МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Ю.М. ПОТЕБНІ

КАФЕДРА МІСЬКОГО БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра

на тему: **«ІНТЕГРАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЙ ЕФЕКТИВНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ СИСТЕМ ПОВЕРХНЕВОГО ВОДОВІДВЕДЕННЯ В УМОВАХ МІСЬКОЇ ЗАБУДОВИ»**

Виконав: студент 2 курсу, група 8.1924-мбг-дн
спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія
освітньо-професійної програми «Міське будівництво та господарство»
Бобрик І.С.

Керівник: доцент кафедри міського будівництва і архітектури, канд. техн. наук Фостащенко О.М.

Рецензент: професор кафедри промислового та цивільного будівництва, д. т. н. Банах В.А.

Запоріжжя
2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ІМ. Ю.М. ПОТЕБНІ
ЗАПОРІЗЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Кафедра Міського будівництва і архітектури
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
(другий (магістерський) рівень)
Спеціальність 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
(шифр і назва)
Освітня програма «Міське будівництво та господарство»
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:
завідувач кафедри *міського будівництва і архітектури*
доцент А.В. Банах
"01" 07 2025 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Бобрик Ігорю Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Інтеграція технологій ефективного обслуговування систем поверхневого водовідведення в умовах міської забудови»

Науковий керівник роботи доц., к.т.н., Фостащенко Олена Миколаївна
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від "19" 09 2025 року № 1303-с

2. Термін подання студентом кваліфікаційної роботи *05 лютого 2026 р.*

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи *Актуальність обраного напрямку досліджень, перспективи впровадження майбутніх теоретичних та практичних досягнень, мета роботи, завдання до виконання обраних досліджень, об'єкт досліджень, предмет досліджень, передбачувані методи виконання досліджень, значимість у сучасному житті, можливості розвинення проблематики досліджень.*

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) *Аналіз теоретичниїх підходів до визначення структури та ролі елементів міського простору в розвитку сучасних міст України, проаналізувати сучасні технології та методи ефективного обслуговування систем поверхневого водовідведення, розробити пропозиції, щодо інтеграції сучасних технологій та методів ефективного обслуговування систем поверхневого водовідведення в умовах міської забудови.*

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) *Від восьми графічних аркушів із результатами аналітичних обґрунтувань наукового напряму досліджень, теоретичними та методологічними основами дослідження, сучасними технологіями та методами ефективного обслуговування систем поверхневого водовідведення, пропозиціями, результатами практичних досліджень, висновками.*

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи магістра

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Фостащенко О.М., к.т.н., доц.		
Розділ 2	Фостащенко О.М., к.т.н., доц.		
Розділ 3	Фостащенко О.М., к.т.н., доц.		

7. Дата видачі завдання 01.07.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	1 ТЕОРЕТИЧНІ ТА НОРМАТИВНІ ОСНОВИ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ ПОВЕРХНЕВОГО ВОДОВІДВЕДЕННЯ В УМОВАХ МІСЬКОЇ ЗАБУДОВИ	1 жовтня	
2	2 СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МЕТОДИ ЕФЕКТИВНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ СИСТЕМ ПОВЕРХНЕВОГО ВОДОВІДВЕДЕННЯ	1 грудня	
3	3 ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ІНТЕГРАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЙ ЕФЕКТИВНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ СИСТЕМ ПОВЕРХНЕВОГО ВОДОВІДВЕДЕННЯ	1 лютого	
4	Попередній захист	10 грудня	

Студент _____ Бобрик І.С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проєкту) _____ Фостащенко О.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ Гребенюк І.В.
(підпис) (ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Бобрик І.С. Інтеграція технологій ефективного обслуговування систем поверхневого водовідведення в умовах міської забудови.

Кваліфікаційна робота для здобуття другого ступеня вищої освіти за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник Фостащенко О.М. Інженерний науково-навчальний інститут ім. Ю.М. Потебні Запорізького національного університету, кафедра міського будівництва і архітектури, 2026.

У роботі розглянуто питання інтеграції сучасних технологій ефективного обслуговування систем поверхневого водовідведення в умовах щільної міської забудови. Проаналізовано особливості функціонування традиційних та інноваційних систем управління зливовими водами, їх вплив на безпеку дорожнього руху, екологічний стан міських територій і довговічність інженерної інфраструктури.

Особливу увагу приділено поєднанню відкритих і закритих водовідвідних систем із природоорієнтованими рішеннями (SUDS, LID), а також використанню сучасних матеріалів, стійких до дії динамічних навантажень, агресивних середовищ та кліматичних факторів. Визначено роль регламентного обслуговування, моніторингу технічного стану та очищення елементів водовідведення як ключових складових надійної роботи систем.

Обґрунтовано доцільність впровадження інтегрованого підходу до управління поверхневими стоками з метою зниження ризиків підтоплення, підвищення екологічної стійкості та забезпечення сталого розвитку міського середовища.

Ключові слова: ІНТЕГРАЦІЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ, СИСТЕМИ ПОВЕРХНЕВОГО ВОДОВІДВЕДЕННЯ, ЩІЛЬНА МІСЬКА ЗАБУДОВА

ABSTRACT

Bobryk I. Integration of Technologies for Effective Maintenance of Surface Water Drainage Systems in Urban Development.

Qualifying final work for obtaining a higher education master's degree in specialty 192 Construction and civil engineering, scientific supervisor H. Fostashchenko, Zaporizhzhya National University, Y.M Potebnya Engineering Educational and Scientific Institute, Department of Urban Construction and Architecture, 2026.

The paper considers the issue of integrating modern technologies for effective maintenance of surface water drainage systems in dense urban areas. The features of the functioning of traditional and innovative stormwater management systems, their impact on road safety, the ecological state of urban areas, and the durability of engineering infrastructure are analyzed.

Particular attention is paid to the combination of open and closed drainage systems with nature-oriented solutions (SUDS, LID), as well as the use of modern materials resistant to dynamic loads, aggressive environments and climatic factors. The role of routine maintenance, monitoring of technical condition, and cleaning of drainage elements as key components of reliable system operation has been identified.

The feasibility of implementing an integrated approach to surface runoff management in order to reduce the risks of flooding, increase environmental sustainability, and ensure sustainable development of the urban environment is substantiated.

Key words: INTEGRATION OF MODERN TECHNOLOGIES, SURFACE DRAINAGE SYSTEMS, DENSE URBAN DEVELOPMENT

ЗМІСТ

ВСТУП……... 6

1 ТЕОРЕТИЧНІ ТА НОРМАТИВНІ ОСНОВИ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ ПОВЕРХНЕВОГО ВОДОВІДВЕДЕННЯ В УМОВАХ МІСЬКОЇ ЗАБУДОВИ ……. 9

1.1 Роль і значення систем поверхневого водовідведення у структурі міської інфраструктури …… 9

1.2 Класифікація та принципи роботи систем поверхневого водовідведення …… 15

1.3 Нормативно-правове забезпечення проєктування, експлуатації та обслуговування систем водовідведення …… 22

2 СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МЕТОДИ ЕФЕКТИВНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ СИСТЕМ ПОВЕРХНЕВОГО ВОДОВІДВЕДЕННЯ 27

2.1 Аналіз методів проєктування поверхневого водовідведення в умовах міської забудови ……... 27

2.2 Аналіз інженерних рішень для поверхневого водовідведення з автомобільних доріг ……. 35

2.3 Інтеграція сучасних сталих і природоорієнтованих рішень у системи поверхневого водовідведення ……. 41

3 ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ІНТЕГРАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЙ ЕФЕКТИВНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ СИСТЕМ ПОВЕРХНЕВОГО ВОДОВІДВЕДЕННЯ 46

3.1 Інтеграції сучасних технологій у міські системи поверхневого водовідведення ……. 46

3.2 Пропозиції щодо застосування лоткових каналів у системах поверхневого водовідведення з проїзної частини автомобільних доріг ….. 53

3.3 Інтеграція технологій ефективного управління зливовими водами в умовах міської забудови……. 67

ВИСНОВКИ …….. 71

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ …… 72

ВСТУП

Актуальність дослідження. Сучасний розвиток міст України супроводжується зростанням щільності забудови, збільшенням площі водонепроникних покриттів та посиленням впливу кліматичних змін, що призводить до підвищення ризиків підтоплення територій і погіршення якості поверхневих вод. У цих умовах ефективне функціонування систем поверхневого водовідведення набуває особливої значущості як одного з ключових елементів міської інженерної інфраструктури.

Традиційні підходи до експлуатації та обслуговування систем поверхневого водовідведення часто не забезпечують належного рівня оперативності, надійності та екологічної безпеки. У зв’язку з цим актуальним є впровадження інтегрованих технологічних рішень, що поєднують розумні системи моніторингу, геоінформаційні технології, інноваційне обладнання та сучасні методи відновлення мереж. Застосування таких підходів дозволяє підвищити ефективність управління дощовими стоками, зменшити ризики підтоплення та мінімізувати негативний вплив на навколишнє середовище, що є особливо важливим для промислових і великих міських агломерацій, зокрема в умовах післявоєнного відновлення міст.

Метою роботи є обґрунтування та розроблення комплексного підходу до впровадження сучасних технологій обслуговування систем поверхневого водовідведення з метою підвищення їх експлуатаційної надійності, ефективності функціонування та екологічної безпеки в умовах щільної міської забудови.

Для досягнення поставленої мети в роботі передбачено вирішення таких завдань:

– проаналізувати теоретичні та нормативно-правові основи функціонування систем поверхневого водовідведення в умовах міської забудови;

– дослідити сучасний стан та основні проблеми експлуатації систем поверхневого водовідведення в умовах щільної міської забудови;

– узагальнити сучасні вітчизняні та зарубіжні технології обслуговування і моніторингу систем поверхневого водовідведення;

– проаналізувати можливості застосування розумних (Smart) технологій, геоінформаційних систем та інноваційного обладнання в процесі обслуговування водовідвідних мереж;

– обґрунтувати доцільність впровадження сталих дренажних систем та безтраншейних технологій відновлення трубопроводів;

– розробити пропозиції щодо інтеграції ефективних технологій обслуговування систем поверхневого водовідведення в умовах міської забудови.

Об'єктом дослідження є системи поверхневого водовідведення в умовах міської забудови та процеси їх експлуатації й обслуговування.

Предметом дослідження є технології, методи та інженерні рішення ефективного обслуговування систем поверхневого водовідведення, а також способи їх інтеграції в існуючу міську інженерну інфраструктуру.

Джерела дослідження. Під час дослідження теми були використані наукові статті в періодичних виданнях, монографії, дисертаційні рукописи, збірки тез доповідей науково-практичних конференцій, інтернет-ресурси наукових електронних бібліотек.

Практичне значення одержаних результатів. Отримані результати можуть бути використані для підвищення ефективності експлуатації систем поверхневого водовідведення в містах. Запропоновані технології та інтегровані рішення дозволяють зменшити ризики підтоплень і забруднення, оптимізувати витрати на обслуговування мереж, покращити екологічну безпеку та підвищити стійкість міської інфраструктури до змін клімату та урбанізації. Їх впровадження доцільне для комунальних служб та проєктних організацій, що забезпечує надійне і адаптивне функціонування водовідвідних систем.

Особистий внесок автора. Полягає у проведенні аналізу теоретичних та нормативних основ функціонування систем поверхневого водовідведення, дослідженні сучасних технології їх обслуговування та управління, а також визначенні основних проблеми експлуатації. На основі цього були запропоновані практичні заходи щодо інтеграції інноваційних технологій і оцінена їх ефективність, що підвищує надійність та екологічну безпеку міської інфраструктури.

Відомості про публікації здобувача. Бобрик І.С., Фостащенко О.М., Інтеграція технологій у системи поверхневого водовідведення в умовах міської забудови. Збірник наукових праць студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених «Молода наука-2025»: у 5 т. / Запорізький національний університет. Запоріжжя : ЗНУ, 2025. Т.5. 471 с. С. 8 - 10.

Структура та обсяг магістерської роботи. Робота складається з вступу, трьох основних розділів, висновків, списку використаних джерел. Робота викладена на 75 сторінках, 22 рисунка, 2 таблиці. Для написання даної роботи використано 40 літературних джерел.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ТА НОРМАТИВНІ ОСНОВИ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ ПОВЕРХНЕВОГО ВОДОВІДВЕДЕННЯ В УМОВАХ МІСЬКОЇ ЗАБУДОВИ

1.1 Роль і значення систем поверхневого водовідведення у структурі міської інфраструктури

Системи поверхневого водовідведення є ключовим елементом інфраструктури сучасних міст, що забезпечує ефективне управління водними ресурсами та запобігання підтопленням територій. У контексті інтенсивної міської забудови, зростання урбанізації та впливу кліматичних змін особливо важливим стає підвищення ефективності функціонування цих систем. З цією метою активно впроваджуються інноваційні технології, які дозволяють не лише оптимізувати обслуговування водовідвідних мереж, а й зменшити негативний вплив на навколишнє середовище [1].

У містах із щільною забудовою спостерігаються численні проблеми, пов’язані з ефективністю водовідведення [2], серед яких:

– невідповідність існуючої інфраструктури сучасним вимогам – мережі, побудовані у радянський період, часто не витримують сучасних навантажень, що призводить до затоплень під час сильних дощів;

– зниження інфільтрації води в ґрунт – велика частка непроникних поверхонь (асфальт, бетон) зменшує природне фільтрування води, погіршуючи стан ґрунтових вод та екологічну ситуацію;

– забруднення стоків – поверхневі води, що потрапляють у мережі, містять нафтопродукти, важкі метали та органічні забруднювачі, що негативно впливає на екологію;

– неоптимальне управління системами – відсутність інтегрованих систем моніторингу та автоматизації ускладнює своєчасне реагування та ефективне управління водовідведенням.

Системи поверхневого водовідведення в сучасних містах виконують ключову роль у забезпеченні безперебійного функціонування міської інженерної інфраструктури, оскільки вони відповідають за збір і відведення дощових і талих вод з поверхонь, що швидко накопичують стік унаслідок урбанізації та покриття територій непроникними матеріалами. Така інфраструктура сприяє зниженню ризику локальних підтоплень, захищає дорожнє полотно, будівлі та підземні комунікації від гідродинамічного впливу надлишкових вод, а також підтримує загальну стійкість міських територій до екстремальних гідрологічних явищ [3].

Практика ефективного обслуговування зливовими водами пройшла еволюцію від традиційного фокусування лише на дренажі до багатогранного підходу, який підтримує комплексний розвиток міських територій, орієнтованих на здорове, екологічне та водочутливе середовище на рівні окремих районів і міста загалом. Аналіз наукових досліджень показує, що інтегрований підхід дозволяє отримувати супутні вигоди у різних секторах та охоплює функціональні області, такі як дренаж, захист від повеней, управління заплавами, контроль якості води, міська екологія, рекреація та благоустрій.

Традиційні методи ефективного обслуговування обмежують потенціал реформування практики землекористування, тоді як сучасні виклики, включаючи зміни клімату, підвищення рівня моря, інтенсивну урбанізацію, вимагають нових інтегрованих рішень. Незважаючи на технічний прогрес у галузі ефективного обслуговування управління стоками, інтегративні рамки, які поєднують соціальні, екологічні та інфраструктурні потреби, залишаються недостатньо розробленими, особливо в містах прибережних зон, де екологічні проблеми проявляються найгостріше.

Необхідні організаційні ініціативи, спрямовані на підтримку регулярного технічного обслуговування та зниження ризику повеней у міських середовищах. Управління зливовими водами тісно пов’язане з іншими інтегрованими концепціями, такими як інтегроване управління водними ресурсами, «Єдина вода», «Єдине здоров’я» та інтегроване управління повенями, а також включене у ширшу стратегію міського планування [3].

Сучасні дослідження підкреслюють потенціал інтегрованого підходу для підвищення ефективності збору та використання зливових вод як ресурсу, впровадження природоорієнтованих рішень і концепції «губчастого міста», що може трансформувати міські ландшафти. Великі міста стикаються зі складнощами збереження транспортних коридорів для основних потоків води, а також зберігання і очищення об’єднаних стоків.

Управління на районному рівні підкреслює важливість участі громади та інклюзії для забезпечення екологічної справедливості і зміцнення соціального капіталу. Інтеграція організаційних ініціатив від місцевого до міського рівня та фінансування модернізації систем зливових вод залишаються основними викликами, що потребують активного лідерства. Протидія змінам та опір інтеграції особливо помітні у країнах з низькою якістю землекористування та слабкими управлінськими структурами. Пошук рішень для узгодження районних та міських водних систем вимагає комплексних підходів до планування і залишається ключовим завданням міського та водного управління у майбутньому.

У процесі містобудівного планування вивчення землекористування спрямоване на створення комфортних, стійких і високоякісних міських середовищ. Одним із першочергових аспектів, пов’язаних із ефективним обслуговуванням зливовими водами, є резервування ділянок для їх ефективного відведення від джерела до точок скидання. Контроль швидкості та обсягу стоку дозволяє значно зменшити негативний вплив на міську інфраструктуру та природне середовище, що формує основу для

впровадження підходів та удосконалення управління локальними дощовими водами. Особливо важливим є контроль «першого змиву», який характеризується високою концентрацією забруднювачів, адже управління стоком у точках його походження забезпечує численні екологічні та соціальні переваги. Збереження природних умов місць стоку сприяє підтриманню міської екології, а інтеграція споруд зливових вод у рекреаційні зони допомагає формувати здорове міське середовище, що є центральною метою проєктувальників.

Традиційна інженерна практика міського дренажу базувалася на системах жолобів, впускних труб і колекторів, що забезпечують збір та транспортування стічних вод до місцевих водотоків або споруд скидання. У містобудівному плануванні доцільно розділяти потоки води на малі та великі за обсягом, оскільки вони вимагають різного підходу до контролю та інфраструктурного забезпечення. Малі потоки зазвичай обробляються вуличними й локальними дренажними системами, тоді як великі потоки потребують виділення достатніх просторів для безпечного відведення води, що запобігає пошкодженню будівель і транспортної інфраструктури під час повеней.

Сучасні підходи до управління зливовими водами інтегрують технічні, екологічні та соціальні аспекти, поєднуючи традиційні дренажні системи з природоорієнтованими рішеннями. Це включає використання зелених технологій, біо-фільтраційних елементів, інтелектуальних систем моніторингу та LID-підходів, що дозволяє ефективно контролювати сток, зменшувати забруднення, підвищувати стійкість міської інфраструктури та одночасно створювати привабливі громадські простори для відпочинку та рекреації.

Сучасні дослідження підкреслюють, що управління поверхневим стоком виходить за межі традиційної інженерної дренажної функції і стає інтегрованою частиною стратегічного планування сталого розвитку міст. Такі системи включають як «сірі» інженерні споруди, так і «зелену»

інфраструктуру, наприклад, біо-фільтраційні елементи, проникаючі покриття та інноваційні рішення згідно з концепцією «губчастого міста» (sponge city), що не лише забезпечують відведення води, а й відновлюють природні гідрологічні цикли, підвищують якість води та сприяють екологічній рівновазі урбанізованих територій [4].

Таким чином, системи поверхневого водовідведення є невід'ємною складовою сучасної міської інфраструктури, що забезпечує технічну, екологічну та соціальну стійкість міст у контексті посиленого урбанізаційного та кліматичного навантаження.

Інтеграція новітніх технологій у системи поверхневого водовідведення дозволяє підвищити їх ефективність і знизити екологічне навантаження. До таких технологій належать:

– системи моніторингу на базі Інтернету речей (IoT) – датчики рівня, температури та забруднень забезпечують відстеження стану мереж у реальному часі та прогнозування можливих проблем;

– автоматизовані системи управління потоками води – регулювання обсягу стоків у колекторах і каналізаційних колодязях для запобігання підтопленням та забрудненню;

– «розумні» дренажні системи – автоматичне регулювання потоку води за допомогою клапанів і насосів на основі даних сенсорів, що зменшує навантаження на мережі;

– зелені технології управління дощовими водами – біо-фільтраційні системи, зелені дахи, дренажні садки та перфоровані труби сприяють природному очищенню води та зниженню навантаження на інфраструктуру.

Програмні комплекси для прогнозування та моделювання потоків води – дозволяють планувати обслуговування та оперативно реагувати на надзвичайні ситуації, такі як повені чи затоплення.

Впровадження цих технологій забезпечує оптимізацію процесів управління водовідведенням, зменшення витрат на обслуговування та ремонт, а також підвищення точності моніторингу стану мереж.

Використання зелених технологій і природних методів очищення сприяє зниженню забруднення довкілля, покращенню якості води та зменшенню навантаження на водосховища й підземні води [4].

У контексті зміни клімату, коли інтенсивність опадів зростає, інтеграція сучасних технологій дозволяє швидко і ефективно реагувати на погодні коливання, запобігаючи затопленням і іншим проблемам. Крім того, використання інтелектуальних систем, автоматизації та моделювання потоків води підвищує економічну ефективність водовідвідної інфраструктури за рахунок зменшення витрат на енергію, воду та інші ресурси [5].

В цілому, комплексне застосування інноваційних технологій забезпечує підвищення ефективності водовідведення та зменшення екологічного впливу на міське середовище, одночасно вирішуючи технічні, фінансові та управлінські проблеми впровадження нових рішень [6].

Ефективне обслуговування систем поверхневого водовідведення мають значний потенціал для комплексного покращення міських середовищ, впливають не лише на громадське здоров’я через зменшення ризику підтоплень і забруднення, але й на ефективне управління природними ресурсами та навколишнім середовищем. Вони сприяють підвищенню соціальної якості життя, забезпечують створення безпечних і привабливих громадських просторів, підтримують екологічну стійкість міст і можуть стати інструментом соціальних перетворень, стимулюючи інтеграцію зелених технологій, підвищення інклюзії та зміцнення соціального капіталу.

Таким чином, ефективне обслуговування систем поверхневого водовідведення виступає не лише інженерною складовою міської інфраструктури, а й важливим елементом комплексного планування сталого та здорового міського середовища [7].

1.2 Класифікація та принципи роботи систем поверхневого водовідведення

Системи поверхневого водовідведення є критичною складовою інфраструктури сучасних міст, забезпечуючи ефективне управління дощовими та талими водами, зменшення ризику підтоплень та підтримання екологічного балансу міського середовища. Зростання урбанізації, інтенсивне використання земель та зміни клімату призводять до збільшення обсягів поверхневого стоку в містах. Відсутність ефективних систем водовідведення може спричинити підтоплення вулиць, пошкодження інженерних комунікацій, забруднення водних об’єктів та погіршення якості життя населення [4]. Системи поверхневого водовідведення поділяються за функціональними, конструктивними та технологічними ознаками, що дозволяє планувальникам, інженерам та екологам оптимізувати їхнє розміщення та управління.

Водоприймальні пристрої різних типів та конструкцій є ключовими елементами мереж дощового водовідведення, оскільки вони забезпечують збір усіх видів поверхневих стоків – дощових, талих та поливо-мийних – безпосередньо з прилеглих поверхонь. Гідравлічні характеристики цих пристроїв визначають ефективність пропускної здатності всієї водовідвідної мережі, що, у свою чергу, впливає на рівень і швидкість відведення води та умови можливого підтоплення урбанізованих територій. Оптимальне проектування та розташування водоприймальних елементів дозволяє не лише підвищити пропускну здатність мережі, а й зменшити ризик затоплень, забезпечуючи стабільність функціонування міської інфраструктури та безпеку громадських просторів [8].

Відведення поверхневих стічних вод з урбанізованих басейнів стоку здійснюється комплексно, із врахуванням організації рельєфу території та облаштування як відкритих, так і закритих систем водовідведення. До таких

систем відносяться водостічні труби (водостоки), лотки, кювети, дощоприймальні колодязі, а також регулювальні, інфільтраційні та локальні очисні споруди, що забезпечують ефективне управління стоком та очищення поверхневих вод [9].

Система поверхневого дренажу в міських умовах зазвичай формується як комплекс інженерних елементів, що включає серію впускних отворів у бордюрах, ґратчасті колодязні решітки та безперервні поперечні решітки, які взаємопов’язані дренажними каналами, рис. 1. Така конструктивна організація дозволяє забезпечити ефективний збір і відведення дощових та талих вод з вулиць, тротуарів і відкритих територій, зменшуючи ризик підтоплень, ерозії дорожнього покриття та забруднення прилеглих водних об’єктів. Комплексний підхід до проєктування таких систем дозволяє оптимізувати гідравлічні характеристики мережі, покращити швидкість та пропускну здатність стоку, а також інтегрувати поверхневий дренаж у загальну міську інфраструктуру.



а)



б)

Рисунок 1.1 – Ґратчасті вхідні отвори (а) та безперервні поперечні решітки (б)

Дощоприймальні колодязі відповідно до нормативних вимог [7] рекомендується розміщувати в понижених ділянках житлових кварталів, внутрішніх дворах та зелених зонах, на виїздах із дворів та кварталів, на перехрестях і пішохідних переходах, де спостерігається приплив поверхневих вод, а також на міських площах, вулицях і проїздах. Особливу увагу приділяють їх розташуванню на затяжних ділянках, в кінці спусків та у понижених частинах пилкоподібних профілів лотків вулиць і проїздів, що дозволяє забезпечити повне та своєчасне відведення стоку, мінімізуючи ризик підтоплень і зберігаючи функціональність міської інфраструктури.

Залежно від способу забору поверхневого стоку, точкові дощоприймачі класифікують на решітчасті, бордюрні, комбіновані решітчасто-бордюрні та щілинні. Кожен із зазначених типів застосовується з урахуванням особливостей планувальної структури території, інтенсивності опадів та умов експлуатації.

До основних переваг точкових дощоприймачів належать:

– здатність ефективно приймати значні обсяги поверхневого стоку з локальних водозбірних підбасейнів, зокрема на перехрестях, зниженнях рельєфу та у місцях концентрації води;

– підвищена стійкість до засмічення твердими домішками та замулення, що забезпечує стабільну роботу системи впродовж тривалого періоду експлуатації;

– можливість оснащення гідрозатворами, осадовими приямками, кошиками для уловлювання крупного сміття, а за потреби – механічними або сорбційними фільтрами, що дозволяє суттєво знизити надходження забруднювальних речовин до системи дощового водовідведення та покращити екологічні показники водовідведення.

Точкові дощоприймачі, рис. 1.2, переважно застосовуються на проїжджих частинах вулиць, автомобільних дорогах, площах, а також на інших удосконалених водонепроникних покриттях, де відбувається інтенсивне формування поверхневого стоку. Їх проєктування, виготовлення

та експлуатація мають відповідати вимогам національного стандарту [10], який регламентує основні технічні та експлуатаційні характеристики елементів систем дощового водовідведення.

Водночас вимоги до лінійних дощоприймачів в Україні визначаються положеннями адаптованого європейського нормативного документа [11], що встановлює класи навантажень, конструктивні параметри та умови застосування водовідвідних лотків і решіток залежно від функціонального призначення територій та інтенсивності транспортного руху.

Окрему увагу слід приділяти вимогам безбар’єрності міського середовища. Згідно з [12], елементи водовідведення, розташовані в зонах пішохідного руху, не повинні створювати перепадів висот, щілин або перешкод, небезпечних для маломобільних груп населення, осіб з інвалідністю, людей похилого віку та батьків з дитячими візками. Решітки дощоприймачів у таких зонах мають забезпечувати безпечне пересування пішоходів і велосипедистів, у тому числі з урахуванням орієнтації щілин та розміру отворів.



Рисунок 1.2 – Точкові дощоприймачі на проїжджих частинах вулиць

До основних недоліків точкових дощоприймачів належать:

– необхідність формування відносно великої протяжності поверхневого потоку до місця водозбору, що за умов злив високої інтенсивності може

призводити до тимчасового підтоплення окремих ділянок урбанізованої території, зокрема проїжджих частин і пішохідних зон;

– потреба в систематичному технічному обслуговуванні, включаючи очищення решіток, осадових приямків і сміттєзатримувальних елементів, без чого знижується ефективність роботи та зростає ризик засмічення;

– підвищена капітальна вартість у порівнянні з лінійними водовідвідними системами, що обумовлена необхідністю влаштування дощоприймальних колодязів, підвідних трубопроводів та супутніх конструктивних елементів.

Ефективне функціонування точкових дощоприймачів можливе лише за умови правильного вибору місця їх розташування та виконання обґрунтованих гідравлічних розрахунків пропускної здатності як самого дощоприймача, так і відвідного трубопроводу. При цьому необхідно враховувати гідрологічні та планувальні характеристики відповідного урбанізованого підбасейна поверхневого стоку, інтенсивність і повторюваність опадів, рельєф місцевості, а також вимоги безпеки дорожнього руху та безбар’єрності міського середовища.

Лінійні дощоприймачі – це елементи систем поверхневого водовідведення, призначені для безперервного приймання та відведення дощових і талих вод уздовж протяжних ділянок покриття – уздовж бордюрів, тротуарів, проїжджої частини, пішохідних і громадських просторів.

Вони, як правило, виконуються у вигляді водовідвідних лотків з металевими або полімерними решітками, що встановлюються врівень з поверхнею покриття та під’єднуються до мережі дощової каналізації. Така конструкція забезпечує рівномірний збір поверхневого стоку по всій довжині елемента, зменшуючи довжину поверхневого потоку та ризик локальних підтоплень.

Лінійні дощоприймачі широко застосовуються на вулицях і дорогах населених пунктів, площах, автостоянках, тротуарах, велосипедних доріжках та у громадських просторах. Їх використання дозволяє підвищити безпеку

дорожнього руху, покращити експлуатаційні характеристики покриттів і забезпечити безбар'єрність міського середовища за умови правильного підбору конструкції, орієнтації решіток та класу навантаження відповідно до вимог [12].

Переваги лінійних дощоприймачів:

– забезпечують рівномірний і безперервний збір поверхневого стоку вздовж протяжних ділянок (узбіч, бордюрів, тротуарів);

– зменшують довжину поверхневого потоку, що знижує ризик підтоплення;

– краще інтегруються у концепції безбар'єрного міського простору;

– підвищують безпеку дорожнього руху за рахунок швидкого відведення води з проїжджої частини.

Недоліки лінійних дощоприймачів:

– більш чутливі до засмічення при недостатньому обслуговуванні;

– можуть мати обмежену пропускну здатність за пікових навантажень;

– потребують ретельного підбору класу навантаження та конструкції решіток;

– складніші у ремонті на окремих локальних ділянках.

За функціональним призначенням системи поверхневого водовідведення можуть бути класифіковані за основними функціями:

1. Збір та відведення стоку – включає колектори, жолоби, дощоприймачі, які спрямовують воду до річок, ставків або систем очистки.

2. Контроль повеней – системи, що забезпечують регулювання обсягів води під час інтенсивних опадів, наприклад, тимчасові резервуари, затримуючі басейни та запобіжні канали.

3. Очищення води – включає споруди, які зменшують забруднення стічних вод, такі як біо-фільтри, дощові сади та системи осадження.

За конструктивними ознаками системи поверхневого водовідведення поділяються на:

– відкриті – канали, кювети, водостоки на поверхні, які дозволяють природне фільтрування та огляд системи для обслуговування;

– закриті – труби, тунелі та підземні колектори, що захищають воду від забруднення та підвищують безпеку міської території.

За типом інтеграції з міським середовищем системи поверхневого водовідведення поділяються на:

– традиційні інженерні системи (сіра інфраструктура) – класичні колектори та каналізаційні мережі, орієнтовані на швидке відведення води;

– природоорієнтовані або зелені системи – включають інструменти природного очищення та відведення води, наприклад, зелені дахи, біо-фільтраційні канали, водні резервуари;

– змішані (сіро-зелені) системи – поєднують інженерні споруди та зелені технології для оптимального контролю стоку та поліпшення екологічного балансу [5].

За масштабом та територіальним охопленням системи поверхневого водовідведення поділяються на:

– локальні системи – призначені для збору стоку на окремих ділянках або вулицях;

– районні системи – охоплюють квартали або окремі міські райони;

– міські системи – інтегровані мережі, що забезпечують управління стоком на рівні міста, включаючи резервні споруди для контролю паводків та очищення води.

Класифікація систем поверхневого водовідведення дозволяє:

1. Визначити оптимальні технологічні та конструктивні рішення для конкретних урбанізованих територій.

2. Інтегрувати управління водними ресурсами з міським плануванням та екологічними цілями.

3. Підвищити ефективність боротьби з підтопленнями та забрудненням води.

4. Забезпечити комплексний підхід до використання зелених та інженерних технологій у межах концепцій LID та «місто-губка».

Системи дощового водовідведення є важливим елементом інженерної інфраструктури на урбанізованих територіях. Від ефективності їх роботи значною мірою залежить рівень благоустрою міських просторів, безпека руху на транспортних шляхах, а також стан прилеглих поверхневих водойм та загальний екологічний баланс територій [13]. Надійні та правильно спроектовані системи водовідведення сприяють запобіганню підтоплень, зменшенню ерозії ґрунтів і забруднення водних об’єктів, що підвищує комфортність проживання та стійкість міської інфраструктури.

1.3 Нормативно-правове забезпечення проєктування, експлуатації та обслуговування систем водовідведення

Проєктування дощоприймачів різних типів в Україні здійснюється відповідно до комплексу державних будівельних норм і національних стандартів, які регламентують планувальні, конструктивні, гідравлічні та експлуатаційні аспекти систем поверхневого водовідведення. Зокрема, основні вимоги визначені у [14 – 17], а також у стандартах [11, 18 – 20], зазначені нормативні документи встановлюють вимоги до вибору типів дощоприймачів, їх конструкції, класів навантаження, умов розміщення у межах вулично-дорожньої мережі та взаємодії з іншими елементами інженерної інфраструктури.

Уряд України 24 грудня 2025 року затвердив Державну цільову екологічну програму технічної модернізації підприємств водовідведення та очищення стічних вод на період до 2034 року [21]. Програма має назву «Екостоки» і стосується підприємств, що перебувають у державній або комунальній власності.

Державна цільова програма модернізації систем водовідведення та очищення стічних вод на період до 2034 року спрямована на комплексне оновлення застарілої інженерної інфраструктури, зниження негативного впливу стічних вод на довкілля та підвищення якості комунальних послуг.

Програма охоплює підприємства водовідведення та очищення стічних вод державної і комунальної форми власності та реалізується з урахуванням принципів сталого розвитку, екологічної безпеки й євроінтеграційних зобов'язань України.

Основні напрями та заходи реалізації Програми:

Технічна модернізація очисних споруд:

- реконструкція та капітальний ремонт існуючих очисних споруд;
- впровадження сучасних технологій механічного, біологічного та хімічного очищення;
- дооснащення системами доочищення та знезараження стічних вод;
- автоматизація та диспетчеризація технологічних процесів.

Оновлення та розвиток мереж водовідведення:

- заміна зношених і аварійних каналізаційних мереж;
- будівництво нових ділянок систем водовідведення в населених пунктах;
- впровадження роздільних систем господарсько-побутової та дощової каналізації;
- зменшення втрат і несанкціонованих скидів стічних вод.

Енергоефективність та екологічна безпека:

- впровадження енергоощадного обладнання та технологій;
- використання відновлюваних джерел енергії на об'єктах водовідведення;
- скорочення викидів забруднюючих речовин у водні об'єкти;
- мінімізація утворення та безпечне поводження з осадами стічних вод.

Інституційний та кадровий розвиток:

- підвищення кваліфікації персоналу підприємств водовідведення;

– удосконалення системи управління та експлуатації інфраструктури;
– запровадження сучасних стандартів технічного обліку та контролю якості.

Нормативно-правове забезпечення:

– гармонізація національного законодавства з вимогами ЄС;
– дотримання екологічних норм і стандартів очищення стічних вод;
– посилення контролю за скидами у водні об’єкти.

Очікувані результати реалізації Програми:

– суттєве зменшення обсягів неочищених або недостатньо очищених стічних вод;
– покращення екологічного стану річок, водойм і прибережних зон;
– підвищення надійності та якості послуг водовідведення для населення;
– створення сучасної, стійкої та енергоефективної водної інфраструктури;
– виконання євроінтеграційних зобов’язань України у сфері охорони водних ресурсів.

Державна цільова програма модернізації систем водовідведення та очищення стічних вод до 2034 року реалізується з урахуванням принципів інклюзивного розвитку, безбар’єрності та європейської інтеграції, що відповідає сучасним підходам до формування стійкої та соціально орієнтованої інфраструктури.

У межах Програми передбачається створення умов для рівного доступу всіх груп населення до безпечних та якісних послуг водовідведення, зокрема:

– забезпечення санітарної безпеки житлових районів, громадських просторів і соціальних об’єктів (закладів освіти, охорони здоров’я, реабілітаційних центрів);

– зменшення екологічних ризиків для вразливих груп населення — осіб з інвалідністю, людей похилого віку, дітей;

– підвищення якості довкілля у щільно забудованих та соціально вразливих районах міст і громад;

– залучення громадськості до планування та моніторингу проєктів модернізації водної інфраструктури.

Модернізація систем водовідведення розглядається не лише як технічне, а й як соціально значуще завдання, що сприяє формуванню безпечного та комфортного середовища для всіх.

Програма орієнтована на впровадження принципів універсального дизайну та безбар'єрності при реконструкції й будівництві об'єктів водовідведення та очищення стічних вод, зокрема:

– забезпечення доступності адміністративних і виробничих будівель підприємств водовідведення для маломобільних груп населення;

– врахування безбар'єрних рішень під час розміщення люків, решіток, колодязів та інженерних елементів у громадському просторі;

– мінімізація небезпечних перетинів інженерної інфраструктури з пішохідними маршрутами;

– підвищення безпеки та зручності експлуатації міських територій для всіх користувачів.

Реалізація безбар'єрних підходів сприятиме формуванню людиноцентрованого міського середовища, що відповідає сучасним стандартам просторового розвитку.

Програма є складовою імплементації екологічного законодавства Європейського Союзу та наближення України до стандартів ЄС у сфері водної політики, зокрема:

– гармонізація національних норм із вимогами Директиви ЄС 91/271/ЄЕС щодо очищення міських стічних вод;

– впровадження підходів інтегрованого управління водними ресурсами;

– застосування європейських екологічних стандартів якості очищення стоків;

– підвищення інституційної спроможності органів місцевого самоврядування відповідно до практик ЄС.

Євроінтеграційна спрямованість Програми створює передумови для залучення міжнародної технічної допомоги, інвестицій та участі України у спільних екологічних ініціативах ЄС.

Реалізація Програми є важливою складовою післявоєнного відновлення територій, оскільки забезпечує відновлення критичної інфраструктури, підвищує рівень санітарної безпеки та сприяє сталому розвитку громад.

Нормативно-правове забезпечення сфери водовідведення поступово гармонізується з законодавством Європейського Союзу, зокрема з положеннями:

– Директиви 91/271/ЄЕС про очищення міських стічних вод [22];

– Директива Європейського Парламенту і Ради 2000/60/ЄС від 23 жовтня 2000 року про встановлення рамок заходів Співтовариства в галузі водної політики [23].

Імплементація європейських стандартів сприяє підвищенню екологічної ефективності систем водовідведення та інтеграції України до єдиного європейського екологічного простору.

На європейському рівні питання запобігання підтопленню та мінімізації негативних наслідків надмірного поверхневого стоку регламентуються Директивою 2007/60/ЕС Європейського Парламенту та Ради щодо оцінки й управління ризиками підтоплення [24], яка визначає стратегічні підходи до планування, проєктування та експлуатації систем водовідведення з урахуванням змін клімату та сталого розвитку територій. Вимоги до проєктування елементів систем поверхневого водовідведення, зокрема дощоприймачів і люків, у країнах ЄС також регламентуються стандартом BS EN 124:1994 [25], який встановлює класи навантажень та умови безпечної експлуатації у транспортних і пішохідних зонах.

2 СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МЕТОДИ ЕФЕКТИВНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ СИСТЕМ ПОВЕРХНЕВОГО ВОДОВІДВЕДЕННЯ

2.1 Аналіз методів проєктування поверхневого водовідведення в умовах міської забудови

Проєктування систем поверхневого водовідведення в міських територіях є важливою частиною інженерної інфраструктури, що впливає на безпеку, екологічність та ефективність функціонування забудованого середовища. Це особливо критично в умовах щільної міської забудови, де значна частина території покрита водонепроникними поверхнями: тротуари, дороги, що сприяє формуванню великих обсягів поверхневого стоку під час опадів.

Чинні нормативні вимоги щодо проєктування зовнішніх мереж водовідведення в Україні закріплені в [26], які встановлюють основні положення щодо планування, трасування та інтеграції мереж водовідведення в міське середовище. Цей документ є базовим для проєктних рішень з організації систем відведення господарсько-фекальних, виробничих і дощових стоків в населених пунктах.

Зокрема [26], визначає сферу застосування норм та основні принципи проєктування зовнішніх мереж каналізації, що включає елементи водовідведення від поверхневих стоків через відповідні споруди та колодязі, обладнання та конструкції.

Також при проєктуванні поверхневого водовідведення проєктанти повинні враховувати типові параметри стоку, вимоги до пропускної здатності дощової каналізації та розміщення елементів водовідведення у плані, ураховуючи щільність забудови і рельєф місцевості. Норми [26] також передбачає, що при проєктуванні поверхневого водовідведення треба

забезпечувати комплексність рішень: погодження з іншими інженерними мережами, уникнення локальних заторів, правильний вибір пропускної здатності елементів, а також передбачення заходів очищення поверхневого стоку від твердих частинок та забруднень.

Окремо варто відзначити, що нормативна база щодо водовідведення постійно оновлюється: наразі триває розробка нової редакції [27], для врахування сучасних інженерних та екологічних вимог. Отже, аналіз чинних та перспективних методів проєктування систем поверхневого водовідведення в умовах міської забудови свідчить про необхідність поєднання класичних інженерних підходів – закриті та відкриті канали, гідравлічні розрахунки із сучасними екологічно-орієнтованими рішеннями – облаштування локальних накопичувачів, систем очищення, зелених інфільтраційних зон. Все це має виконуватися з урахуванням вимог Державних будівельних норм України для забезпечення надійності, безпеки та адаптації до змін клімату.

Проєктування систем поверхневого водовідведення в межах міських територій ґрунтується на формуванні комплексних інженерних рішень, що поєднують лінійні та точкові елементи збору стоку. До складу таких систем входять самопливні та напірні колектори, дощоприймальні пристрої, каналізаційні насосні станції (КНС), а також локальні або централізовані очисні споруди (КОС). Основним завданням проєктування є запобігання підтопленню міських територій, передчасному руйнуванню елементів транспортної та інженерної інфраструктури, а також зменшення негативного впливу поверхневого стоку на навколишнє природне середовище шляхом належного очищення дощових і талих вод.

Проєктні рішення базуються на інженерно-гідравлічних розрахунках зливового стоку з урахуванням інтенсивності атмосферних опадів, рельєфу місцевості, площі водозбору, типу покриттів і коефіцієнтів стоку, а також технічних і містобудівних умов конкретної території. Такий підхід дозволяє обґрунтовано визначати параметри трубопроводів, пропускну здатність дощоприймальних елементів і необхідну потужність насосного обладнання.

Основні методи проєктування поверхневого водовідведення включають:

– лінійне водовідведення, що передбачає влаштування заглиблених дренажних каналів, лотків і жолобів для організованого збору та транспортування поверхневих вод з протяжних і значних за площею територій, зокрема автомобільних доріг, пішохідних зон і площ;

– точкове водовідведення, яке реалізується шляхом встановлення дощоприймачів у місцях локального накопичення води – у пониженнях рельєфу, на перехрестях вулиць, біля бордюрів та в зонах інтенсивного стоку;

– роздільну систему водовідведення, що передбачає окреме відведення поверхневих (дощових і талих) вод та господарсько-побутових стоків. Така система вважається найбільш раціональною для сучасної міської забудови, оскільки забезпечує ефективніше очищення стоків і зменшує навантаження на очисні споруди;

– загальносплавну систему, за якої дощові, талі та господарсько-побутові води відводяться однією мережею. Застосування цього методу є обмеженим і характерне переважно для історично сформованих центральних частин міст;

– розрахунковий метод проєктування, що базується на визначенні розрахункових витрат і об’ємів поверхневого стоку з використанням даних про інтенсивність опадів, площу водозбору та гідрологічні характеристики території, що є основою для підбору діаметрів трубопроводів і параметрів КНС. Особлива увага в процесі проєктування приділяється очищенню поверхневих стічних вод. Перед їх скиданням у водні об’єкти, відповідно до чинних нормативних вимог, передбачаються етапи механічного, фізико-хімічного та, за потреби, біологічного очищення. Це є особливо важливим у щільно забудованих міських умовах, де можливості природного ґрунтового самоочищення є обмеженими.

Відведення поверхневих вод атмосферних опадів є одним із базових елементів інженерної підготовки територій, що забезпечує сталий благоустрій, функціональну надійність міського середовища та захист територій від негативних наслідків підтоплення і ерозійних процесів. Ефективна організація поверхневого водовідведення сприяє збереженню дорожнього покриття, зелених насаджень і інженерних мереж, а також підвищує рівень екологічної та санітарної безпеки. Раціональна організація інженерної інфраструктури є визначальною умовою безпеки, санітарно-гігієнічного благополуччя та довговічності будівель і споруд. У цій системі водовідведення відіграє ключову роль, оскільки забезпечує збирання, транспортування та відведення дощових, господарсько-побутових і виробничих стічних вод, запобігаючи їх неконтрольованому накопиченню на території.

Поняття водовідведення виходить за межі суто побутового використання та охоплює стратегічні завдання у сферах екологічної безпеки, просторового планування, урбаністики та комунального господарства. Грамотне проєктування, монтаж і експлуатація систем водовідведення сприяють попередженню підтоплення територій, руйнування фундаментів і дорожніх покриттів, а також зменшенню негативного впливу стічних вод на довкілля. Це має принципове значення як для об’єктів приватної забудови, так і для промислових підприємств, громадських і соціально значущих об’єктів.

На сучасному етапі застосовуються три основні типи систем водовідведення поверхневих вод: закрита, відкрита та змішана – рис. 2.1, вибір яких залежить від містобудівних умов, рельєфу місцевості, інтенсивності опадів і рівня урбанізації території.

Закрита система водовідведення передбачає відведення дощових і талих вод за допомогою підземних трубопроводів, дощоприймачів, водостоків і мереж дощової каналізації. Така система забезпечує приховане розміщення інженерних елементів, що є доцільним у щільно забудованих

міських районах, сприяє збереженню архітектурного вигляду територій та підвищує безпеку і комфорт користування громадським простором.

Закрита система водовідведення вирізняється високим рівнем естетичної привабливості та експлуатаційної ефективності, що зумовлює її доцільність і оптимальність застосування у центральних та історично сформованих районах міст. Приховане розміщення інженерних елементів дозволяє зберегти цілісність міського простору, не порушуючи архітектурний вигляд і функціональність громадських територій.

Прикладом успішної реалізації закритої системи є каналізаційна мережа центральної частини міста Києва, яка забезпечує оперативне та безпечне відведення дощових і талих вод. Її функціонування сприяє зниженню ризику локальних підтоплень, підвищенню надійності інженерної інфраструктури та створенню комфортних і безпечних умов користування міським середовищем.



Рисунок 2.1 – Приклади водовідведення в умовах міської забудови

Відкрита система водовідведення включає такі елементи, як бетонні лотки, кювети та канави, які вирізняються простотою у спорудженні та експлуатації. Водночас її пропускна здатність обмежена, а потреба у значній площі для розміщення каналів може збільшувати ширину вулиць і впливати на планування міського простору. Через це відкриті системи найчастіше застосовуються у передмістях та промислових зонах, де наявність додаткової території дозволяє ефективно організувати водовідведення без значних урбаністичних обмежень. Так, у передмісті Львова відкриті канави використовуються для збору та відведення дощових вод із територій, що сприяє регулюванню рівня ґрунтових вод і запобіганню локальних підтоплень.

Змішана система водовідведення поєднує переваги закритої та відкритої систем. Вона реалізується шляхом впровадження закритих мереж у центральних районах міста та відкритих елементів на периферії та в зонах з достатньою площею. Такий підхід дозволяє досягти оптимального балансу між ефективністю водовідведення, економічністю інженерних рішень та інтеграцією у міський простір. Прикладом є Харків, де центральні райони оснащені сучасними закритими каналізаційними мережами, тоді як передмістя використовують відкриті лотки та кювети, що забезпечує комплексне управління поверхневими водами.

Зовнішнє лінійне водовідведення – це ефективна система поверхневого дренажу, призначена для організованого збору та відведення дощових і талих вод з територій різного функціонального призначення. Її застосування дозволяє запобігти підтопленню фундаментів будівель, передчасному руйнуванню дорожніх і тротуарних покриттів, ерозії ґрунтів та деградації благоустрою.

Система формується з лінійно розташованих у ґрунті водовідвідних лотків (каналів), перекритих захисними решітками, що забезпечує зручність монтажу, експлуатації та технічного обслуговування, рис. 2.2. До складу лінійного водовідведення входять водовідвідні лотки (пластикові, бетонні,

полімербетонні), захисні решітки (чавунні, сталеві або пластикові), пісковловлювачі для затримання піску та сміття, а також заглушки, перехідники й з’єднувальні елементи, що забезпечують герметичність та безперервність системи.



Рисунок 2.2 – Зовнішнє лінійне водовідведення

Принцип роботи: поверхневі води самопливом надходять у лотки, змонтовані з поздовжнім ухилом, після чого транспортуються до зливової каналізації, дренажної мережі або у відкриті водовідвідні елементи (кювети), мінімізуючи ризик локальних підтоплень.

Сфери застосування: система широко використовується на прибудинкових територіях і відмостках приватних будинків, у пішохідних

зонах та громадських просторах, на автостоянках, АЗС, СТО, промислових майданчиках, а також на вулицях і автомобільних дорогах різних категорій.

Переваги: лінійне водовідведення характеризується високою пропускною здатністю, надійним захистом будівель і покриттів від надлишкової вологи, зменшенням ризику аквапланування на проїзній частині, а також охайним і естетично привабливим зовнішнім виглядом, що важливо для сучасних міських просторів.

Особливості проєктування та монтажу:

– ухил поверхні**:** для забезпечення ефективного стоку необхідно формувати ухил покриття у бік лотків, зазвичай у межах 2–3 см на 1 м довжини;

– пісковловлювачі: є обов’язковими елементами системи, оскільки запобігають засміченню трубопроводів піском, листям і дрібним сміттям та подовжують строк експлуатації мережі;

– клас навантаження: підбір лотків і решіток здійснюється відповідно до передбачуваних навантажень – від пішохідних зон і велосипедних доріжок до ділянок з інтенсивним рухом транспорту, включно з промисловими та інфраструктурними об’єктами.

Зовнішнє лінійне водовідведення є одним із ключових елементів інженерної інфраструктури, що забезпечує комплексний захист територій і споруд від негативного впливу поверхневих вод та сприяє довговічності елементів благоустрою й транспортних мереж.

Лінійний водовідвід – це інженерна система послідовно з’єднаних між собою каналів, що формують безперервну лінію для збору та відведення поверхневих вод. Зазвичай такі канали перекриваються захисними решітками, які виконують одночасно функції безпеки та фільтрації крупного сміття. Матеріал і конструкція решіток підбираються залежно від розрахункового навантаження, інтенсивності руху та обсягу водного потоку – від легких пластикових рішень для пішохідних зон до чавунних або сталевих елементів для територій з рухом транспорту.

За відсутності лінійного або будь-якого іншого організованого водовідведення на ділянці виникає низка негативних наслідків: розмивання ґрунту та елементів рельєфу, підмивання фундаментів і покриттів, пошкодження кореневої системи зелених насаджень, що зрештою призводить до їх ослаблення або загибелі. Атмосферні опади та талі води повинні своєчасно перехоплюватися системою каналів, спрямовуватися у водоприймальні лотки та відводитися до дренажної або зливової мережі, що забезпечує стабільний водний режим території та збереження її функціональності й благоустрою.

2.2 Аналіз інженерних рішень для поверхневого водовідведення з автомобільних доріг

Поверхневе водовідведення з автомобільних доріг є одним із ключових елементів дорожньої інфраструктури, що безпосередньо впливає на безпеку руху, довговічність дорожнього одягу та стабільність земляного полотна. Неефективне відведення дощових і талих вод призводить до утворення калюж, підвищення ризику аквапланування, руйнування асфальтобетонного покриття та прискореного зносу конструктивних шарів дороги. У зв’язку з інтенсифікацією транспортних потоків, кліматичними змінами та процесами післявоєнного відновлення транспортної мережі України, питання вдосконалення методів проєктування систем поверхневого водовідведення набуває особливої актуальності.

Традиційні методи проєктування ґрунтуються на забезпеченні швидкого та безперешкодного відведення поверхневих вод з проїзної частини за рахунок формування поперечних і поздовжніх ухилів покриття. Поперечний ухил проїзної частини, як правило, становить 20–30 ‰ і спрямований від осі дороги до узбіч або водовідвідних лотків. Поздовжні

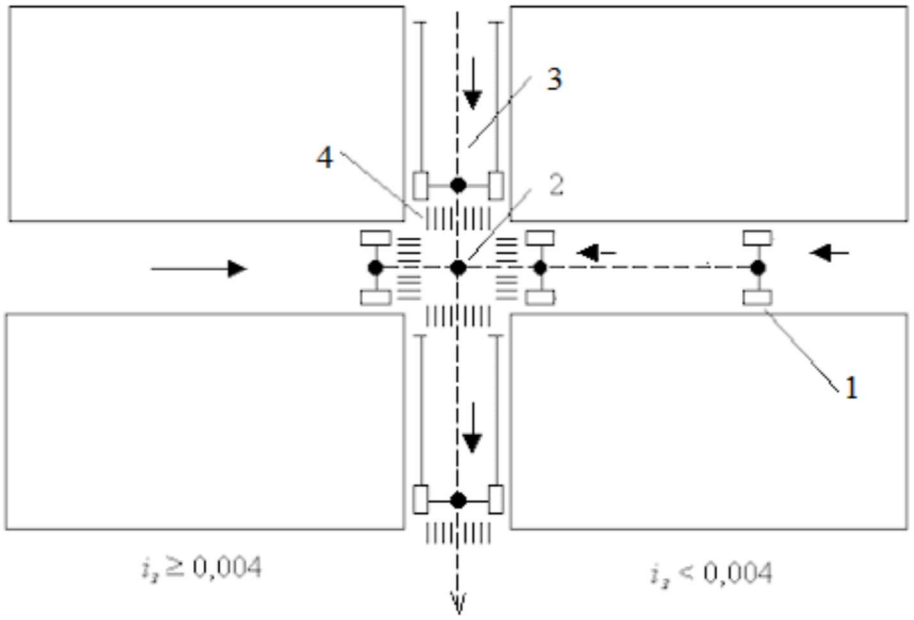
ухили забезпечують рух води вздовж дороги до водоприймальних пристроїв або відкритих кюветів. Такий підхід дозволяє зменшити тривалість контакту води з покриттям, однак не завжди є достатнім за умов інтенсивних опадів.

Широко застосовуються відкриті системи водовідведення у вигляді придорожніх кюветів і лотків, які відводять воду за межі дорожнього полотна. Вони характеризуються простотою конструкції та відносно низькою вартістю, проте потребують значних територіальних резервів і регулярного очищення. У межах населених пунктів та на дорогах з підвищеними вимогами до безпеки й благоустрою перевага надається закритим системам, що включають лінійні та точкові дощоприймачі з подальшим відведенням води у підземні трубопроводи.

Організація відведення поверхневого стоку повинна здійснюватися через комплексне проєктне рішення, що включає формування рельєфу та влаштування відкритих або закритих систем водовідведення. До таких систем належать водостічні труби та жолоби, лотки з водоприймальними решітками, дощоприймачі, кювети, зливоприймальні колодязі та локальні очисні споруди [17].

Обов’язковим елементом системи поверхневого водовідведення є засоби для очищення стоку від твердих частинок, нафтопродуктів та інших забруднювачів [17, 26, 29]. Нормативні документи [1, 2, 26, 30 – 32] визначають вимоги до очищення дощового стоку від завислих речовин та нафтопродуктів. Цей стандарт [33] встановлює вимоги до проєктування та влаштування систем відведення поверхневих вод саме для автомобільної мережі України, а міжнародні стандарти додатково регламентують очищення стоків від важких металів [34].

Закрита система водовідведення вважається більш ефективним і надійним способом організації стоку поверхневих вод. Вона складається з інтегрованої мережі, що поєднує дощоприймачі з водоприймальними решітками, підземні трубопроводи та каналізаційні колодязі з люками для доступу та обслуговування (рис. 2.3).



1 – дощоприймачі; 2 – каналізаційні колодязі; 3 – каналізаційний колектор; 4 – пішохідні переходи

Рисунок 2.3 – Типова схема організації системи водовідведення на перехресті

Такий підхід дозволяє:

– забезпечити безпечний і контрольований стік води;

– знизити ризик підтоплення і руйнування дорожніх покриттів;

– оптимізувати використання простору та інтегрувати систему у благоустрій територій;

– полегшити технічне обслуговування завдяки доступу через колодязі;

– інтегрувати засоби попереднього очищення стоку від твердих часток і забруднювачів.

Закрите відведення поверхневого стоку доцільно застосовувати при організації вертикального планування території з формуванням ухилів у вигляді «конверту» (рис. 2.4 а). Така схема дозволяє концентрувати поверхневий стік до центральної лінії водовідведення, забезпечуючи ефективне транспортування води до дощоприймачів і каналізаційних колодязів.

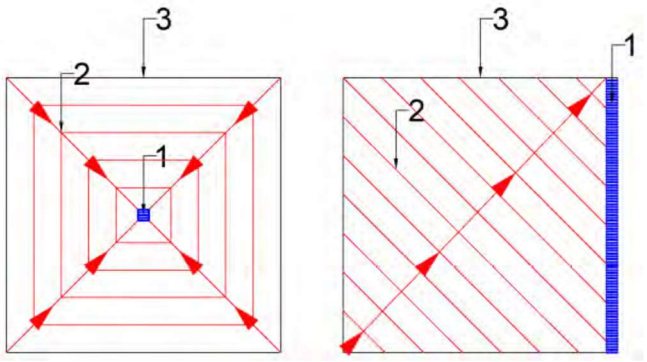
Використання закритої системи у такій конфігурації:

– мінімізує ризик ерозії ґрунту та руйнування покриттів,

– підвищує контрольованість стоку на всій площі території,

– забезпечує зручність обслуговування через доступні ревізійні елементи,

– дозволяє інтегрувати засоби попереднього очищення стоку від твердих часток та забруднювачів, що особливо важливо в міських і індустріальних зонах.



а) закритий спосіб б) відкритий спосіб

1 – система водовідведення; 2 – вертикальне планування території; 3– водозбірний басейн

Рисунок 2.4 – Схематичне зображення принципових схем організації водовідведення

Розглянута схема є ефективною при проєктуванні водозбірних басейнів квадратної або радіальної форми.

Для водозбірних басейнів, що мають лінійну конфігурацію в плані, доцільно застосовувати лінійний водовідвідний канал, який забезпечує концентроване і контрольоване відведення поверхневого стоку. Типове розміщення такого каналу наведено на рис. 2.4 б.

Використання лінійного водовідвідного каналу дозволяє:

– забезпечити рівномірний стік води уздовж усієї довжини басейну;

– мінімізувати ерозійні процеси на поверхні;

– спростити технічне обслуговування та інтеграцію систем очищення стоку;

– підвищити ефективність управління стоком у міських і промислових умовах.

Закриті системи водовідведення особливо ефективні в умовах міської забудови, на транспортних магістралях і промислових об’єктах, де відкриті канали можуть бути технічно або естетично неприйнятними.

Найпоширенішим методом організації поверхневого водовідведення при проєктуванні автомобільних доріг в Україні є ґрунтова канава. За умов значних поздовжніх ухилів доцільно застосовувати відкритий лоток, який забезпечує контрольований стік води і запобігає ерозії дорожнього полотна.

Використання цих рішень дозволяє:

– ефективно відводити дощові та талі води;

– знижувати ризик підтоплення та руйнування дорожнього покриття;

– забезпечувати простоту технічного обслуговування;

– інтегрувати елементи попереднього очищення стоку від твердих часток та забруднювачів, що особливо важливо в умовах міської забудови або інтенсивного руху транспорту.

Варіанти проєктних рішень систем поверхневого водовідведення наведені на рис. 2.5.

Ефективне відведення дощового стоку забезпечується лише за умови достатньої пропускної здатності системи водовідведення. Пропускна здатність безпосередньо залежить від гідравлічних характеристик матеріалу (шорсткості поверхні), геометричних параметрів елементів системи (форми та розмірів лотків або каналів) та поздовжнього ухилу водовідвідних елементів.

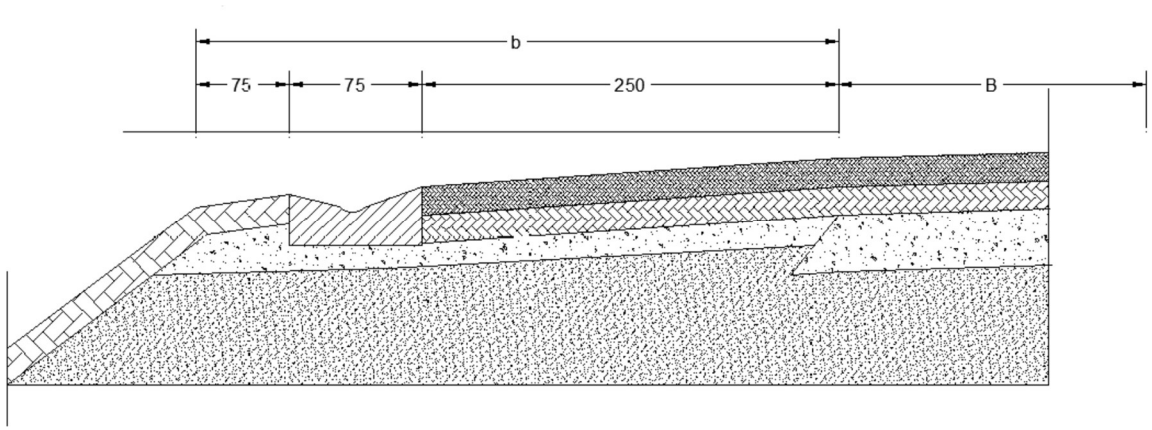
Оптимальне поєднання цих факторів дозволяє:

– запобігти застою води та локальному підтопленню;

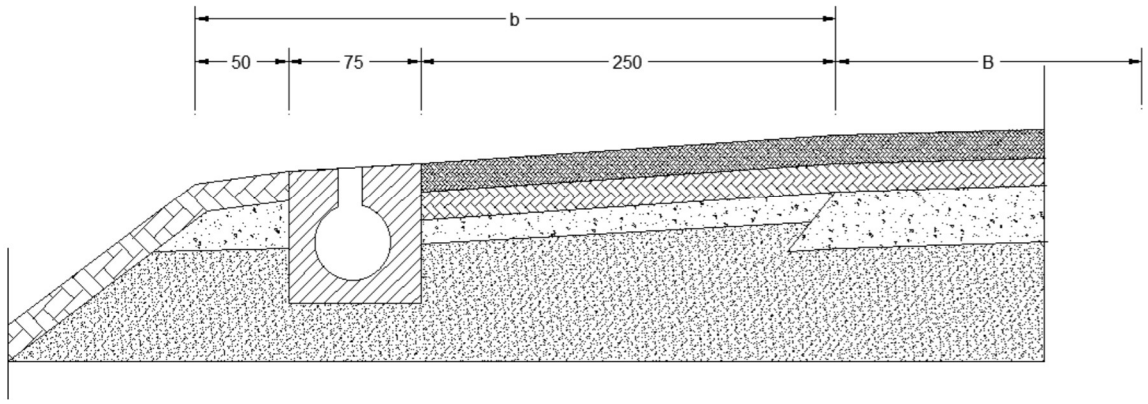
– зменшити ризик ерозії ґрунту та руйнування дорожнього покриття;

– підвищити надійність і довговічність водовідвідної системи;

– інтегрувати систему з локальними засобами очищення стоку, що особливо актуально для міських і індустріальних зон.



а)



б)

а – бетонний лоток з блоків; б – закритий бетонний лоток;
b – ширина узбіччя; В – ширина проїзної частини

Рисунок 2.5 – Варіанти проєктних рішень систем поверхневого водовідведення

Залежно від категорії автомобільної дороги та умов проходження траси застосовують різні проєктні рішення систем поверхневого водовідведення. До них належать лінійні системи поверхневого водовідведення, прикромочні лотки в поєднанні із закритими мережами водовідведення, а також ґрунтові канави, розташовані біля підошви насипу, у поєднанні з дренажами мілкого або глибокого залягання.

Основною метою впровадження ефективних рішень з організації водовідведення є зменшення негативного впливу забруднених поверхневих стоків на навколишнє природне середовище. Це досягається шляхом контрольованого збору та відведення води, застосування локальних очисних споруд, а також інтеграції сталих і природоорієнтованих рішень, що сприяють очищенню стоку та зниженню навантаження на водні об’єкти й ґрунтові води.

2.3 Інтеграція сучасних сталих і природоорієнтованих рішень у системи поверхневого водовідведення

Інтеграція сучасних сталих і природоорієнтованих рішень у системи поверхневого водовідведення передбачає застосування підходів, спрямованих на регулювання, очищення та часткове утримання дощового стоку безпосередньо в межах території його формування. Такі рішення базуються на принципах сталого управління водними ресурсами та включають використання інфільтраційних елементів, біофільтраційних зон, дощових садів, пермеабельних покриттів і зелених інфраструктурних компонентів.

Застосування сталих і природоорієнтованих рішень (SUDS, LID) дозволяє зменшити пікові витрати поверхневого стоку, підвищити якість очищення води від завислих речовин, нафтопродуктів і важких металів, а також знизити навантаження на традиційні інженерні мережі. Окрім екологічного ефекту, такі підходи сприяють підвищенню кліматичної стійкості транспортної та міської інфраструктури, поліпшенню мікроклімату та формуванню безпечного, комфортного й безбар’єрного середовища.

При цьому ефективний захист гідрогеологічного середовища безпосередньо залежить від правильного вибору типу та конфігурації

системи водовідведення ще на етапі проєктування. Інтеграція сучасних сталих і природоорієнтованих рішень (SUDS, LID) дозволяє не лише відводити надлишкову воду, а й здійснювати її первинне очищення, зменшувати пікові навантаження на мережу та покращувати екологічний стан прилеглих територій.

Проєктування систем поверхневого водовідведення повинно виконуватися з урахуванням мінімізації обсягу земляних робіт та обов'язкового включення локальних очисних споруд, а також передбачати відведення води з такими швидкостями та обсягами, які виключають виникнення ерозійних процесів ґрунту.

Відомо, що порівняно економічним і технічно простим методом регулювання водно-теплового режиму земляного полотна є застосування дренуючого піщаного прошарку та поздовжнього дрібнозалягаючого дренажу. При правильному проєктуванні та монтажі така система дозволяє оперативно осушувати верхні шари дорожньої конструкції у періоди інтенсивних опадів або підвищеної вологості, тим самим підвищуючи довговічність покриття та стабільність дорожнього полотна.

Додатково слід враховувати інтеграцію сучасних сталих і природоорієнтованих рішень (SUDS, LID), що забезпечують регулювання пікових стоків, первинне очищення води від завислих частинок та нафтопродуктів, а також зменшують навантаження на традиційні дренажні мережі і сприяють покращенню екологічного стану прилеглих територій.

Сучасні підходи до проєктування все частіше передбачають інтеграцію сталих та природоорієнтованих рішень (SUDS, LID), спрямованих не лише на відведення, а й на регулювання та часткове очищення поверхневого стоку.

У таблиці 2.1 виконане порівняння закритого та відкритого способів поверхневого водовідведення з урахуванням природоорієнтованих рішень (SUDS, LID).

Таблиця 2.1 – Порівняння закритого та відкритого способів поверхневого водовідведення з урахуванням природоорієнтованих рішень

Критерій порівняння	Відкрите поверхневе водовідведення	Закрите поверхневе водовідведення	Стійкі / природоорієнтовані рішення (SUDS, LID)
Принцип відведення води	Відведення води відкритими каналами, кюветами та лотками	Збір води через дощоприймачі з подальшим транспортуванням трубопроводами	Затримання, інфільтрація, очищення та повторне використання дощової води на місці
Основні елементи системи	Відкриті канави, кювети, лотки	Лінійні й точкові дощоприймачі, трубопроводи, пісковловлювачі	Біоінфільтраційні зони, дощові сади, зелені дахи, інфільтраційні траншеї, пермеабельні покриття
Вплив на міський ландшафт	Може порушувати цілісність благоустрою	Гармонійно інтегрується у міське середовище	Покращує ландшафт, підвищує естетичну та рекреаційну цінність територій
Безпека та доступність	Потребує додаткових захисних заходів	Високий рівень безпеки для пішоходів і транспорту	Підтримує безбар'єрність та комфортне пересування, знижує ризик підтоплень
Пропускна здатність	Висока за достатніх габаритів	Стабільна, розрахована за гідравлічними параметрами	Регулює пікові стоки, зменшуючи навантаження на мережі
Використання території	Потребує значних площ	Мінімальне використання простору	Ефективне поєднання з зеленими та громадськими зонами
Екологічний ефект	Обмежений	Нейтральний	Високий: очищення стоку, поповнення ґрунтових вод, зменшення теплового острова
Вартість реалізації	Нижча початкова	Вища на етапі будівництва	Середня; економія за рахунок зменшення навантаження на інженерні мережі
Експлуатація та обслуговування	Регулярне очищення відкритих каналів	Обслуговування пісковловлювачів і ревізій	Догляд за зеленими насадженнями, мінімальні інженерні втручання
Застосування в післявоєнному відновленні	Обмежене	Широко застосовується	Пріоритетний підхід для сталого та кліматично адаптованого відновлення
Відповідність сучасним містобудівним підходам	Часткова	Повна	Повна відповідність принципам сталого розвитку та кліматичної стійкості

Типові приклади інтеграції сучасних сталих і природоорієнтованих рішень (SUDS, LID) у системи поверхневого водовідведення, які можуть бути використані в проєктній документації та практиці післявоєнного відновлення інфраструктури:

– біофільтраційні канави та зелені кювети: влаштування озеленених водовідвідних канав уздовж автомобільних доріг і вулиць, які поєднують функції збору, затримання та очищення поверхневого стоку. Рослинність і фільтруючі шари ґрунту забезпечують затримання завислих часток, нафтопродуктів і важких металів.

– дощові сади: локальні пониження рельєфу з багатошаровою фільтраційною системою, призначені для тимчасового накопичення та інфільтрації дощових вод з проїзної частини, тротуарів і парковок. Застосовуються у міських просторах і на транспортних розв’язках.

– пермеабельні (водопроникні) дорожні та тротуарні покриття: використання водопроникного асфальтобетону, бруківки або бетонних плит із відкритими швами, що дозволяють дощовим водам проникати у підґрунтя, зменшуючи обсяг поверхневого стоку та навантаження на зливову каналізацію.

– інфільтраційні траншеї та колектори: розміщення заповнених щебенем або спеціальними інфільтраційними модулями траншей уздовж узбіч доріг або під зеленими зонами для приймання та поступового відведення поверхневого стоку у ґрунт.

– локальні очисні споруди природного типу: застосування пісковловлювачів, нафтовловлювачів у поєднанні з біологічними фільтрами або фіторемедіаційними елементами перед скиданням стоку у водні об’єкти чи інфільтраційні системи.

– комбіновані лінійні системи водовідведення: поєднання традиційних лінійних лотків із зеленими смугами інфільтрації або фільтраційними зонами, що дозволяє частково очищати стік ще на етапі його збору.

– регулювальні басейни та тимчасові накопичувачі стоку: влаштування сухих або напівзатоплюваних басейнів, які акумулюють пікові витрати дощового стоку та поступово передають воду в інфільтраційні або каналізаційні системи.

– зелені узбіччя та розділювальні смуги: озеленені елементи транспортної інфраструктури, що виконують функцію фільтрації та затримання поверхневих вод, одночасно покращуючи мікроклімат і естетику дорожнього простору.

Важливим аспектом є забезпечення безперервності системи та мінімізація зон застою води. Для цього використовуються лінійні системи з інтегрованими ухилами дна або каскадними рішеннями, що дозволяють підтримувати необхідну швидкість потоку навіть за малих поздовжніх ухилів дороги. До таких рішень належать інфільтраційні смуги вздовж узбіч, дощові сади, біофільтраційні канави та пермеабельні узбіччя. Їх використання дозволяє зменшити пікові витрати стоку, знизити навантаження на традиційні зливові мережі та покращити екологічний стан прилеглих територій.

Врахування пошкоджених дренажних систем, деформацій земляного полотна та зміни гідрологічних умов є обов’язковим. Проєктні рішення повинні поєднувати підвищену надійність, ремонтопридатність і можливість поетапної реалізації, що особливо актуально за обмежених фінансових ресурсів.

Аналіз методів проєктування поверхневого водовідведення з автомобільних доріг свідчить, що ефективні системи повинні базуватися на поєднанні традиційних інженерних рішень і сучасних сталих підходів. Оптимальний вибір методів і елементів водовідведення забезпечує підвищення безпеки дорожнього руху, довговічність дорожніх конструкцій та адаптацію транспортної інфраструктури до кліматичних і соціально-економічних викликів сучасності.

3 ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ІНТЕГРАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЙ ЕФЕКТИВНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ СИСТЕМ ПОВЕРХНЕВОГО ВОДОВІДВЕДЕННЯ

3.1 Інтеграції сучасних технологій у міські системи поверхневого водовідведення

Інтеграція технологій ефективного обслуговування систем поверхневого водовідведення в міському середовищі ґрунтується на комплексному поєднанні інтелектуальних (Smart) рішень, зокрема сенсорних систем і геоінформаційних технологій, з інноваційним обладнанням – безпілотними літальними апаратами, роботизованими комплексами – та сучасними методами експлуатації і відновлення мереж. До таких методів належать безтраншейні технології санації трубопроводів, системи управління зливовими стоками та контролю якості поверхневих вод. Застосування зазначених підходів спрямоване на підвищення ефективності моніторингу, очищення та регулювання дощових вод, зниження ризиків підтоплення й забруднення водних об’єктів, що є критично важливим для сталого функціонування міської інфраструктури.

Ключовими складовими інтегрованого підходу є розумні системи моніторингу, які передбачають встановлення датчиків рівня та якості води у колодязях і колекторах для отримання даних у режимі реального часу та оперативного реагування на аварійні ситуації. Важливу роль відіграють геоінформаційні системи, що забезпечують створення цифрових моделей мереж водовідведення, аналіз їх технічного стану та оптимізацію планування експлуатаційних робіт.

Ефективність обслуговування підвищується завдяки використанню інноваційного обладнання, зокрема дронів для обстеження важкодоступних ділянок і виявлення засмічень, а також робототехнічних та

гідромоніторингових систем для внутрішньої інспекції й очищення трубопроводів без порушення міського благоустрою. Додатково застосовуються сучасні технічні засоби та спеціалізовані реагенти для видалення осадів і забруднень.

Важливою складовою інтегрованої системи є технології управління зливовими стоками на основі концепції сталого дренажу (SUDS), які передбачають впровадження зелених дахів, дощових садів, біо-канав та водопроникних покриттів. Такі рішення сприяють локальному утриманню, фільтрації та інфільтрації дощової води, зменшуючи навантаження на традиційні водовідвідні мережі.

Інтелектуальні системи управління, що використовують метеорологічні дані, прогнозні моделі та елементи штучного інтелекту, дозволяють регулювати роботу насосного обладнання й запірної арматури, запобігаючи аварійним підтопленням. Окреме місце займають безтраншейні технології відновлення трубопроводів, зокрема методи лайнингу та CIPP, які забезпечують ремонт мереж із мінімальними витратами та без порушення транспортного руху.

Інтеграція зазначених технологій забезпечує зменшення ризиків підтоплення, покращення екологічного стану міського середовища, оптимізацію витрат на експлуатацію та підвищення стійкості інженерної інфраструктури. У результаті системи поверхневого водовідведення трансформуються з пасивних елементів у активні, адаптивні компоненти міського середовища, здатні реагувати на виклики кліматичних змін і особливості сучасної міської забудови.

У наукових дослідженнях вітчизняних [8, 21, 33, 39] і зарубіжних авторів [9, 13, 34, 40] значна увага приділяється проблемам функціонування та модернізації систем поверхневого водовідведення в умовах урбанізованих територій. Розглядаються питання застосування сенсорних систем і геоінформаційних технологій для моніторингу стану водовідвідних мереж, використання робототехнічних засобів і безпілотних апаратів для інспекції та

очищення трубопроводів, а також впровадження безтраншейних технологій їх відновлення.

Окремий напрям досліджень присвячений впровадженню систем сталого дренажу (SUDS), які передбачають інтеграцію природоорієнтованих рішень, зокрема зелених дахів, дощових садів і водопроникних покриттів, у структуру міської забудови. Значний інтерес також становлять інтелектуальні системи управління зливовими стоками, що використовують прогнозні моделі та метеорологічні дані для запобігання аварійним ситуаціям [39]

Водночас аналіз наукових джерел свідчить про недостатній рівень комплексних досліджень, спрямованих на інтеграцію зазначених технологій з урахуванням специфіки щільної міської забудови та умов експлуатації існуючих мереж. Це зумовлює необхідність подальших досліджень у напрямі розроблення та обґрунтування ефективних моделей обслуговування систем поверхневого водовідведення для сучасних міст України.

Встановлення сучасної дренажної системи UTube DRAIN виробництва компанії Axhell у Києві забезпечує ефективне відведення поверхневих і ґрунтових вод, підвищує довговічність інженерних споруд і сприяє збереженню благоустрою територій. Використання інноваційних технологій системи дозволяє оптимізувати пропускну здатність, зменшити ризик підтоплень та ерозії, а також інтегрувати інженерні рішення у міське середовище з урахуванням сучасних вимог до екології, безбар’єрності та інклюзії [28]. Інноваційна система дренажу UTube DRAIN, рис. 3.1.

Нещодавно система UTube DRAIN була обрана для встановлення на одному з ключових інфраструктурних об’єктів у Києві. Через чинні обмеження безпеки конкретні дані щодо місця інсталяції не розголошуються, проте відомо, що об’єкт потребує високої надійності, оперативного монтажу та здатності працювати за умов інтенсивного навантаження. Використання системи UTube DRAIN забезпечує ефективне водовідведення навіть у

складних умовах експлуатації, що особливо актуально для територій з великим потоком транспорту та пішоходів.



Рисунок 3.1 – Інноваційна система дренажу UTube DRAIN [28]
https://bigcity.in.ua/

Технічні характеристики та переваги системи UTube DRAIN:

– компактні решітки шириною 4 см – практично непомітні у зоні пішохідного та транспортного руху, що сприяє безпечному та естетичному інтегруванню системи у міський простір;

– модульність і варіативність діаметрів труб – дозволяє підключати різні типи труб, що значно збільшує пропускну здатність системи без необхідності розширення каналів;

– пряме підключення до існуючої каналізаційної мережі – усуває потребу у додаткових дренажних каналах, оптимізує інженерні рішення та скорочує терміни монтажу;

– відповідність класам навантаження від A15 до F900 – робить систему придатною як для легкого руху на пішохідних зонах, так і для важких транспортних потоків, зокрема на промислових територіях, аеропортах та магістралях.

Завдяки поєднанню інноваційної конструкції, високої пропускної здатності та універсальності монтажу, UTube DRAIN є ефективним та надійним рішенням для сучасних міських і промислових об’єктів, де необхідно поєднати функціональність, безпеку та естетику інженерної інфраструктури.

Монтаж передбачає повний цикл робіт – від підготовки і прокладання дренажних каналів до інтеграції у існуючі системи водовідведення, що забезпечує надійну, стійку та ефективну роботу дренажної інфраструктури в умовах міського середовища, рис. 2.3.

Система UTube DRAIN представляє собою сучасне інноваційне рішення у сфері дренажних систем, яке відзначається підвищеною ефективністю та функціональністю. Основною її особливістю є здатність збирати та відводити значні обсяги поверхневих вод навіть через вузькі решітки, що дозволяє зменшити габарити поверхневих елементів системи без втрати пропускної здатності [28].



Рисунок 3.2 – Монтаж інноваційної системи дренажу UTube DRAIN [28]
https://bigcity.in.ua/

Конструктивна варіативність діаметрів труб і модульна будова забезпечують адаптивність системи до різних проєктних умов та навантажень, що робить її придатною для застосування як у невеликих

будівельних об’єктах, так і в масштабних інженерних проєктах, таких як аеропорти, промислові комплекси та міські території з високим рівнем стоків.

Завдяки використанню передових матеріалів та технологій виробництва, система UTube DRAIN забезпечує довговічність, надійність експлуатації та легкість монтажу, що дозволяє інтегрувати її у сучасну міську інженерну інфраструктуру, враховуючи екологічні, інженерні та урбаністичні вимоги. Реалізація таких систем сприяє оптимізації водовідведення, запобіганню локальних підтоплень і підвищенню стійкості міської інфраструктури.

Конструкція системи передбачає застосування спеціалізованих поліетиленових труб та конусів із ковкого чавуну GJS500-7, що забезпечує високу довговічність, механічну міцність та стійкість до агресивних зовнішніх впливів. Завдяки такому поєднанню матеріалів система демонструє надійну експлуатацію в умовах підвищених навантажень, стійкість до корозії та температурних коливань, що робить її оптимальним рішенням для сучасних інженерних та міських дренажних мереж, рис. 3.3.

Система UTube DRAIN дозволяє реалізувати весь дренажний комплекс з використанням єдиного типу обладнання, що значно спрощує процес монтажу, зменшує витрати часу та ресурсів, а також підвищує узгодженість робіт на об’єкті. Монтаж передбачає надійну фіксацію елементів бетонною основою, що забезпечує стійкість та довговічність системи навіть за умов високих навантажень і складних експлуатаційних умов.

Інноваційна технологія вже довела свою надійність та ефективність у реалізації складних інфраструктурних проєктів, і успішний монтаж у Києві є ще одним підтвердженням її технологічної переваги та високих експлуатаційних характеристик.

Система поєднує компактність, високу пропускну здатність та здатність витримувати значні навантаження, що робить її незамінним рішенням для сучасних будівельних і міських інженерних проєктів. Завдяки

цьому UTube DRAIN забезпечує оптимальне водовідведення, стійкість до зовнішніх впливів і ефективність навіть у найскладніших умовах експлуатації.



Рисунок 3.3 – Конструкція системи дренажу UTube DRAIN [28]
https://bigcity.in.ua/

На сьогодні система UTube DRAIN встановлюється на критично важливих об’єктах Києва, забезпечуючи максимальну ефективність відведення води, надійність інфраструктури та відповідність високим стандартам безпеки та якості. Такі сучасні інженерні рішення з водовідведення, які не лише захищають міську інфраструктуру від підтоплень, а й роблять міста комфортнішими, безпечнішими та екологічно сталими.

UTube DRAIN – це сучасна лінійка систем поверхневого водовідведення, розроблена з урахуванням широкого спектра експлуатаційних умов і навантажень. Продукція розрахована на сприйняття навантажень від 1,5 до 90 тонн, що відповідає класам навантаження Е600–

F900, і може застосовуватися як у пішохідних зонах, так і на об’єктах з інтенсивним рухом важкого транспорту.

Залежно від класу навантаження змінюються конструктивні рішення системи водовідведення: тип і товщина лотків, матеріал та конфігурація решіток, спосіб армування, а також вимоги до основи й монтажу. Такий диференційований підхід забезпечує високу міцність, довговічність і надійну роботу системи в складних інфраструктурних умовах, зокрема на промислових майданчиках, автошляхах, логістичних терміналах та інших об’єктах підвищеного навантаження [28].

3.2 Пропозиції щодо застосування лоткових каналів у системах поверхневого водовідведення з проїзної частини автомобільних доріг

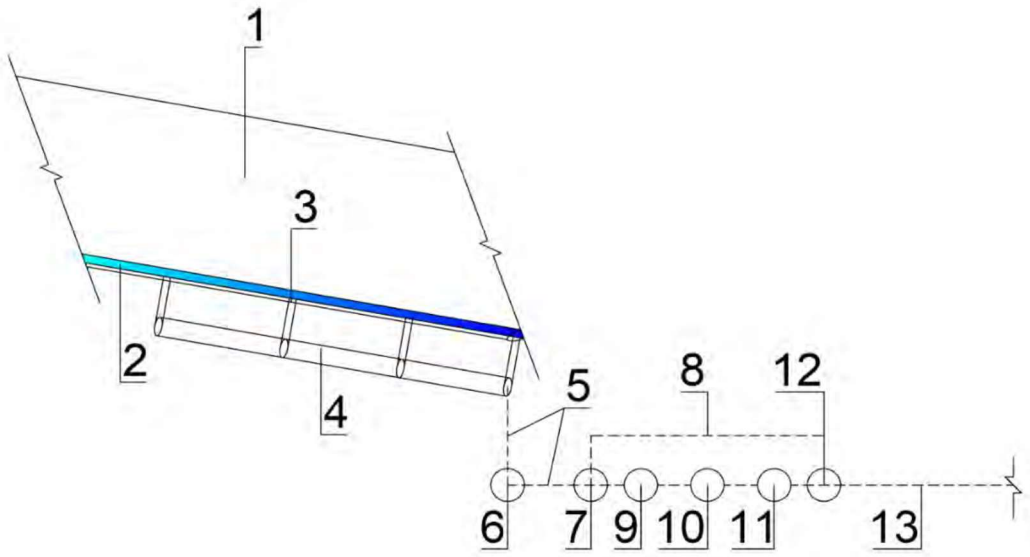
Формування комплексу заходів із забезпечення належного рівня екологічної безпеки на автомобільних дорогах здійснюється на підставі всебічного аналізу та інженерних розрахунків, що враховують потенційний техногенний вплив транспортної інфраструктури, інженерно-геологічні та гідрологічні умови проходження траси, а також можливість безпечного та контрольованого відведення поверхневих стоків за умови збереження водного балансу прилеглих територій.

Схема водовідведення для розрахункової ділянки автомобільної дороги повинна охоплювати повний цикл управління поверхневими водами – від їх збору з проїзної частини та узбіч, транспортування лотковими каналами до попереднього очищення, регулювання витрат і подальшої утилізації або скидання у водоприймачі з дотриманням гранично допустимих концентрацій (ГДК) забруднюючих речовин.

Застосування лоткових каналів забезпечує ефективне перехоплення та відведення дощових і талих вод без порушення експлуатаційної надійності

дорожнього покриття, зменшує ризик локальних підтоплень і сприяє зниженню негативного впливу забруднених стоків на ґрунти та водні об’єкти. Особливо доцільним є використання таких систем на ділянках із підвищеною інтенсивністю руху, у межах штучних споруд, а також у зонах підвищених екологічних обмежень.

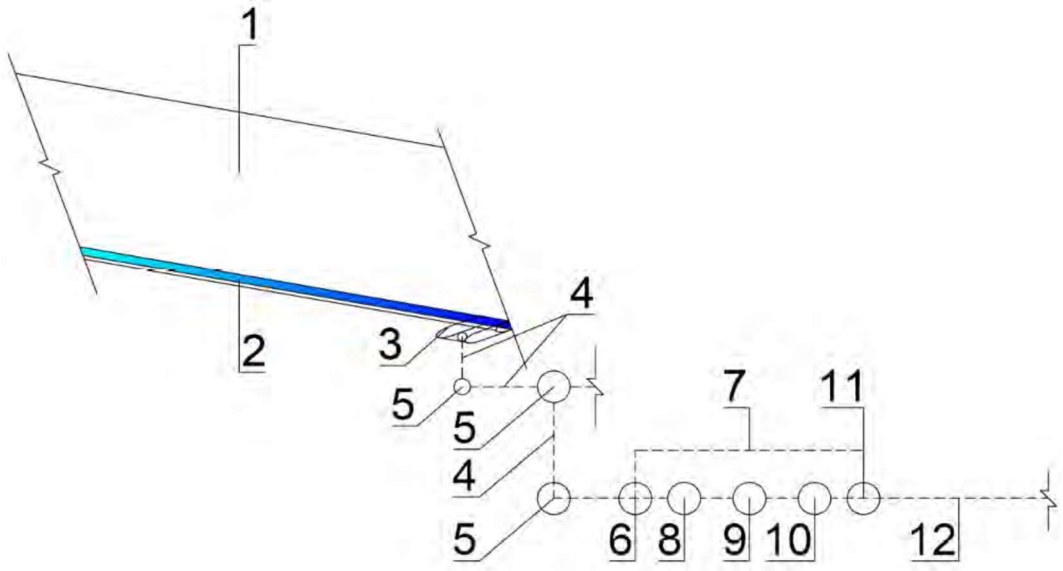
Типове комплексне рішення системи поверхневого водовідведення для мостових споруд та шляхопроводів, що включає лоткові канали, елементи збору, очищення та регульованого скиду стоків, наведено на рис. 3.4.



1 – зона формування поверхневого стоку (водозбірна площа); 2 – елемент лінійного водовідведення (дренажний канал); 3 – водоприймальні елементи мостової споруди (мостові воронки); 4 – підвісний трубопровід системи водовідведення; 5 – напірний/самопливний каналізаційний трубопровід; 6 – поворотний (ревізійний) оглядовий колодязь; 7 – розподільчий (балансувальний) колодязь; 8 – аварійний (обвідний) трубопровід; 9 – споруда механічного очищення стоків (відстійник); 10 – коалесцентний сепаратор для вилучення нафтопродуктів; 11 – сорбційний фільтр тонкого очищення (нанофільтрація); 12 – контрольний (інспекційний) колодязь; 13 – випуск очищених поверхневих стоків у водний об’єкт із застосуванням передбачених природоохоронних заходів.

Рисунок 3.4 – Комплексна схема системи поверхневого водовідведення

Типове комплексне рішення системи поверхневого водовідведення для штучних споруд – мостів, шляхопроводів, естакад, віадуків і тунелів – у межах населених пунктів з високою інтенсивністю транспортних потоків за умов підвищеного транспортного навантаження I та II категорії доріг і незадовільного технічного стану проїзної частини, наведене на рисунку 3.5.



1 – площа формування поверхневого стоку (водозбірний басейн); 2 – елемент лінійного поверхневого водовідведення (дренажний/водовідвідний канал); 3 – споруда попереднього механічного очищення стоків (піскоуловлювач); 4 – самопливний або напірний каналізаційний трубопровід системи водовідведення; 5 – поворотний (ревізійний) оглядовий колодязь для експлуатаційного контролю; 6 – розподільчий (балансувальний) колодязь для регулювання потоків; 7 – аварійний (обвідний) трубопровід для скидання стоків у надзвичайних ситуаціях; 8 – відстійник для осадження завислих речовин; 9 – коалесцентний сепаратор для вилучення нафтопродуктів; 10 – сорбційний фільтр тонкого очищення (нанофільтраційний модуль); 11 – контрольний (інспекційний) колодязь для відбору проб та оцінки якості очищення; 12 – відведення очищених поверхневих стоків у випаровувальний басейн або інфільтраційно-фільтраційні споруди з урахуванням місцевих гідрогеологічних умов

Рисунок 3.5 – Комплексна схема системи поверхневого водовідведення за II категорією санітарно-технічних рішень

Запропоноване рішення передбачає поєднання лінійних і точкових елементів збору поверхневих стоків, їх контрольоване транспортування, багатоступеневе очищення від механічних домішок і нафтопродуктів, а також безпечне відведення або утилізацію очищених вод із дотриманням екологічних вимог та нормативів гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин. Такий підхід забезпечує підвищення експлуатаційної надійності штучних споруд, мінімізацію негативного впливу на навколишнє природне середовище та відповідає принципам сталого розвитку і природоорієнтованих інженерних рішень

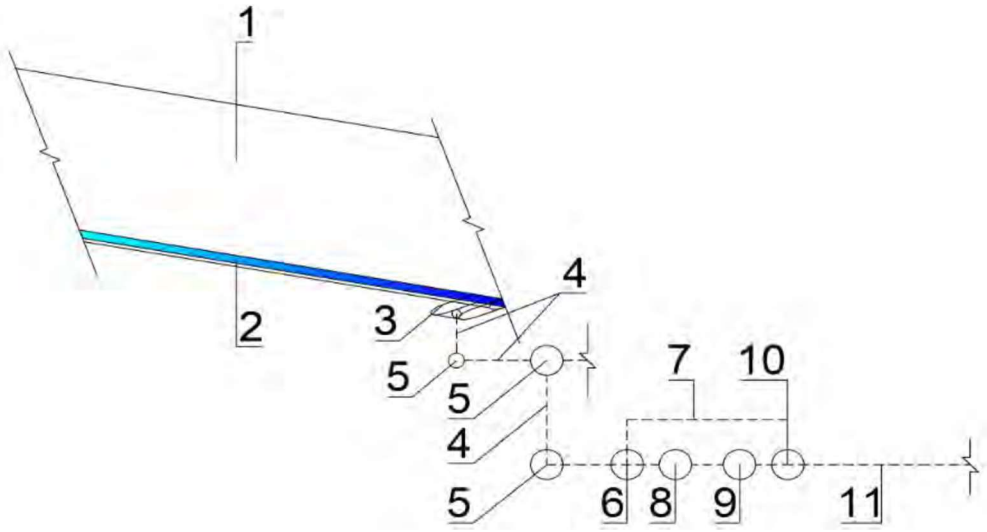
Типове комплексне рішення системи поверхневого водовідведення для малих штучних споруд, зокрема водопропускних труб, а також для ділянок у межах населених пунктів з невисокою інтенсивністю руху транспортних засобів – автомобільні дороги III категорії наведене на рис. 3.6.

Такі ділянки, як правило, не характеризуються високим рівнем забрудненості поверхневих стоків, у зв’язку з чим не потребують улаштування складних багатоступеневих систем очищення. Запропоноване рішення передбачає застосування спрощених елементів збору та відведення дощових і талих вод із забезпеченням їх безпечного відводу, регулювання гідравлічного режиму та мінімального впливу на прилеглі природні й сільськогосподарські території.

Водночас при проєктуванні таких систем доцільно враховувати місцеві гідрогеологічні умови, рельєф місцевості та можливість використання природоорієнтованих рішень, зокрема інфільтраційних або випаровувальних споруд, що відповідають принципам сталого розвитку та раціонального використання водних ресурсів.

Запровадження комплексних санітарно-технічних рішень забезпечує надійне та ефективне функціонування мережі автомобільних доріг України за умови мінімізації негативного впливу на навколишнє природне середовище. Реалізація таких підходів сприяє зниженню рівня забруднення ґрунтів і водних об’єктів, підвищенню екологічної безпеки дорожньої інфраструктури,

а також відповідає принципам сталого розвитку, раціонального використання природних ресурсів і сучасним вимогам до проєктування та експлуатації транспортних споруд.



1 – зона формування поверхневого стоку (водозбірна площа); 2 – елемент лінійного поверхневого водовідведення (водовідвідний/дренажний канал); 3 – споруда попереднього механічного очищення стічних вод (піскоуловлювач); 4 – каналізаційний трубопровід системи поверхневого водовідведення; 5 – поворотний (ревізійний) оглядовий колодязь для експлуатаційного обслуговування; 6 – розподільчий (регулювальний) колодязь для перерозподілу потоків; 7 – аварійний (обвідний) трубопровід для скидання стоків у надзвичайних режимах; 8 – відстійник для осадження завислих речовин; 9 – коалесцентний сепаратор для вилучення нафтопродуктів; 10 – контрольний (інспекційний) колодязь для моніторингу якості очищених стоків; 11 – відведення очищених поверхневих стоків у випаровувальний басейн.

Рисунок 3.6 – Комплексна схема системи поверхневого водовідведення за III категорією санітарно-технічних рішень

Проєктом нормативного документа [33] передбачено застосування одного з типових варіантів організації водовідведення з проїзної частини автомобільних доріг.

Варіант 1 характеризується вільним стіканням атмосферних опадів і талих вод по поверхні проїзної частини у напрямку до узбіч, з подальшим відведенням по укосах земляного полотна у бічні водовідвідні канави (кювети). Швидкість та інтенсивність стікання води за цим варіантом визначаються значеннями поздовжніх і поперечних ухилів проїзної частини та узбіч, що нормуються вимогами [35], технічним станом і типом дорожнього покриття, а також конструкцією дорожнього одягу, регламентованою типовими проєктними рішеннями.

Зазначена схема є найбільш простою з конструктивної та експлуатаційної точки зору та може застосовуватися на автомобільних дорогах загального користування всіх технічних категорій, переважно за умов невисокої інтенсивності руху та відсутності підвищених екологічних обмежень. Водночас її використання потребує належного утримання узбіч і водовідвідних канав з метою запобігання ерозійним процесам і забезпечення стабільного гідравлічного режиму поверхневого стоку.

Варіант 2 характеризується організованим вільним стіканням поверхневих вод з проїзної частини автомобільної дороги до прикрайкових водозбірних лотків, які розташовуються вздовж краю проїзної частини. Надалі зібрані стоки відводяться через відкриті укісні водоскидні лотки, що влаштовуються з певним кроком, у водовідвідні укріплені канави, локальні очисні споруди або безпосередньо на прилеглу територію за умови дотримання екологічних вимог.

Зазначену схему доцільно застосовувати на автомобільних дорогах загального користування I–III, а в окремих випадках – IV технічних категорій, зокрема на ділянках зі значними поздовжніми ухилами або підвищеною інтенсивністю поверхневого стоку. Відповідно до цієї схеми система поверхневого водовідведення включає типові залізобетонні

прикрайкові водозбірні лотки, укісні водоскидні (телескопічні) лотки, а також укріплені водовідвідні канави.

Застосування такої схеми забезпечує зменшення гідравлічного навантаження на узбіччя та укоси земляного полотна, підвищує надійність експлуатації дорожньої конструкції і сприяє зниженню ерозійних процесів, водночас створюючи передумови для подальшої інтеграції елементів очищення та природоорієнтованих рішень у систему поверхневого водовідведення.

Варіант 3 передбачає організоване вільне стікання поверхневих вод з проїзної частини автомобільної дороги у напрямку до бортових каменів (бордюрів), звідки стік надходить у відкриті укісні водоскидні лотки, розташовані з визначеним кроком. Подальше відведення води здійснюється у водовідвідні укріплені русла, локальні очисні споруди, системи закритої дощової каналізації або на прилеглі території за умови дотримання вимог екологічної безпеки.

На автомобільних дорогах загального користування допускається поєднання кількох схем організації поверхневого водовідведення з урахуванням категорії дороги, рельєфу місцевості, гідрологічних умов та інтенсивності транспортного руху. При цьому особливу увагу необхідно приділяти проєктуванню вузлів сполучення прикрайкових і укісних елементів водовідведення, ділянкам входу потоку в укісні лотки, улаштуванню гасників енергії у їх кінцевій частині, укріпленню нижнього б’єфу водоскидних споруд, а також зонам їх приєднання до поздовжніх водовідвідних канав і очисних споруд.

Відведення забруднених поверхневих стоків безпосередньо через укоси або ґрунтові канави недоцільно застосовувати на автомобільних дорогах I–II технічних категорій у зв’язку з підвищеним рівнем забруднення стічних вод. Для ділянок з високою інтенсивністю руху, у межах мостів, шляхопроводів і при проходженні автомобільних доріг загального користування через населені пункти доцільно передбачати комплексні схеми організації

поверхневого водовідведення з елементами збору, транспортування та очищення стоків.

Відповідно до [36] організація водовідведення може здійснюватися шляхом влаштування ґрунтових канав у смузі відведення автомобільної дороги, або, за [37], – через прикрайкові відкриті бетонні лотки. Проте зазначені рішення лише частково вирішують проблему ефективного відведення поверхневих вод.

Одним із ключових заходів підвищення безпеки руху на автомобільних дорогах є якісно спроєктоване та надійне водовідведення. Матеріали, що використовуються у системах поверхневого водовідведення, повинні забезпечувати тривалу експлуатаційну надійність і стійкість до статичних та динамічних навантажень, дії антиожеледних реагентів, температурних коливань і атмосферних впливів. Системи повинні ефективно функціонувати в умовах циклів замерзання та відтавання.

Надійна робота елементів водовідведення забезпечується при міцності матеріалу не менше 22 Н/мм². Шорсткість внутрішніх поверхонь елементів водовідведення не повинна перевищувати 25 мкм для мінімізації опору та забезпечення безперешкодного стоку води. Герметичність лінійних споруд повинна підтримуватися при тривалому наповненні, що підтверджується сучасною європейською практикою – тестуванням на герметичність протягом 72 годин.

Дотримання цих вимог дозволяє забезпечити стабільне функціонування систем водовідведення, зменшити ризик підтоплень і ерозії узбіч, а також підвищити експлуатаційну надійність дорожніх споруд в умовах високих навантажень та складних кліматичних факторів.

Підходи до штучних споруд часто мають значні поздовжні ухили, що ускладнює ефективне застосування закритих систем водовідведення, зокрема дощоприймачів і трубопроводів. У таких умовах їх використання може бути недоцільним через ризик недостатнього збору поверхневих стоків та нерівномірного відведення води.

Поперечний розріз мостового полотна з інтегрованим водовідвідним каналом наведений на рис. 3.7

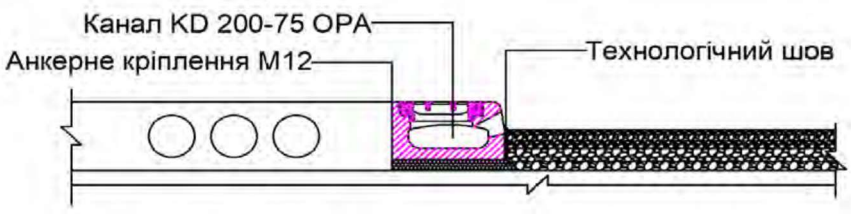


Рисунок 3.7 – Поперечний розріз мостового полотна з інтегрованим водовідвідним каналом

Водовідведення на підходах до штучних споруд слід проєктувати з урахуванням забезпечення ефективного збору та відведення стоків з проїзної частини, особливо для ділянок з асфальтобетонним покриттям. Це передбачає застосування відкритих водовідвідних лотків, канав та інших інженерних елементів, які гарантують безпечний стік води, запобігають підтопленню проїзної частини та знижують негативний вплив на дорожнє полотно, рис. 3.8. Таке рішення дозволяє підвищити експлуатаційну надійність під'їздів до мостових споруд, мінімізувати ризик ерозії узбіч та забезпечити безпечний рух транспортних засобів за будь-яких погодних умов.

Вода з проїзної частини відводиться за допомогою інтегрованого водовідвідного каналу, влаштованого у шарі дорожнього покриття, що забезпечує ефективний збір та транспортування стоків. Для бетонного покриття передбачено відповідні конструктивні елементи, які гарантують надійну експлуатацію при динамічних навантаженнях та запобігають утворенню локальних підтоплень, рис. 3.9.

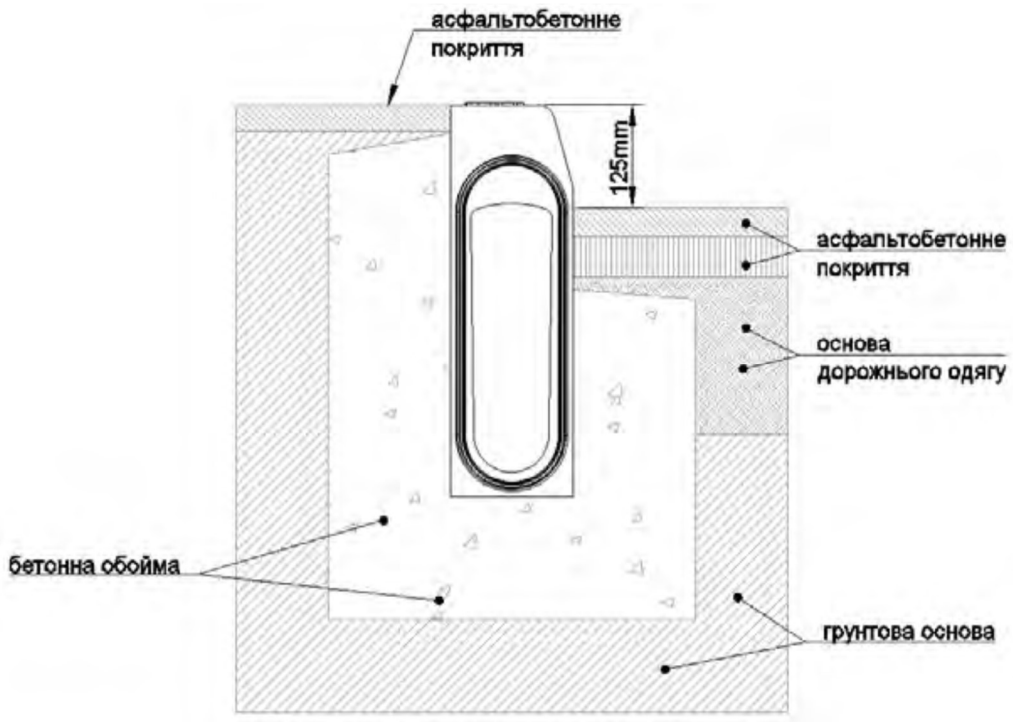


Рисунок 3.8 – Переріз дорожнього покриття з водовідвідним каналом на ділянці підходу до штучних споруд для нежорстких дорожніх одягів

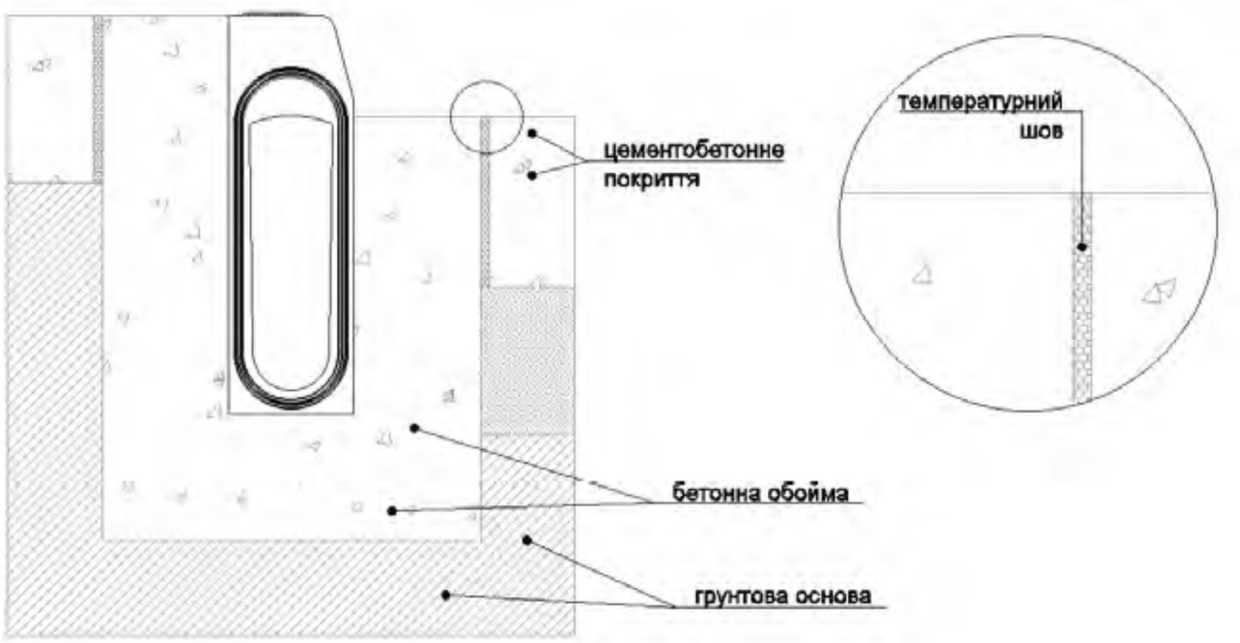


Рисунок 3.9 – Переріз дорожнього покриття з водовідвідним каналом на ділянці підходу до штучних споруд для жорстких дорожніх одягів

Організація водовідведення на зупинках громадського транспорту повинна забезпечувати ефективне та безпечне відведення поверхневих вод, запобігати накопиченню води на проїзній частині та пішохідних зонах, а також мінімізувати ризик пошкодження дорожнього покриття. Це може бути досягнуто шляхом встановлення водовідвідного бордюру або інтегрованого лотка в бортовий камінь, що дозволяє збирати та направляти стоки у водовідвідні канали, рис. 3.10.

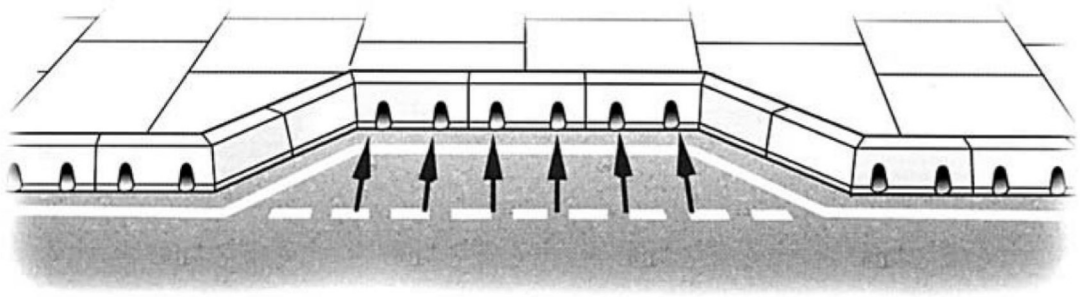


Рисунок 3.10 – Влаштування системи поверхневого водовідведення на зупинках громадського транспорту за допомогою водовідвідного бордюру

Таке рішення забезпечує надійне функціонування зупинок у будь-яких погодних умовах, зменшує ризик утворення калюж та локального підтоплення, підвищує комфорт і безпеку пасажирів, а також сприяє тривалій експлуатації дорожнього полотна та прилеглих інженерних елементів.

Відповідно до [38], поперечний ухил зупинкового карману облаштовується в напрямку до осі проїзної частини автомобільної дороги, що забезпечує ефективний відвід поверхневих вод (рис. 3.11).

Питання безпеки пасажирів на зупинках громадського транспорту вирішується за рахунок застосування спеціальних підвищених елементів, висотою до 18 см над рівнем дорожнього покриття, які перешкоджають заїзду транспортних засобів у зону очікування. Крім того, на поверхню цих елементів наноситься спеціальне протиковзке покриття, що знижує ризик

ковзання пасажирів у зоні посадки та висадки з транспортних засобів, рис. 3.12).

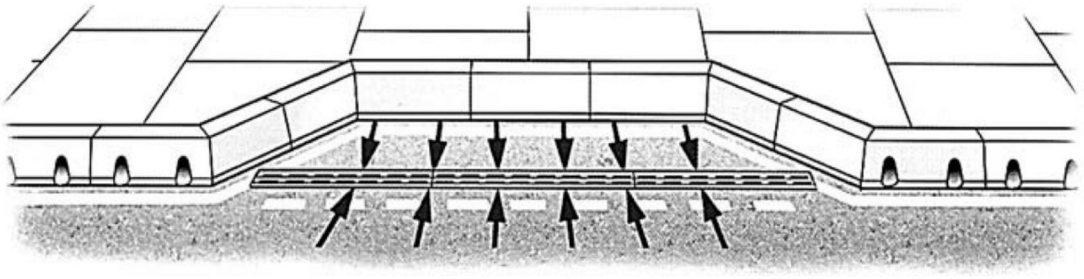


Рисунок 3.11 – Організація водовідведення на зупинках громадського транспорту за традиційним поперечним профілем

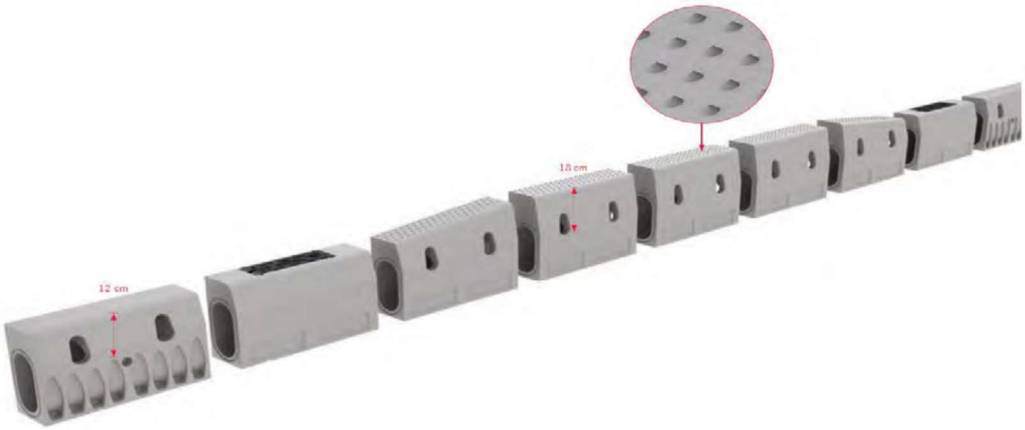


Рисунок 3.12 – Поздовжня схема організації водовідведення з підвищеними заходами безпеки

Таке поєднання конструктивних та протиковзких заходів дозволяє одночасно забезпечити ефективне водовідведення та підвищити безпеку і комфорт користувачів зупинок громадського транспорту.

Влаштування системи поверхневого водовідведення на пішохідних переходах повинно враховувати потреби маломобільних груп населення, забезпечуючи безпечний і доступний відвід стоків та мінімізацію ризику

накопичення води у зоні переходу [12]. Доступні пішохідні переходи з інтегрованою системою водовідведення наведені на рис. 3.13.



Рисунок 3.13 – Доступні пішохідні переходи з інтегрованою системою водовідведення

На ділянках автомобільних доріг І категорії, що проходять у насипі або виїмці, організацію поверхневого водовідведення слід виконувати в межах проїзної частини або узбіччя, із застосуванням лотків, каналів та інших інженерних елементів, які забезпечують надійний збір і відведення стоків. Таке рішення дозволяє підтримувати безпечний рух транспортних і пішохідних потоків, зменшувати ризик локальних підтоплень та ерозії дорожнього полотна.

Схема організації поверхневого водовідведення, що розташоване в межах проїзної частини наведене на рис. 3.14. Схема організації поверхневого водовідведення, що розташоване на узбіччі наведене на рис. 3.15. Водночас проєктування водовідведення на таких ділянках передбачає врахування ухилів, інтенсивності руху, гідрологічних умов та інтеграцію природоорієнтованих рішень для підвищення експлуатаційної надійності та екологічної безпеки.

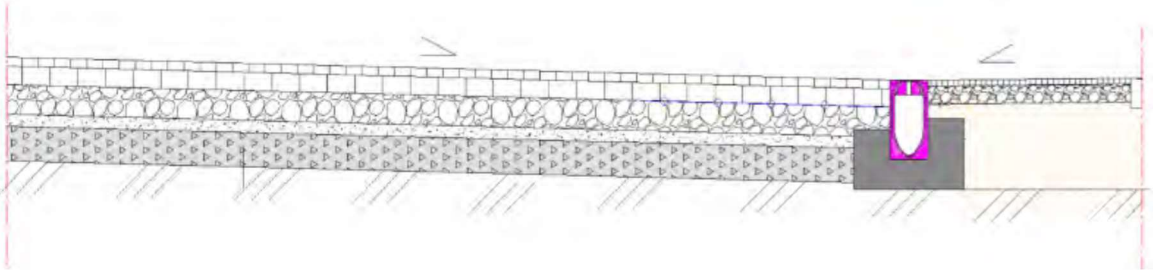


Рисунок 3.14 – Схеми організації поверхневого водовідведення, що розташоване в межах проїзної частини

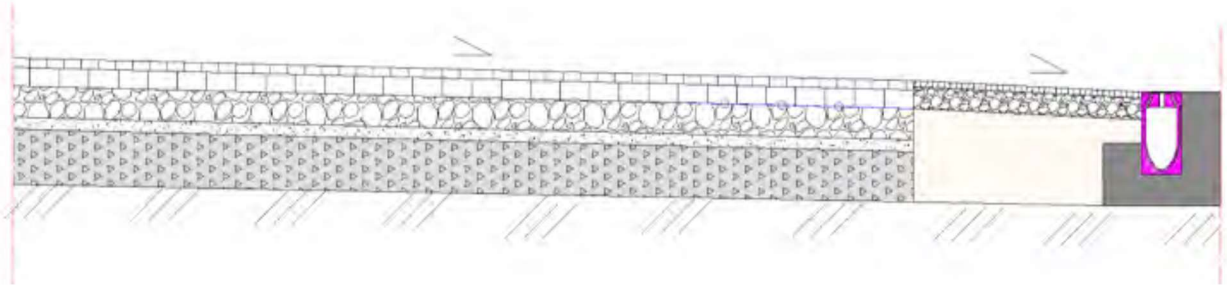


Рисунок 3.15 – Схеми організації поверхневого водовідведення, що розташоване на узбіччі

При проєктуванні та влаштуванні систем поверхневого водовідведення необхідно враховувати температурне розширення матеріалів, що використовується у покриттях та елементах водовідведення. У цементобетонних покриттях передбачаються поздовжні та поперечні температурні шви розширення, у асфальтобетонних – переважно поперечні шви. Це забезпечує безпечну експлуатацію системи, запобігає появі тріщин та деформацій під час температурних коливань.

Відповідно до нормативних вимог, обслуговування систем водовідведення слід проводити не менше ніж двічі на рік. При правильному підборі типу лінійного водовідведення засмічення системи практично не виникає, що значно спрощує процес утримання.

Особливу увагу слід приділяти післязимовому обслуговуванню. Під час зимового утримання доріг для боротьби зі слизькістю покриття застосовуються антиожеледні заходи, які часто включають внесення значної

кількості піску. При малому об’ємі стоку цей матеріал практично не відводиться самопливом, що може знижувати ефективність роботи системи.

Для забезпечення надійного функціонування лінійного водовідведення після зимового періоду необхідно провести його очищення, зокрема промивання лотків і каналів, що дозволяє відновити пропускну здатність системи та зменшити ризик засмічення у наступний сезон.

3.3 Інтеграція технологій ефективного управління зливовими водами в умовах міської забудови

Міські території характеризуються високою щільністю забудови та значним обсягом імперміалізованих поверхонь, що ускладнює природне відведення дощових і талих вод. Неналежне водовідведення призводить до підтоплень, пошкодження дорожнього полотна та інженерних споруд, ерозії ґрунтів і забруднення водних об’єктів. Сучасне містобудування вимагає інтегрованого підходу до планування систем поверхневого водовідведення та управління зливовими водами, який поєднує інженерні та природоорієнтовані рішення.

Сучасні концепції Sustainable Drainage Systems (SUDS) та Low Impact Development (LID) передбачають управління зливовими водами на місці їх утворення. Основні технологічні рішення:

– інфільтраційні споруди;

– відстійники та коалесцентні сепаратори;

– сорбційні та нанофільтри для видалення нафтопродуктів і важких домішок;

– зелені насадження та пористі покриття для часткової утилізації стоків.

Ці підходи дозволяють зменшити навантаження на центральну систему водовідведення, підтримувати водний баланс та покращувати екологічний стан міських територій.

Ефективність систем поверхневого водовідведення значною мірою залежить від регулярного обслуговування. Основні рекомендації:

– очищення лотків і колодязів не менше двох разів на рік;

– післязимове промивання для видалення піску та реагентів, що залишилися після застосування антиожеледних засобів;

– контроль герметичності закритих лотків (тривале тестування протягом 72 годин);

– перевірка температурних швів та стану матеріалів (міцність ≥ 22 Н/мм², шорсткість ≤ 25 мкм).

Регулярне обслуговування дозволяє запобігти засміченню, ерозії та локальному підтопленню.

В умовах щільної міської забудови важливо комбінувати різні технології:

– використання відкритих і закритих лотків залежно від категорії дороги;

– інтеграція природоорієнтованих рішень у зонах пішохідних переходів, громадського транспорту та підходів до мостів;

– застосування підвищених і протиковзких елементів для безпеки пасажирів;

– планування водовідведення з урахуванням поздовжніх і поперечних ухилів проїзної частини.

Такий комплексний підхід дозволяє забезпечити ефективне управління стоками, знизити ризики підтоплень, покращити екологічний стан і підвищити безпеку руху.

Завдяки своїй технологічній сутності управління зливовими водами є відправною точкою для інтегративного підходу у міському плануванні. Концепція «Єдиної води» передбачає спільне управління стоком дощових

вод, питною водою, стічними водами та послугами оборотного водопостачання, створюючи основу для координації різних секторів. Обмежене сприйняття зливових вод як локальної інженерної проблеми може перешкоджати застосуванню ширшої ландшафтної перспективи та використанню можливостей для спільного створення супутніх вигод. Відсутність чіткої інституційної приналежності або власності на зливові води обмежує бюджетні ресурси, фрагментує зацікавлені сторони та ускладнює інтегроване планування. Управління на рівні водозбору може сприяти координації між секторами, а керівництво з боку центральних міжгалузевих органів, використання мереж для обміну знаннями та оцінка результатів реалізованих планів підвищують ефективність інтеграції [39].

З ростом складності міських систем управління зливовими водами взаємопов'язується з іншими інтегративними рамками. Термін «інтегроване управління зливовими водами» підкреслює узгодження технічних рішень із екологічними та соціальними процесами через партисипативні підходи, які створюють економічні, соціальні та екологічні супутні вигоди. Інтегративні підходи, такі як водочутливе міське проектування (WSUD), пропонують поєднання управління водними ресурсами з міським плануванням, що дозволяє включати природоорієнтовані рішення та підходи LID для пошуку багатофункціональних вигод [40].

Секторальні зв'язки управління зливовими водами включають міську екологію, охорону здоров'я, рекреацію та благоустрій міських просторів. Наприклад, природні рішення у прибережних районах підтримують біорізноманіття та зменшують ризик втрати видів, а інтеграція зелених зон та водних об'єктів у міське середовище сприяє покращенню громадського здоров'я та соціального капіталу [40]. Концепція «Єдине здоров'я» підкреслює важливість взаємозв'язку між станом людей, тварин та екосистем, дозволяючи враховувати супутні вигоди для здоров'я, безпеки харчових продуктів та цілісності екосистем у рамках управління зливовими

водами. Пропозиції щодо управління зливовими водами в міських умовах наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Пропозиції щодо управління зливовими водами в міських умовах

№	Пропозиції управління зливовими водами	Опис та рекомендації
1	Інтеграція відкритих і закритих систем водовідведення	Відкриті лотки, канави та кювети – для зон із достатньою площею; закриті трубопроводи – на ділянках з високою інтенсивністю руху, мостів та щільної забудови.
2	Природоорієнтовані технології (SUDS, LID)	Інфільтраційні споруди, пористі покриття, відстійники, сорбційні фільтри та коалесцентні сепаратори; зелені насадження для зменшення швидкості стоку та природного очищення води.
3	Зонування поверхневого водовідведення	Відведення стоків із проїзної частини до узбіч і локальних каналів; прикрайкові водозбірні лотки, водоскидні елементи; поєднання лінійних і точкових елементів для оптимальної пропускної здатності.
4	Системи безпеки та доступності	Підвищені елементи та протиковзкі покриття на зупинках і пішохідних переходах; забезпечення доступності для маломобільних груп населення.
5	Регулярне обслуговування та контроль стану систем	Очищення лотків і колодязів не менше двох разів на рік; післязимове промивання; контроль герметичності та температурних швів; використання автоматизованого моніторингу.
6	Інтегроване планування	Врахування ухилів, гідрології, інтенсивності руху та щільності забудови; комбіноване використання інженерних і природоорієнтованих рішень для сталого управління стоками.
7	Екологічний та ресурсозберігаючий підхід	Мінімізація скиду забруднених стоків у водойми; повторне використання очищеної дощової води; підтримка водного балансу та зменшення негативного впливу на міське середовище.

Міське планування виступає як давно інституціоналізована міждисциплінарна галузь, яка розглядає управління зливовими водами як інтегративний інструмент для забезпечення стійкості міських систем. Підхід «інтегроване міське планування» передбачає партисипативний та гнучкий процес, який дозволяє координувати дії між установами, що робить його оптимальною платформою для поширення знань та методів управління зливовими водами.

ВИСНОВКИ

Інтеграція технологій ефективного обслуговування систем поверхневого водовідведення в умовах міської забудови є ключовим чинником підвищення надійності інженерної інфраструктури, безпеки дорожнього руху та екологічної стійкості міського середовища. Проведений аналіз свідчить, що традиційні підходи до водовідведення не повною мірою відповідають сучасним викликам, пов’язаним зі зростанням щільності забудови, кліматичними змінами та збільшенням інтенсивності опадів.

Застосування інтегрованих рішень, які поєднують закриті та відкриті системи водовідведення з природоорієнтованими технологіями (SUDS, LID), дозволяє не лише ефективно відводити зливові стоки, а й зменшувати навантаження на міські каналізаційні мережі, покращувати мікроклімат та якість міського простору. Важливу роль при цьому відіграє впровадження сучасних матеріалів і конструкцій, стійких до дії динамічних навантажень, агресивних середовищ та циклів замерзання–відтавання, що безпосередньо впливає на довговічність і надійність систем.

Доведено, що ефективне функціонування поверхневого водовідведення неможливе без системного підходу до його експлуатації та обслуговування. Регулярний моніторинг, своєчасне очищення, промивання елементів після зимового утримання доріг та впровадження регламентів технічного обслуговування істотно знижують ризики засмічення і аварійних ситуацій.

Таким чином, комплексне поєднання інженерних, організаційних та природоорієнтованих рішень у сфері обслуговування систем поверхневого водовідведення є необхідною умовою сталого розвитку міст. Реалізація таких підходів сприятиме підвищенню рівня безпеки, комфорту та екологічної якості міського середовища, а також забезпечить адаптацію міської інфраструктури до сучасних і майбутніх викликів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ-Н Б В.2.5-71:2013 Споруди для очищення поверхневих стічних вод. Настанова з проектування (СН 496-77, MOD). Київ, 2014, 30 с.

2. ДСТУ 8691:2016 Стічні води. Настанови щодо встановлення технологічних нормативів відведення дощових стічних вод у водні об`єкти Київ, 2016. 28 с.

3. Grigg, N. S. (2024). Управління зливовими водами: комплексний підхід до підтримки здорових, комфортних для життя та екологічних міст. *Міські науки.* 2024 , *8* (3), 89; https://doi.org/10.3390/urbansci8030089

4. Ніл С. Грігг (2025). Stormwater Systems and Their Potential to Transform Cities. (2025). Hydrology, 12(12), 336. DOI:10.3390/hydrology12120336

5. ДСТУ-Н Б В.2.5-61:2012 Настанова з улаштування систем поверхневого водовідведення. Київ, 2012, 33 с.

6. Бобрик І.С., Фостащенко О.М., Інтеграція технологій у системи поверхневого водовідведення в умовах міської забудови. Збірник наукових праць студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених «Молода наука-2025»: у 5 т. / Запорізький національний університет. Запоріжжя : ЗНУ, 2025. Т.5. 471 с. С. 8 - 10.

7. Всесвітній економічний форум. Трансформація міст. 2025. URL: https://www.weforum.org/stories/urban-transformation/ (дата звернення: 15 грудня 2025 р.).

8. Ткачук О. А., Ярута Я. В. Містобудівна оцінка споруд регулювання дощового стоку в умовах міської забудови. Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Рівне, НУВГП, 2021. Вип. 2(94). с. 8 – 19.

9. Russo B., Gómez M., Tellez-Álvarez J. The Relevance of Grated Inlets within Surface Drainage Systems in the Field of Urban Flood Resilience. A

Review of Several Experimental and Numerical Simulation Approaches. Sustainability, 2021, 13(13), 7189. https://doi.org/10.3390/su13137189.

10. ДСТУ Б В.2.5-26:2005 (ГОСТ 3634-99) Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі та споруди. Люки оглядових колодязів і дощоприймачі зливостічних колодязів. Технічні умови. Київ, 2005. 15с.

11. ДСТУ Б EN 1433:2016 Лотки водовідвідні для транспортних і пішохідних зон. Класифікація, вимоги до виготовлення, методи випробувань, маркування та оцінка відповідності (EN 1433:2002, IDT+EN 1433:2002/A1:2005, IDT+EN1433:2002/AC:2004, IDT) Київ: Мінрегіон України, 2016. 88с.

12. ДБН В2.2-40:2018 Інклюзивність будівель і споруд. Основні положення., Київ: Мінрегіонбуд України, 2018. 64 с.

13. Ouyanga M., Kotsukiabc S., Itod Y., Tokunagad T. Employment of hydraulic model and social media data for flood hazard assessment in an urban city /Journal of Hydrology: Regional Studies, 2022, 44 101261 URL: https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101261

14. ДБН В.2.5-75:2013 Каналізація зовнішні мережі та споруди. [Чинний від 01.01.2014]. Вид. офіц. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2014. 196 с.

15. ДБН Б.2.2-12:2019. Планування та забудова територій. [Чинний від 2019-01-10]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2019. 177 с.

16. ДБН В.1.1-25-2009 Інженерний захист територій та споруд від підтоплення та затоплення. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 52 с.

17. ДБН В.2.3-5:2018 Вулиці та дороги населених пунктів. Київ: Мінрегіонбуд України, 2018. 55 с.

18. ДСТУ Б В.2.5-26:2005 Люки оглядових колодязів і дощоприймачі зливо стічних колодязів. Київ, 2005. 21с.

19. ДСТУ Б В.2.6-106-2010 Конструкції бетонні і залізобетонні для колодязів каналізаційних, водопровідних і газопровідних мереж. Київ:

Мінрегіонбуд України, 2011. 24 с.

20. ДСТУ-Н Б В.2.5-61:2012. Настанова з улаштування систем поверхневого водовідведення. Київ: Мінрегіон України, 2012. 30 с.

21. Модернізація систем водовідведення та очищення стічних вод: затверджено Державну цільову програму до 2034 року. URL: https://www.kmu.gov.ua/news/modernizatsiia-system-vodovidvedennia-ta-ochyshchennia-stichnykh-vod-zatverdzheno-derzhavnu-tsilovu-prohramu-do-2034-roku

22. Директива Ради 91/271/ЄЕС від 21.05.1991 Стосовно очистки стічних вод міст. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=52735

23. Директива Європейського Парламенту і Ради 2000/60/ЄС від 23 жовтня 2000 року про встановлення рамок заходів Співтовариства в галузі водної політики. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_962#Text

24. Директива 2007/60/ЄС від 23.10.2007 Про оцінку та управління ризиками, пов`язаними з повенями. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=60072

25. Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council on the assessment and management of flood risks // Official Journal of the European Union, 2007, L288, 27-34 p.

26. ДБН В.2.5-75:2013 Каналізація зовнішні мережі та споруди. [Чинний від 01.01.2014]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2014. 196 с.

27. ДБН В.2.5 – 74:2013 Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2013. 172 с.

28. Монтаж інноваційної системи дренажу UTube DRAIN виробництва Axhell в Києві. URL: https://bigcity.in.ua/novyny/montazh-innovatsiynoi-systemy-drenazhu-utube-drain-vyrobnytstva-axhell-v-kyievi/

29. ДБН В.2.3-5:2018. Вулиці та дороги населених пунктів. Київ : Мінрегіонбуд України, 2018. 55с.

30. ГБН В.2.3-218-007:2012. Споруди транспорту. Екологічні вимоги до автомобільних доріг. Київ, 2012. 25 с.

31. ГБН В.2.3-218-540:2012. Споруди транспорту. Охорона довкілля при будівництві, ремонті та експлуатаційному утриманні автомобільних доріг. Київ, 2012. 17 с.

32. РВ.2.3-218-03450778-783:2011. Рекомендації з вибору та застосування технологічних схем відведення та очищення стоків з поверхні автомобільних доріг і штучних споруд. Київ, 2011. 37 с.

33. ДСТУ 9057:2020 Настанова з проектування та влаштування споруд поверхневого водовідведення на автомобільних дорогах загального користування. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=90728

34. ÖWAV-Regelblatt 45 Oberflächenentwässerung durch Versickerung in den Untergrund Wien 2015. 45 p.

35. ДБН В.2.3-4:2015. Автомобільні дороги. Ч. І. Проектування, Ч. ІІ. Будівництво. Київ: Мінрегіон України, 2015. 104 с.

36. ТТК 03450778-155:2013. Типова технологічна карта на виконання робіт з улаштування водовідвідних канав автогрейдером. Київ, 2013. 5 с.

37. ТТК 37641918/03450778-213:2016. Типова технологічна карта на влаштування бетонних водопропускних відкритих лотків на узбіччі автомобільних доріг для відведення води з проїзної частини. Київ, 2016. 17 с.

38. ГБН В.2.3-37641918-550:2018. Автомобільні дороги. Зупинки маршрутного транспорту. Загальні вимоги проектування. Київ, 2018. 19 с.

39. Спеціальний випуск журналу H2Open (2024). Інтегроване управління міськими водними ресурсами в містах-губках. URL: https://iwaponline.com/h2open/pages/si_sponge_cities

40. Родерік-Джонс, Р.; Джессап, К. (2024). Природоорієнтовані рішення та управління зливовими водами в окрузі Лос-Анджелес. URL: https://www.ladwp.com/uk/who-we-are/water-system