

Мельнікова О. Г., канд. техн. наук;

Юрченко В. О., д-р техн. наук;

Багмут Л. Л., аспірант

*Харківський національний муніципальний університет ім. О. М. Бекетова, м. Харків,
Україна*

ТЕХНОЛОГІЇ СТАЛОГО МІСЬКОГО ВОДОВІДВЕДЕННЯ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ПОВЕРХНЕВИМИ СТІЧНИМИ ВОДАМИ У м. ХАРКІВ

Технології сталого міського водовідведення – це методи та техніки, що імітують природні екосистеми у відведенні дощової води та починають діяти одразу, де випадає дощ. Метою такої системи є збір атмосферних опадів та зниження швидкості їх стоку, таким чином частина води випаровуватиметься та вбиратиметься в ґрунт, одночасно очищаючи воду від забруднень. Так заходи дозволять значно знизити кількість фільтрованих опадів, що потрапляють до ґрунтових вод, що для міста Харків є надзвичайно актуальним [1].

Харків є містом з великою територією (306,0 км²), левову частку якої займає житловий фонд та громадські будівлі (37%). Другими за площею є захисно-рекреаційні території, що складають 25% від загальної території міста. Промислові комплекси на території міста займають 15%. Транспортна мережа займають 7%, 51% з яких припадає на вулиці міського значення, а супутня транспортна інфраструктура: гаражні кооперативи, місця для паркування, станції технічного обслуговування тощо, загалом займають близько 14%. Найменшу частину території міста займають поверхневі природні водойми (річки з русловими водосховищами та малі річки) – 2%. Таким чином на долю непроникних, або частково проникних територій припадає майже 73% від загальної площі міста. Саме тому проблема менеджменту поверхневого стоку, що утворюється на території міста Харків є надзвичайно актуальною [2].

Мета дослідження – розглянути сучасні технології водовідведення для імплементації їх в систему керування поверхневими стічними водами у місті Харків.

До поняття поверхневого стоку входить вся атмосферна вода, що потрапляє на поверхню землі. В залежності від якості поверхні з якою контактує атмосферна вода, а також ступінь забрудненості атмосферного повітря буде залежить хімічний склад таких вод і відповідно їх екологічна безпека для компонентів навколишнього середовища з якими вони контактують (табл.1).

Таблиця 1 – Середня концентрація забруднюючих речовин в дощовому стоці на досліджуваних майданчиках, мг/л [3]

Показники	Місця відбору проб			
	Багатоквар- тирна забудова	Приватний сектор	Міський парк	Територія адміністративної установи
Азот амонійний	1,7	1,8	0,35	1,55
Азот нітратний	0,51	0,64	0,1	0,47
Азот нітритний	0,32	0,24	0,16	0,31
Фосфор	0,31	0,6	0,11	0,4
Зважені речовини	587	913	213	629
Нафтопродукти	3,7	1,6	0,5	4,1
БСК ₅ мг O ₂ /дм ³	71	26	24	64

За даними табл. 1 бачимо, що хоча більшість показників знаходяться в межах ГДК для природних водойм, але деякі з них, наприклад амонійний азот знаходяться на межі ГДК. В свою чергу на територіях житлової та адміністративної забудови, які розташовані неподалік міських автомобільних доріг спостерігався підвищений вміст БСК₅, що ймовірно вказує на накопичення значних концентрацій поллютантів на цих територіях, які мають непроникні покриття, а відповідно утворений дощовий стік буде спрямований до найвищих природних водних об'єктів. Також за результатами досліджень хімічного складу дощових стічних вод [3] було проаналізовано такий показник як ХСК на фільтрованих та не фільтрованих пробах. Отримані результати: ХСК фільтрованих – 40 мг/дм³, ХСК не фільтрованих – 470 мг/дм³ [3], вказують на те, що основна кількість органічних забруднювачів концентрується на завислих речовинах, вміст яких у дощових стічних водах є достатньо високим і основним їх джерелом є також автомобільні дороги. Все це свідчить про потенційну екологічну небезпеку таких вод для природних водойм, які розташовані на території міста.

Територією м. Харків протікають: р. Уди, р. Лопань, р. Харків та р. Немишля. Річка Уди хоча і є найбільш повноводною серед інших річок м. Харків, але й характеризується високим вмістом забруднюючих речовин, в свою чергу р. Харків та р. Немишля періодично преривають своє русло у зв'язку з пересиханням. Таким чином можна стверджувати, що гідрологічний режим річок міста значно порушений. Зокрема це пов'язано з наносами, що тягнуться по дні чи знаходяться у завислому стані,

осаджуючись на дні вони призводять до обміління річкового русла. Крім того, високі рівні ґрунтових вод, на території міста, мають схильність до підвищення, що може бути пов'язано з розораністю схилів і заплавних ділянок [4].

У зв'язку з вище викладеним стає очевидним, що керування поверхневими стічними водами на території міста є першочерговим завданням для збереження та відновлення річкової системи міста, а також підтримки гідрологічного режиму ґрунтових вод.

Одним з таких рішень, що покликане вирішити це завдання може стати управління потоками поверхневих стічних вод, що є основним джерелом водо забезпечення річкових систем міста, через імплементацію зеленої та зелено-блакитної інфраструктури на території міста Харків.

Зелена інфраструктура (ЗІ) – це стратегічно спланована мережа природних та напівприродних територій з іншими екологічними функціями, розроблена та керована для надання широкого спектру екосистемних послуг, таких як очищення води, якість повітря, простір для відпочинку, а також пом'якшення зміни клімату та адаптація до неї [5]. Зелена інфраструктура розглядається як інструмент, що дозволяє забезпечити екологічні, економічні та соціальні вигоди шляхом впровадження природних (зелених) рішень.

Основним видом міських зелених насаджень є парки, що представляють собою багатопланову об'ємно-просторову композицію (рис. 1).



Рисунок 1 – Озеленення міських територій у вигляді паркових зон

Але, оскільки основний поверхневий стік на території міста формується на непроникних поверхнях житлової забудови та міських доріг, перш за все необхідно зосередитись на керування саме цими поверхневими стічними водами. Досліджуючи європейський досвід можна запропонувати декілька найбільш оптимальних рішень, які доцільно використати у м. Харків.

Інфільтраційна/регенераційна канава (рис. 2а) не містить дренажу, тому рекомендується для територій, де стік містить низький або помірний рівень забруднення (житлові райони, дороги з низьким трафіком тощо). Фізичні характеристики ґрунтів мають бути з високою швидкістю інфільтрації, яка не має бути нижчою ніж 1,32 см/год, оптимальний коефіцієнт інфільтрації для такої конструкції становить 2,5 см/год, при чому загальна глибина інфільтраційних шарів має бути не менше 0,75-0,8 м. Для найкращого ефекту очистки поверхневого стоку ґрунт для посадки повинен містити приблизно 40-60% піску, 20-30% верхнього шару ґрунту та 20-30% листового компосту. Дане рішення не передбачає прошарок геотекстилю між шаром ґрунту для посадки та існуючим ґрунтом. Для покращення інфільтраційної функції канави рекомендовано верхній шар зробити органічним з свіжої мульчі [6].

Тип інфільтраційного/фільтраційного/ заправного каналу (рис. 2б) краще підходить для територій, із значно вищим рівнем забруднення біогенними елементами (органічні забруднення), переважно це житлові райони. Дана конструкція передбачає наявність шару гравію під піднятою дренажною трубою. Гравійний прошарок забезпечує аеробну/анаеробну зону коливання, що забезпечує процес денітрифікації, а також цей прошарок слугує для депонування певної кількості води. В даній конструкції передбачено використання фільтруючого шару, який має бути розташований між ґрунтом для рослин і гравійними шарами, але при цьому фільтруюча тканина не має вистилати стінки канави і простір навколо труби [6].

Фільтраційний тип каналу (рис. 2в) може бути запропонований на ділянках з значним вмістом забруднюючих речовин у поверхневому дощовому стоці, зокрема: на територіях з інтенсивним рухом транспорту, на заправних станціях, автостоянках тощо. Особливість даної конструкції є обов'язкове використання непроникної підкладки, що розташовується між стінами споруди та ґрунтом. Це прошарок дозволяє уникнути інфільтрації стічних вод до більш глибоких шарів ґрунту, а відтак і подальшу їх інфільтрацію до ґрунтових вод. Тільки процес фільтрації через різні поверхневі шари забезпечує функцію очищення. Така конструкція дає можливість контролю якості стоку (рис. 2) [6].

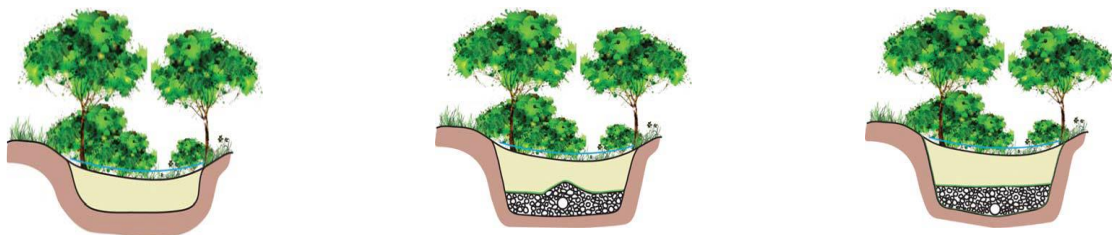


Рисунок 2 – Різновиди фільтраційних та інфільтраційних каналів, як природоохоронні технології по управлінню поверхневим стоком у містах

Біофільтри – це заглиблені дощові ліжка або зарослі рослинністю інфільтраційні ліжка, де вода просочується і очищується рослинами та фільтрувальним матеріалом за допомогою комбінації механічного, хімічного та біологічного відокремлення. Правильне проєктування та вибір фільтрувального матеріалу мають вирішальне значення для того, аби ефективність очищення дощової води була максимальною. Фільтрування дощової води дозволяє відокремити тверді частинки та розчинені забруднення перед тим, як дощова вода транспортується далі. На рисунку 3 показано принципові схеми біофільтрів. Для мінімізації ризику засмічення, що є великою проблемою для біофільтрів, рекомендується попередня обробка з метою відокремлення осаду. Зимові умови можуть певною мірою впливати на очищення, але в цілому біофільтри працюють навіть у холодному кліматі [7, 8]. Дощова вода, просочуючись крізь фільтруючий матеріал, збирається в нижньому дренажному шарі. Очищена вода відводиться через дренажну трубу в нижній частині до трубопровідної мережі або іншого типу дренажної системи. Якщо дозволяють умови ґрунту та ґрунтових вод, очищена вода також може витікати для подальшого просочування (рис. 3) до ґрунтових вод. Якщо забезпечено достатній об'єм резервуара, можна затримати навіть великі потоки. Таким чином, біофільтри можуть слугувати затримкою для дощової води, щоб буферизувати пікові потоки в міських районах [9].

Біофільтри можуть бути побудовані в різних масштабах, від невеликих локальних очисних споруд у щільно забудованому середовищі до великих кінцевих очисних споруд для очищення зливових вод з більших водозбірних площ перед скиданням у природні водойми міста (рис. 3).

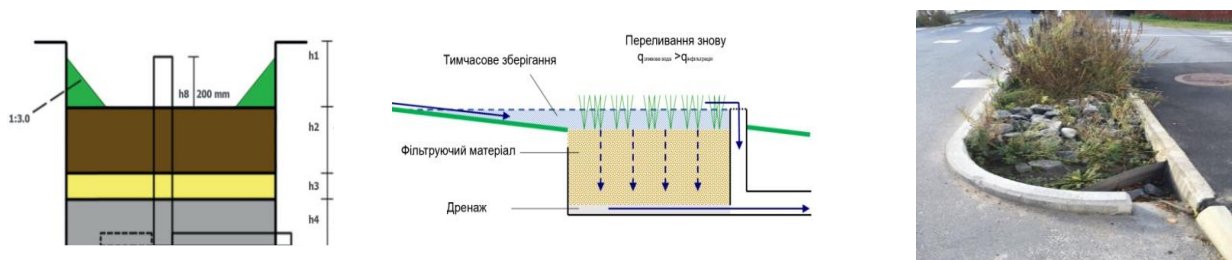


Рисунок 3 – Принципова схема біофільтру

Ліве зображення: z = ухил схилу, $h1$ = контрольна висота від фільтрувального матеріалу до навколишнього ґрунту, $h2$ = товщина фільтрувального матеріалу, $h3$ = товщина шару, що розділяє матеріал, $h4$ = товщина щебеню, $h6$ = товщина підґрунтя до максимального рівня

ґрунтових вод, h_7 = відстань від дренажної труби водотоку до підґрунтя та h_8 = відстань від впускного переливного колодязя до поверхні фільтрувального матеріалу. Товщина h_5 відсутня на зображенні, але стосується будь-якої додаткової товщини шару скелетного ґрунту (або іншої добавки) під шаром щебеню.

Крім того, біофільтри можуть бути естетично привабливою та природною технологією, яку можна добре інтегрувати як у нове, так і в існуюче міське середовище [10]. Однак слід враховувати, що між проектуванням та технічною (очисною) функцією (наприклад, удобрення або вибір фільтрувального матеріалу) може також виникнути конфлікт інтересів.

Скелетні конструкції створюються головним чином з метою забезпечення несучої здатності та сприятливих умов для росту рослин (часто для міських дерев). Для створення скелетної конструкції використовують опорний субстрат – це макадам (в даному випадку щебінь), який змішується з землею або, наприклад, біовугіллям. Метою є створення за допомогою суміші ґрунту та макадаму кращих умов для розвитку кореневої системи. Така конструкція також сприяє для затримки дощової води з доріг і паркувальних майданчиків. Очисна функція насамперед буде залежити від матеріалів, які будуть додаватись до «скелетної» землі, та сорбційної здатності цих матеріалів. На рисунку 4 показано принциповий ескіз каркасної конструкції з вхідним колодязем, шаром макадаму і каркасною землею під ним.

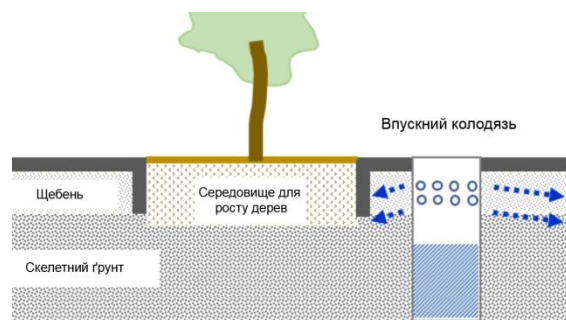


Рисунок 4 – Принципова схема конструкції каркасу

Дослідження, щодо ефективності очисної здатності таких конструкцій, знаходяться на етапі лабораторних експериментів. Труднощі полягають у підборі найбільш ефективного матеріалу для каркасної землі, а також постає питання щодо зручності обслуговування таких споруд у процесі експлуатації (це стосується, перш за все, видалення накопичених осадів). Осади і, отже, забруднення, пов'язані з частинками, дуже добре відокремлюються, однак це призводить до високого ризику засмічення. Очищення буде ефективнішим, якщо каркасна конструкція буде заглибленою і зможе просочувати дощову воду через рослинний

ґрунт/фільтрувальний матеріал. Рекомендується удобрювати каркасні ґрунти, шляхом додавання біовугілля. Ця рекомендація базується на тому, що якщо біовугілля не удобрювати, існує ризик, що воно зв'яже поживні речовини з ґрунту, що призведе до зменшення кількості поживних речовин для росту рослин. Однак додавання добрив може призвести до чистого вивільнення поживних речовин, що зазвичай не є прийнятним для даного конструктивного рішення. Однак вміст поживних речовин у дощовій воді може бути достатнім для задоволення потреб рослин [11]. Внесення поживних речовин за допомогою добрив або інших добавок з високим вмістом поживних речовин, наприклад компосту, бажано взагалі не проводити [11], або лише у випадку з великою обережністю і тільки на біовугіллі, найближчому до коренів посаженого дерева, і в поєднанні з не удобреним біовугіллем на дні.

Ступінь очищення також залежить, від співвідношення між площею об'єкта та зменшеною площею водозбірного басейну (площа × коефіцієнт водозбору), вмістом політантів на вході, мінімально можливим вмістом на виході та можливим переливом (частка річного обсягу стоку, що переливається).

Висновки

Таким чином європейський досвід у імплементації природоохоронних технологій, щодо керування поверхневим стоком що утворюється на території м. Харків може бути досить успішно використаний не тільки при проектуванні нових житлових масивів, але й на вже функціонуючих територіях де існує необхідність контроль та управління поверхневим стоком.

Література

1. Dhakal K. P., & Chevalier, L. R. Managing urban stormwater for urban sustainability: Barriers and policy solutions for green infrastructure application. *Journal of Environmental Management*, 203, 171–181. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.07.065>
2. Про затвердження проектів землеустрою з організації та встановлення меж території рекреаційного призначення м. Харкова «Зелені зони та зелені насадження» – Реєстр актів харківської міської ради. Реєстр актів харківської міської ради. URL: <http://kharkiv.rocks/reestr/288300>.
3. Шестопалов О.В., Тихомирова Т.С., Стаднік В.Ю. Екологічна оцінка хімічного складу дощових стічних вод на дитячих ігрових майданчиках м. Харків. *Науково-практичний журнал Екологічні науки* № 4(49) С. 52-57, 2023. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.7>

4. Решетченко С. Дмитрієв С. Оцінка екологічного стану річкового басейну Сіверського Дінця у межах Харківської області. Проблеми безперервної географічної освіти і картографії №36, С. 34 – 42. 2022. DOI: <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2022-36-04>
5. Міста живі: переосмислення зеленої інфраструктури. Project report. London, 2014, 161 с.
6. Skryhan H., Shkaruba A. Green infrastructure & urban forestry: strategic management for mitigation and adaptation to climate change in the cities. Green & Blue Infrastructure in Post-USSR cities: exploring legacies and connecting to V4 experience: collective monograph / Ed. by Nadiya V. Maksymenko, Anton D. Shkaruba. –Kharkiv: V. N. Karazin Kharkiv National University, P. 62 – 104. 2022.
7. Blecken G. (2016) Kunskapssammanställning Dagvattenrening. SVU rapport 2016-05.
8. Sørberg, L. Bioretention for stormwater quality treatment: Effects of design features and ambient conditions. Doktorsavhandling, Avdelningen för Arkitektur och vatten, Luleå tekniska universitet, Luleå, Sverige, 2019. ISBN 978-91-7790-362-8.
9. Penn C.J. och Bowen J.M. Design and construction of phosphorus removal structures for improving water quality. Springer, USA. 2018.
10. Blecken, G. Biofiltration Technologies for Stormwater Quality Treatment. Doktorsavhandling, Avdelningen för Arkitektur och infrastruktur, Luleå tekniska universitet, Luleå, Sverige, 2010. ISBN 978-91-7439-132-9.
11. Larm T. och Wahlsten A. Litteraturstudie av reningseffekten i olika typer av skelettjordar och växtbäddar. Översikt med fokus på tillämpning med biokol och andra tillsatser. Rapport 2017-08-14, StormTac på uppdrag av Stockholms Stad. 2017.