю. У низці європейських країн активно застосовуються розумні контролери (Hunter Hydrowise, Rain Bird IQ, Netafim NMC Pro), які мають можливість підключення до метеосервісів та віддаленого управління через інтернет.

Важливою інновацією є **використання альтернативних джерел водопостачання**. У системах ландшафтного зрошення частіше застосовують дощові, очищені стічні та дренажні води. Подібні практики відповідають вимогам Директиви ЄС щодо очищених стічних вод (91/271/ЕЕС) та принципам циркулярної

економіки у водному секторі. Води накопичуються у підземних резервуарах або спеціально створених біоплато, фільтраційних траншеях (bio-retention cells) чи "дощових садах", де проходять природне доочищення. Надалі така вода використовується для поливу, що дає змогу зменшити споживання питної води та навантаження на комунальні водопровідні мережі. Подібні рішення реалізовані у Німеччині, Данії, Італії, а в Україні поступово впроваджуються у сучасних житлових комплексах та рекреаційних зонах.

Енергоефективність систем забезпечується завдяки **застосуванню сонячних насосних станцій, бездротових клапанів і модульних конструкцій трубопроводів**. Такі рішення узгоджуються з концепцією «зелених» будівель (Green Building Standards, LEED, BREEAM), де ефективне управління водою є одним із базових критеріїв. Це дозволяє експлуатувати систему в автономному режимі, особливо на територіях, віддалених від центральних мереж. Використання сучасних полімерних матеріалів із підвищеною стійкістю до ультрафіолету та корозії продовжує термін служби системи та зменшує витрати на обслуговування.

Перспективним напрямом є **інтеграція систем зрошення в екологічну і містобудівну інфраструктуру** на основі концепції SUDS (Sustainable Urban Drainage Systems – сталі системи міського водовідведення). Ландшафтне зрошення стає невід'ємною частиною комплексних рішень, таких як «зелені дахи» (Green Roofs), «вертикальне озеленення» (Green Walls) та біоінженерні елементи (наприклад, фільтраційні траншеї, дощові сади). Ці інтегровані рішення поєднують функції поливу, збору та очищення поверхневого стоку, зниження запиленості та підтримання біорізноманіття. Таким чином, системи зрошення виконують не лише технічну, а й комплексну екологічну функцію, підвищуючи стійкість урбанізованих територій до кліматичних змін і паводків.

Впровадження інноваційних систем ландшафтного зрошення забезпечує значний екологічний ефект і сприяє сталому розвитку міських територій. Насамперед це проявляється у **зниженні споживання водних ресурсів**, що є критичним фактором у сучасних умовах дефіциту прісної води. Завдяки використанню датчиків і погодних контролерів, витрати води можуть бути скорочені на 25–40 % без зниження ефективності зволоження. При цьому рослини отримують необхідну кількість вологи саме в періоди її дефіциту, що сприяє кращому росту і підвищенню їх стійкості до посухи.

Суттєвим екологічним результатом є **зменшення навантаження на системи міського водовідведення**. Використання дощової та очищеної стічної води у системах поливу сприяє скороченню обсягів поверхневого стоку, що знижує ризики підтоплення, ерозії ґрунтів і забруднення водоприймачів. Одночасно формується локальний кругообіг води, який відтворює природні гідрологічні процеси в урбанізованому середовищі.

Інноваційні системи також сприяють **поліпшенню мікроклімату міських територій**. Зволоження зелених насаджень зменшує температуру повітря на 2–3 °С, підвищує його вологість, знижує запиленість і концентрацію шкідливих речовин. Завдяки цьому формується більш сприятливе середовище для життя людей, а також зменшується прояв ефекту «міського теплового острова».

Важливою складовою екологічного ефекту є **покращення стану ґрунтів і підтримання біорізноманіття**. Рівномірне та дозоване зволоження запобігає утворенню поверхневої кірки, ущільненню й засоленню ґрунтів. Оптимальний водний режим сприяє активізації біологічної активності ґрунту, розвитку кореневих систем рослин і стабілізації зеленого покриву.

Впровадження таких систем має також **соціально-економічний ефект** – зниження витрат на утримання зелених зон, підвищення естетичної привабливості територій, поліпшення умов для рекреації населення. Таким чином, інноваційні системи ландшафтного зрошення виступають важливою складовою стратегії «зеленого міста», забезпечуючи поєднання екологічних, економічних і технологічних переваг.

Інноваційні системи ландшафтного зрошення є важливим напрямом розвитку сучасного водного господарства та урбаністичної екології. Вони поєднують технічну ефективність, екологічну безпечність і ресурсоощадність, що дозволяє адаптувати системи поливу до кліматичних змін і обмежених водних ресурсів. Застосування автоматизованих контролерів, сенсорів вологості, краплинних і підґрунтових систем забезпечує точне регулювання водоспоживання та рівномірний розподіл вологи. Це дозволяє скоротити витрати води до 40 %, зменшити енергоспоживання та знизити антропогенне навантаження на довкілля. Використання альтернативних джерел – дощової, очищеної або повторно використаної води – сприяє збереженню природних запасів і формуванню замкнутого водного циклу в межах міських ландшафтів. Завдяки впровадженню інноваційних технологій створюються передумови для сталого управління зеленими зонами, підвищується комфорт і якість міського середовища, а також зміцнюється екологічна безпека територій. Розвиток таких систем узгоджується із Цілями сталого розвитку ООН (SDG 6 – Чиста вода і належні санітарні умови, SDG 11 – Сталий розвиток міст і громад).

Отже, інноваційні системи ландшафтного зрошення є важливим інструментом у реалізації концепції «розумного» та «зеленого» міста, що поєднує технологічний прогрес із збереженням природного балансу.