

Ткачук О. А., д.т.н., професор, Сотничук С. О., магістрант
(Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, o.a.tkachuk@nuwm.edu.ua, sotnychuk_ba17@nuwm.edu.ua)

ОЦІНКА МЕТОДІВ РЕГУЛЮВАННЯ ДОЩОВОГО СТОКУ З МЕТОЮ ЗАПОБІГАННЯ ПІДТОПЛЕННЯМ І ЗАТОПЛЕННЯМ МІСЬКИХ ТЕРИТОРІЙ

На основі аналізу основних причин затоплень і підтоплень міських територій систематизовано методи регулювання дощового стоку та критерії оцінювання їхньої ефективності. Визначено, що найбільш доцільним є комплексний підхід до підвищення ефективності систем поверхневого водовідведення. Він передбачає поєднання різних методів регулювання дощового стоку, види та ефективність застосування яких на конкретних територіях визначаються групою запропонованих факторів.

Ключові слова: дощовий стік; поверхневе водовідведення; затоплення і підтоплення; міські території.

Україна є країною з високим рівнем опадів, особливо на заході та півдні. Досвід показує, що після тривалих або інтенсивних дощів у понижених місцях міських територій накопичуються значні об'єми поверхневих вод (рис. 1). Наявність систем дощового водовідведення не гарантує уникнення підтоплень і затоплень міських територій [4; 5; 6]. На понижених ділянках може мати місце зворотній ефект – затоплення територій через роботу колекторів водовідведення у напірному режимі із виливом стічних вод через дощоприймачі та люки колодязів [5].



Рис. 1. Затоплення міських територій у місті Рівному

Попередні дослідження показали [4; 5; 6; 8; 9], що основними причинами затоплень і підтоплень міських територій є **зміна клімату**, що призводить до збільшення інтенсивності дощів та їхньої тривалості, та **містобудівні фактори**, які обумовлені недосконалим проєктуванням та утриманням територій і споруд поверхневого водовідведення. Серед останніх найбільш впливовими слід виділити такі:

- неефективне, а часто і недосконале, вертикальне планування міських територій із утворенням зон накопичення поверхневих стоків;
- перманентні зміни благоустрою міських територій, зокрема заміна площ зелених насаджень територіями із водонепроникними покриттями;
- відсутність або неефективна робота споруд поверхневого водовідведення через їхню недосконалість та незадовільний стан;
- відведення дощового стоку через загальносплавну систему каналізації.

Планування території є ключовим елементом у відведенні поверхневих стоків самопливом і запобіганні утворенню зон їх накопичення, однак ефективні рішення вертикального планування можуть бути реалізовані тільки при новому будівництві чи реконструкції міських територій, а не в умовах існуючої забудови.

Перманентні зміни благоустрою міських територій відбуваються через збільшення кількості автомобільного транспорту у містах та зростаючими потребами у додаткових площах під стоянки автомобілів, збільшенні кількості смуг на міських вулицях, а також з ущільненням забудови. Відбувається постійний «наступ» на ґрунтові покриття, зменшення площ зелених насаджень і збільшення водонепроникних поверхонь міських територій.

Відведення поверхневих стоків через окремі системи дощового водовідведення здійснюється тільки з міських територій, забудова яких проводилась в останні 40–50 років. В інших районах міст, в основному історичної забудови, відведення дощового стоку здійснюється через загальносплавні системи каналізації. Це призводить не тільки до забруднення водою сумішшю побутових і дощових вод, але й до тимчасового затоплення територій, оскільки загальносплавні колектори не в змозі пропустити зростаючі витрати стічних вод під час інтенсивних дощів. Важливе значення має також технічний стан мереж водовідведення, які через тривалі строки

експлуатації (понад 50, а іноді і понад 100 років) потребують заміни чи відновлення.

Розвиток систем дощового водовідведення традиційними методами [1; 2] потребує значних капітальних затрат, що було стримуючим фактором не тільки у нинішній час, але й і у довоєнний період. Тому, питання боротьби з підтопленнями і затопленнями міських територій слід розглядати комплексно у поєднанні розвитку систем поверхневого водовідведення з сучасними методами регулювання поверхневого стоку.

Метою роботи є проведення оцінки існуючих методів благоустрою міських територій з точки зору ефективності регулювання поверхневого стоку і запобіганню їхньому підтопленню та затопленню.

Питанням формування та регулювання поверхневого стоку на міських територіях присвячені роботи багатьох вчених (Большаков В. О., Вовк Л. І., Жук В. М., Корінько І. В., Пантелят Г. С., Ярошенко Ю. В., Дикаревський В. С., Курганов А. М., Молоков М. В., Адамс Б., Джеймс В., Дзьопак Й., Майс Л., Россман Л., Хортон Р., Хубер В., Шулер Т. та інші) [3; 6; 8]. Вони розглядають різні підходи до регулювання стоку, які передбачають не тільки зменшення пікових навантажень на системи водовідведення, але й попереднє очищення стоку, можливість його використання у господарській діяльності тощо.

Основні методи регулювання дощового стоку на міських територіях можна систематизувати таким чином [5; 6; 8]:

- накопичувальні (рис. 2):
 - зміна форми поверхні покриттів (заглиблення і виступи, підвищена шорсткість, пористі насипні шари на них);
 - малі ємкості (баки, цистерни);
 - резервуари;
 - відкриті водойми (ставки, біоставки, мочари);
- фільтрувальні (рис. 3):
 - території з ґрунтовими природними покриттями (газони, рослинні смуги, дощові сади);
 - фільтраційні споруди (траншеї, інфільтраційні басейни);
 - «зелені» дахи будівель і споруд;
 - водопроникні удосконалені покриття (пористі бетони, асфальти, газонні решітки, гравійні доріжки тощо).

Кожен із наведених методів регулювання дощового стоку має свої переваги та недоліки, а також різні умови застосування. Методи

накопичувального типу дозволяють затримувати значні об'єми дощових вод у місцях накопичення стоків, де і влаштовують накопичувальні споруди. У методах фільтрувального типу дощові води затримуються як у місцях їх випадання («зелені» дахи, газони), так і у місцях їх стоку (інфільтраційні басейни, рослинні смуги). Практично всі споруди дозволяють проводити попереднє очищення дощового стоку: у накопичувальних – осіданням; у фільтрувальних – за рахунок фільтрації. Для кожного із них необхідно передбачати видалення осадів або регенерацію покриттів. За наявності рослинних шарів можлива часткова саморегенерація покриттів (інфільтраційні басейни, ґрунтові природні покриття, «зелені» дахи). Залежно від умов підключення до колекторів систем водовідведення ці споруди можуть тимчасово затримувати поверхневий стік, або накопичувати для подальшого використання.

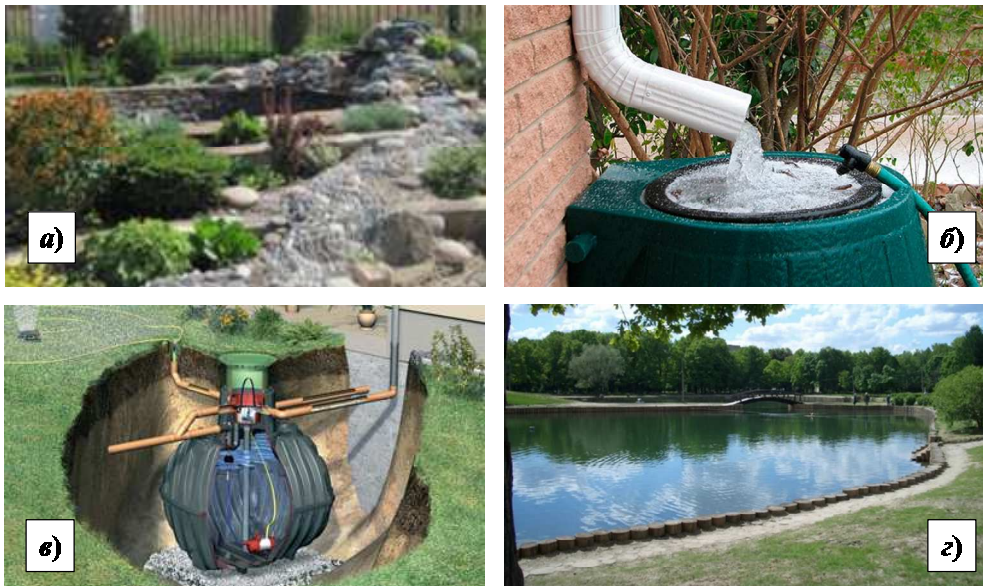


Рис. 2. Споруди накопичувальних методів регулювання дощових стоків:
а) виступи і заглиблення поверхонь; б) дощові баки; в) дощові резервуари;
г) відкриті ставки



Рис. 3. Споруди фільтрувальних методів регулювання дощових стоків:
а) газони і рослинні смуги; б) інфільтраційні басейни; в) «зелені» дахи;
г) пористий асфальт

Для визначення ефективності методів регулювання дощового стоку визначено сім критеріїв їхнього оцінювання [5–8]:

- 1) Умови затримання дощових вод:
 - *опадів* (у місцях їх випадіння);
 - *стоку* (у місцях дощового стоку);
- 2) Тривалість затримання дощових вод:
 - *тимчасово*;
 - *довготривало*;
- 3) Здатність до попереднього очищення дощового стоку:
 - *незначна*;
 - *середня*;
 - *висока*;
- 4) Умови регенерації:
 - *видалення осадів*;
 - *агротехнічна* (звичайні методи утримання рослин);
 - *технологічна* (спеціальні методи регенерації);
- 5) Потреба у додаткових площах під споруди: *так/ні*;
- 6) Підвищення рівнів ґрунтових вод у місцях влаштування споруд:
 - *відсутнє*;
 - *часткове*;

- *значне* (із можливістю короткочасного затоплення);
- 7) Економічність (потреба додаткових капіталовкладень та (чи) експлуатаційних затрат):
- *низька* (влаштування дороговартісних споруд та значні витрати на їхнє утримання);
 - *середня* (незначні додаткові затрати на влаштування та утримання споруд);
 - *висока* (затрати на влаштування та утримання споруд – на рівні затрат на благоустрій території).

За цими критеріями проведено оцінку методів регулювання дощового стоку (таблиця), яка передбачає визначення рівня їхньої ефективності за прямим призначенням (затримання та попереднє очищення стоків), за містобудівними змінами, за впливом на екологічне середовище та за економічністю.

З містобудівної точки зору частина методів може бути реалізована при проведенні сучасного благоустрою територій (влаштування газонів, придорожніх смуг, водопроникних покриттів, зелених дахів, зміна форми поверхні покриттів). Споруди інших методів (відкриті водойми, інфільтраційні басейни, резервуари) потребують відведення додаткових ділянок міських територій для їх влаштування. Резервуари, особливо, малих розмірів можуть потребувати відведення тільки підземного простору, а поверхні над ними можуть бути відведені під інші елементи благоустрою територій (газони, квітники, доріжки тощо). Утримання частини споруд потребує проведення регулярних профілактичних заходів (очищення від сміття, видалення мулу, регенеративне відновлення фільтрувальної здатності покриттів). Це створює певні експлуатаційні труднощі та знижує економічні показники.

Ефективність екологічного впливу залежить як від можливих порушень екологічної рівноваги (підвищення рівнів ґрунтових вод, замулення чи затоплення фільтрувальних покриттів), так і затримання значної частини змитих з міських територій забруднень перед скидом стоків у водойми, можливість використання дощових вод для поливів у суху погоду, наявність додаткової рослинності в місті тощо.

Оцінка методів регулювання дощового стоку

Методи і споруди регулювання дощового стоку	Критерії оцінювання						
	1. Умови затримання	2. Тривалість затримання	3. Попереднє очищення	4. Умови регенерації	5. Потреба у площах	6. Підняття ґрунтових вод	7. Економічність
Нагнітальні							
- зміна форми поверхні покриттів	опадів	тимчасово	незначне	видал. осадів	ні	відсутнє	висока
- малі ємкості	стоку	тимчасово	середнє	видал. осадів	ні	відсутнє	висока
- резервуари	стоку	довготривало	середнє	видал. осадів	так або частково	відсутнє	низька
- відкриті водойми	стоку	довготривало	середнє	видал. осадів	так	часткове	низька
Фільтрувальні							
- ґрунтові природні покриття	опадів	тимчасово	високе	агротехн.	ні	значне	висока
- споруди фільтраційні	стоку	довготривало	високе	агротехн.	так	часткове	середня
- «зелені» дахи будівель і споруд	опадів	тимчасово	середнє	агротехн.	ні	відсутнє	середня
- водопроникні удосконалені покриття	опадів	тимчасово	середнє	технологіч.	ні	часткове	низька

Економічна ефективність залежить не тільки від вибраного методу і типу споруд, але й від об'ємів регульованих стоків, способів їх подальшого використання тощо. Так, влаштування резервуарів і відкритих водойм дозволяє регулювати значні об'єми дощового стоку, що потребує не тільки додаткових, зазвичай дороговартісних, ділянок міських територій, але й значних капіталовкладень на їх влаштування. Крім того, вони потребують періодичного видалення осадів, що у них накопичуються. Методи, які не потребують таких капіталовкладень, не в змозі регулювати такі великі об'єми стоків. Їх слід розглядати як доповнення до інших. Зазвичай, в населених пунктах застосовують кілька методів регулювання, які повинні гармонійно доповнювати один одного, максимально використовувати засоби благоустрою міських територій, не мати

екологічних ризиків і негативного впливу на містобудівну діяльність. Кінцевим визначальним фактором є економічна спроможність міста щодо впровадження розглянутих методів.

Додатковим (8-м) критерієм оцінки ефективності визначених методів є регульовальна здатність споруд щодо затримання розрахункових об'ємів опадів чи сформованого стоку (у відсотках до повного затримання). Це дозволить оцінити об'єми як затриманих стоків кожною із споруд, так і транзитні об'єми стоків на інші регульовальні споруди нижче за рухом води. Важливо, також оцінити пропускну спроможність наявних мереж дощового водовідведення, зокрема допустимі витрати дощових вод для скиду у загальносплавну систему каналізації. При цьому загальні об'єми атмосферних опадів визначають залежно від кліматичних параметрів атмосферних опадів для конкретного регіону, площ стоку та видів покриттів їхніх територій (за водопоглинальною здатністю) [1; 2], а об'єми дощових стоків, що підлягають регулюванню, – від способів їх регулювання, відсотків регульовальної здатності споруд, умов відведення стоків (через каналізаційні мережі чи розбором на власні господарські потреби) [5].

Систематизовано методи регулювання дощового стоку на міських територіях та критерії оцінювання їхньої ефективності. Визначено сім основних та один додатковий критерій оцінки технологічної, містобудівної, екологічної та економічної доцільності. Встановлено, що найбільш доцільним є поєднання методів регулювання дощового стоку. Кінцевим визначальним фактором є економічна спроможність міста щодо впровадження розглянутих методів.

1. ДБН В.2.5-75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. Київ : Мінрегіон України, 2013. 211 с.
2. ДСТУ-Н Б В.2.5-61:2012. Настанова з улаштування систем поверхневого водовідведення. Київ : Мінрегіон України, 2012. 30 с.
3. Гіроль М. М., Охримюк Б., Собчук Г., Лагуд Г. Системи водовідведення : навч. посіб. Рівне, 2011. 444 с.
4. Ткачук О. А., Ярута Я. В. Оцінка сумісної роботи комплексу споруд дощового водовідведення. *Науковий вісник будівництва*. Харків : ХНУБА, 2019. № 4. Т. 98. С. 271–276. URL: <https://vestnik-construction.com.ua/uk/2019/4-98-2019.html> (дата звернення: 20.05.2023).
5. Ткачук О. А., Ярута Я. В. Містобудівна оцінка споруд регулювання дощового стоку в умовах міської забудови. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Технічні науки*. Рівне : НУВГП, 2021. Вип. 2(94). С. 8–19. URL:

<http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/22288> (дата звернення: 20.05.2023).
6. Ткачук С. Г., Жук В. М. Регулювання дощового стоку в системах водовідведення : монографія. Видавництво «Львівська політехніка» : Львів, 2012. 216 с.
7. Принципи та критерії оцінювання ефективності. URL: <https://elearn.nubip.edu.ua/mod/book/tool/print/index.php?id=357320> (дата звернення: 20.05.2023).
8. Mays L. W. Storm water collection systems design handbook. McGraw-Hill, 2001. 1008 p.
9. Olexander Tkachuk, Yana Yaruta, Olha Shevchuk. Assessment of Application Conditions of Infiltration Basins for Regulation of Urban Rainwater Drainage. *Journal of Ecological Engineering*. 2022. Vol. 23(2). P. 191–195. URL: <https://doi.org/10.12911/22998993/144718> (дата звернення: 20.05.2023).

REFERENCES:

1. DBN V.2.5-75:2013. Kanalizatsiia. Zovnishni merezhi ta sporudy. Osnovni polozhennia proektuvannia. Kyiv : Minrehion Ukrainy, 2013. 211 s.
2. DSTU-N B V.2.5-61:2012. Nastanova z ulashtuvannia system poverkhnevoho vodovidvedennia. Kyiv : Minrehion Ukrainy, 2012. 30 s.
3. Hirol M. M., Okhrymiuk B., Sobchuk H., Lahud H. Systemy vodovidvedennia : navch. posib. Rivne, 2011. 444 s.
4. Tkachuk O. A., Yaruta Ya. V. Otsinka sumisnoi roboty kompleksu sporud doshchovoho vodovidvedennia. *Naukovyi visnyk budivnytstva*. Kharkiv : KhNUBA, 2019. № 4. Т. 98. S. 271–276. URL: <https://vestnik-construction.com.ua/uk/2019/4-98-2019.html> (дата зvernennia: 20.05.2023).
5. Tkachuk O. A., Yaruta Ya. V. Mistobudivna otsinka sporud rehuliuвання doshchovoho stoku v umovakh miskoi zabudovy. *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia. Tekhnichni nauky*. Rivne : NUVHP, 2021. Vyp. 2(94). S. 8–19. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/22288> (дата зvernennia: 20.05.2023).
6. Tkachuk S. H., Zhuk V. M. Rehuliuвання doshchovoho stoku v systemakh vodovidvedennia : monohrafiia. Vydavnytstvo «Lvivska politekhnikha» : Lviv, 2012. 216 s.
7. Pryntsypy ta kryterii otsiniuvannia efektyvnosti. URL: <https://elearn.nubip.edu.ua/mod/book/tool/print/index.php?id=357320> (дата зvernennia: 20.05.2023).
8. Mays L. W. Storm water collection systems design handbook. McGraw-Hill, 2001. 1008 p.
9. Olexander Tkachuk, Yana Yaruta, Olha Shevchuk. Assessment of Application Conditions of Infiltration Basins for Regulation of Urban Rainwater Drainage. *Journal of Ecological Engineering*. 2022. Vol. 23(2). P. 191–195. URL: <https://doi.org/10.12911/22998993/144718> (дата зvernennia: 20.05.2023).

**Tkachuk O. A., Doctor of Engineering, Professor, Sotnychuk S. O.,
Graduate Student** (National University of Water and Environmental
Engineering, Rivne)

ASSESSMENT OF RAINFLOW REGULATION METHODS WITH THE PURPOSE OF PREVENTING UNDERFLOODING AND FLOODING OF URBAN AREAS

Based on the analysis of the main causes of flooding and inundation of urban areas, methods of regulating rainwater runoff and criteria for evaluating their effectiveness have been systematized. All methods of rainwater regulation in urban areas are divided into two groups: storage and filtering. Accumulative ones include: change in the shape of the surface of coatings (indentations and protrusions, increased roughness, porous bulk layers on them); small containers (tanks, cisterns); reservoirs; open water bodies (ponds, biological ponds, swamps). Filtering methods include: areas with natural soil coverings (lawns, vegetated strips, rain gardens); filtration facilities (trenches, infiltration basins); "green" roofs of buildings and structures; water-permeable improved coatings (porous concrete, asphalt, lawn grates, gravel paths).

Seven main and one additional criteria for assessing technological, urban planning, environmental and economic feasibility have been determined. The main criteria include: rainwater retention conditions; duration of rainwater retention; the ability to pre-clean rainwater runoff; regeneration conditions; the need for additional areas for buildings; increase in groundwater levels in the places where structures are installed; cost-effectiveness (need for additional capital investments and (or) operational costs). An additional (8th) criterion for evaluating the effectiveness of the specified methods is the regulatory ability of structures to retain the calculated volumes of precipitation or formed runoff (in percentages until complete retention).

It was established that the most appropriate is a combination of rainwater regulation methods. It provides for a combination of various methods of regulating rainwater runoff, the types and effectiveness of which are used in specific areas determined by a group of proposed factors. The final determining factor is the economic capacity of the city to implement the considered methods.

***Keywords:* rainwater runoff; surface drainage; flooding and flooding; urban areas.**