

АНОТАЦІЯ

Масімов С.Р. огли. Оцінка стоку з урбанізованих територій.

Актуальність теми. Стічні води урбанізованих територій є одним із найбільш небезпечних джерел забруднення поверхневих водних об'єктів, а тому проблема оцінки і очищення стоку з урбанізованих територій є *актуальною*.

Метою роботи бакалавра є оцінка і очищення стоків з урбанізованих територій задля досягнення їх мінімального впливу на якість вод поверхневих водних об'єктів. Для досягнення цієї мети потрібно вирішення наступних завдань: навести аналіз сучасних уявлень щодо питань стічних вод з урбанізованих територій та також методів їх оцінки; проаналізувати принципи оцінки стоку з урбанізованих територій та їх відведення; охарактеризувати особливості відведення поверхневого стоку з забудованих територій; надати оцінку еколого-санітарного стану річки Либідь; розглянути можливості регулювання поверхневого стоку з урбанізованих територій (на прикладі Києва).

Об'єктом дослідження є стоки з урбанізованих територій, а *предметом дослідження* - особливості впливу стоку з урбанізованих територій на екологічний стан поверхневих водних об'єктів (на прикладі окремої частини Києва).

Методологічною основою роботи є критичний аналіз існуючої інформації щодо стоку з урбанізованих територій та його впливу на екологічний стан поверхневих водних об'єктів

Методи дослідження. Методологічною основою роботи є критичний аналіз існуючої інформації щодо забрудненості важкими металами північно-західного шельфу Чорного моря. При виконанні роботи були використані опубліковані дані вітчизняних і зарубіжних авторів, а також матеріали власних доробок. Результати досліджень узагальнені у вигляді таблиць які побудовані з використанням програми Excel. Крім того, використовувалися методи статистичного та порівняльно-географічного аналізу інформації.

Результати дослідження. В роботі охарактеризовані уявлення про стічні води урбанізованих територій та методів їх оцінки, а також розглянуті методичні підходи до оцінки стоку з цих територій і методи (шляхи) їх відведення;

Структура і обсяг роботи. Робота складається із вступу, п'яти розділів, висновків, переліку посилань (18 найменувань). Робота містить 13 таблиць, 15 рисунків. Загальний обсяг роботи – 76 сторінок.

Ключові слова. урбанізовані території, стічні води, дощові, зливові та талі води, забруднення, оцінка стоку. важкі метали, забруднення, морська вода, донні відклади, гідробіонти.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	4
ВСТУП.....	5
1 ЗАГАЛЬНІ УЯВЛЕННЯ ПРО СТІЧНІ ВОДИ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ ТА МЕТОДІВ ЇХ ОЦІНКИ.....	8
1.1 Особливості поверхневого стоку з урбанізованих територій.....	11
1.2 Особливості стоку з промислових майданчиків.....	17
2 ПРИНЦИПИ ОЦІНКИ СТОКУ З УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ ТА ЇХ ВІДВЕДЕННЯ.....	19
3 ОСОБЛИВОСТІ ВІДВЕДЕННЯ ПОВЕРХНЕВОГО СТОКУ З ЗАБУДОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ	27
3.1 Методи відведення й очищення поверхневого стоку урбанізованих територій	29
3.1.1 Метод відстоювання домішок	30
3.1.2 Метод усереднення витрати поверхневого стоку	36
3.3 Метод усереднення витрати поверхневого стоку	38
3.1.4 Метод біологічного очищення поверхневого стоку.....	39
3.2 Особливості складу очисних споруд.....	45
4 ОЦІНКА ЕКОЛОГО-САНІТАРНОГО СТАНУ РІЧКИ ЛИБІДЬ....	48
4.1 Особливості хімічного складу води річки Либідь.....	49
4.2 Особливості мікробіологічного складу води річки Либідь...	50
4.3 Особливості трансформація органічних речовин у річковій воді..	51
4.4 Оцінка якості річкових вод	56
5 МОЖЛИВОСТІ РЕГУЛЮВАННЯ ПОВЕРХНЕВОГО СТОКУ З УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ (НА ПРИКЛАДІ КИЄВА).....	62
ВИСНОВКИ.....	70
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	72

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

БО – біхроматне окислення

БСК – біохімічне споживання кисню

ВМ – важкі метали

ГДК – гранично допустима концентрація

ЕС – екосистема

ЗР – забруднююча речовина

ІЗВ – індекс забруднення води

ОР – органічна речовина

ПО – перманганатне окислення

СВ – стічні води

СПАР – синтетичні поверхнево-активні речовини

ХСК – хімічне споживання кисню

ВСТУП

У межах урбанізованих територій формується особливий тип антропогенних ландшафтів, у яких природні поверхні замінені штучними. Природний рельєф вирівняний та замінений на штучну висотну забудову, а у приземному шарі атмосферного повітря фіксуються високі концентрації газоподібних та твердих забруднюючих речовин. Такі антропогенні зміни ландшафтів впливають на мезомасштабні процеси утворення хмар та опадів, а також на процеси випаровування та формування поверхневого стоку. Інтенсивність впливу залежить багатьох чинників, зокрема від просторових масштабів змін природних ландшафтів і властивостей антропогенних типів поверхонь. Величина поверхневого стоку з урбанізованих територій визначається параметрами випадання атмосферних опадів, а також властивостями поверхні, що підстилає, в межах басейну формування стоку. Так, під час випадання дощу низька пропускну спроможність міських поверхонь та зменшення просочування води у ґрунтовий покрив формують лише витрату на змочування поверхні басейну та накопичення шару води у його нерівностях. Це одна із причин катастрофічних затоплень вчасно дуже сильних атмосферних опадів на урбанізованих територіях України останніми роками. Відтік поверхневого стоку забезпечується системою водовідведення (дощових та зливових водостоків). В інженерній практиці при проектуванні систем водовідведення враховуються такі параметри як середня інтенсивність випадання кулі води в мм за хвилину, об'ємна інтенсивність у $\text{дм}^3/\text{с}$ на 1 гектар, значення річного обсягу дощового та зливого стоку, а також для розрахунку експлуатаційних можливостей систем, значення об'ємів стоку, які формуються за дуже сильних атмосферних опадів.

Недостатня увага до відведення дощових і зливових вод від урбанізованих територій може спричинити підтоплення територій, перебої

в роботі промислових підприємств і міського транспорту, а також псування обладнання та матеріалів у складських приміщеннях і підвальних поверхах будівель, а іноді навіть загибель людей. З урахуванням цих збитків доцільно створювати ефективну систему відведення дощових і зливових вод від урбанізованих територій для міської інфраструктури та міських мешканців.

Талі, дощові та зливові води в межах урбанізованих територій традиційно вважаються одним із найбільш небезпечних джерел забруднення поверхневих водних об'єктів. Відповідно до чинного законодавства, стік з урбанізованих територій та промислових зон підлягає обов'язковому каналізуванню й очищенню. Однак у багатьох великих містах України ці вимоги, як правило, не виконуються, а тому проблема оцінки і очищення стоку з урбанізованих територій є *актуальною*.

Метою кваліфікаційної роботи бакалавра є оцінка і очищення стоків з урбанізованих територій задля досягнення їх мінімального впливу на якість вод поверхневих водних об'єктів.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішення наступних *завдань*:

- 1) навести аналіз сучасних уявлень щодо питань стічних вод з урбанізованих територій та також методів їх оцінки;
- 2) проаналізувати принципи оцінки стоку з урбанізованих територій та їх відведення;
- 3) охарактеризувати особливості відведення поверхневого стоку із забудованих територій;
- 4) надати оцінку еколого-санітарного стану річки Либідь;
- 5) розглянути можливості регулювання поверхневого стоку з урбанізованих територій (на прикладі Києва).

Об'єктом дослідження є стоки з урбанізованих територій, а *предметом дослідження* – особливості впливу стоку з урбанізованих територій на екологічний стан поверхневих водних об'єктів (на прикладі окремої урбанізованої території і річки України).

Матеріали і методи дослідження. Методологічною основою роботи є критичний аналіз існуючої інформації щодо стоку з урбанізованих територій та його впливу на екологічний стан поверхневих водних об'єктів.

При виконанні роботи були використані опубліковані дані вітчизняних і зарубіжних авторів, а також матеріали власних досліджень. Результати досліджень узагальнені у вигляді таблиць які побудовані з використанням програми Excel. Крім того, використовувалися методи статистичного та порівняльно-географічного аналізу інформації.

Новизна одержаних результатів полягає в оцінці стоку з урбанізованих територій та його впливу на екологічний стан та якість поверхневих водних об'єктів.

Практичне значення отриманих результатів полягає у тому, що результати дослідження можуть бути використані для подальшого аналізу впливу стоку з урбанізованих територій на екологічний стан та якість поверхневих водних об'єктів.

Особистий внесок здобувача. Автором самостійно виконані всі етапи роботи – від збору, узагальнення і обробки інформації до формулювання основних положень та висновків.

Структура та обсяг роботи. Робота складається із вступу, п'яти розділів, висновків, переліку посилань (18- найменувань). Робота містить 10 таблиць, 5 рисунків. Загальний обсяг роботи – 76 сторінок.

1 ЗАГАЛЬНІ УЯВЛЕННЯ ПРО СТІЧНІ ВОДИ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ ТА МЕТОДІВ ЇХ ОЦІНКИ

Велика кількість поверхневих стоків – проблема мегаполісів України та інших країн Європи у зв'язку з характерним для них великим потоком автомобілів та зменшенням площі фільтраційних поверхонь через збільшення непроникних для атмосферної вологи покриттів. Згідно вказано у «Директиви Європейського парламенту та Ради 2007/60/ЄС від 23 жовтня 2007 р. щодо оцінки та управління ризиками, пов'язаними з повеннями» [1] з її строгими вимогами до якості поверхневих стоків робить застосування методів контролю джерел важливим. Згідно [1] «контроль у місці освіти передбачає комплекс заходів щодо скорочення обсягу поверхневого стоку, що утворюється, або запобігання його утворення. Контроль у місці скидання стоку є розробкою різноманітних очисних споруд, що розташовуються на виході з колектору дренажної зливової каналізації».

«З урахуванням складності процесу формування поверхневого стоку та великої кількості факторів, що впливають на його склад, вибір оптимальної комбінації методів очищення має передбачати вирішення низки питань:

- 1) можливість досягнення необхідного рівня очищення та ефективності для досягнення заданого рівня очищення;
- 2) вартість експлуатації та технічного обслуговування необхідних споруд;
- 3) особливості водозбірної території, облік наявних обмежень (наявності вільних територій, доступність для служб технічного обслуговування тощо);
- 4) соціальні питання (естетика, безпека);
- 5) можливості пом'якшити інші наслідки урбанізації, випадкові впливи на навколишнє середовище та поточний стан створу та водозбору».

Ефективне керування поверхневим стоком, що утворюється на урбанізованих територіях, можливе тільки при врахуванні всіх особливостей його формування на даній території і має бути спрямоване як на запобігання підтопленням і перевантаженням дренажної системи, так і на запобігання потраплянню в навколишнє середовище забруднюючих речовин, тобто. на зменшення обсягу стоку та збільшення ємності дренажної мережі, з одного боку, та на зниження забрудненості стоку з іншого.

Ефективне керування поверхневим стоком, що утворюється на урбанізованих територіях, можливе тільки при врахуванні всіх особливостей його формування на даній території і має бути спрямоване як на запобігання підтопленням і перевантаженням дренажної системи, так і на запобігання потраплянню в навколишнє середовище забруднюючих речовин, тобто. на зменшення обсягу стоку та збільшення ємності дренажної мережі, з одного боку, та на зниження забрудненості стоку з іншого.

«На урбанізованих територіях утворюються різноманітні зворотні води, зокрема такі типи стічних вод: 1) господарсько-побутові; 2) промислові; 3) поверхневий стік підприємств і населених пунктів; 4) рудникові і шахтні води. Кожний тип цих стічних вод має свій специфічний склад, в якому переважає певна асоціація забруднювальних речовин, яка зумовлена інфраструктурними особливостями міста» [2].

«*Стічні води господарсько-побутового походження* містять велику кількість органічних і мінеральних речовин, які знаходяться в розчиненому і завислому стані. В середньому від одного мешканця урбанізованої території протягом добу в каналізаційну систему надходить 65 г завислих мінеральних речовин, 70 г органічних речовин, 9 г хлоридів, 8 г азотистих сполуку (у перерахунку на іон амонію), 3,3 г фосфатів, 2,5 г синтетичних поверхнево-активних речовин (СПАР). Вміст вказаних забруднювальних речовин (C , мг/дм³) залежить від норми скиду з даної урбанізованої території і визначається за формулою» [2]:

$$C = a / (n \cdot 1000), \quad (1.1)$$

де a – норма забруднення, г/добу на 1 мешканця;

n – питома норма скиду, дм³/добу на 1 мешканця.

«*Стічні води промислового походження* характеризуються значною різноманітністю у складі та концентрації забруднювальних речовин, що зумовлено специфікою виробничих процесів і особливостями систем водопостачання та водовідведення на промислових підприємствах. Серед них можна виділити наступні категорії вод:

I категорія – води, які витрачаються на охолодження обладнання або продукції, тому більшість стоків піддаються лише термічному забрудненню (на них припадає біля 90% загального обсягу використаних вод);

II категорія – води, які використовуються для поглинання і транспортування нерозчинних дисперсних мінеральних частинок і частково розчинених солей, внаслідок чого вони самі забруднюються;

III категорія – води, які мають походження подібно водам II категорії, але вони додатково нагріваються при контакті з продуктами;

IV категорії – води, які безпосередньо беруть участь у технологічному процесі як реакційні компоненти та містять усі характерні забруднювальні речовини, що пов'язані з цим технологічним процесом» [2]:

«Крім того, стічні води промислового походження розрізняють за такими ознаками:

- 1) за походженням — виробничі, побутові та атмосферні;
- 2) за характером основних забруднювальних речовин — мінеральні, органічні або органо-мінеральні домішки; за рівнем концентрації — слабоконцентровані (до 0,5 г/дм³);

3) за рівнем концентрації мінеральних речовин — середньо-концентровані (0,5–5 г/дм³), концентровані (5–30 г/дм³), високо-концентровані (понад 30 г/дм³);

4) за агресивністю — неагресивні ($pH = 6,5-8$), слабо агресивні ($pH = 6,5-9$), дуже агресивні (pH менше 6 або більше 9)» [2]:

Слід зазначити, що стічні води від комунально-побутового сектору і промислових підприємства відводяться в каналізаційну системи відповідно до існуючих вимог і потім спрямовуються на міські очисні споруди (станції біологічного очищення).

Ця умова практично не виконується відносно до поверхневого стоку від території промислових підприємств і населених пунктів, який формується за рахунок дощових, зливових, талих та поливо-мийних вод. Об'єм цього стоку з урбанізованих територій визначається:

- 1) інтенсивністю і тривалістю випадання атмосферних опадів;
- 2) загальною площею урбанізованої території і характером її забудови;
- 3) рельєфом урбанізованої території

Концентрація і склад забруднювальних речовин у стоці з урбанізованих територій залежить від специфіки виробництв на підприємствах. Як правило, в цих стоках з територій промислових об'єктів переважають зважені мінеральні речовини (0,1 – 11,3 г/дм³), органічні речовини, нафтопродукти, біогенні речовини та важкі метали.

Лише на окремих урбанізованих територіях розповсюджені шахтні і рудникові води, які мають звичайно високу мінералізацію, величину $pH < 7$) та містять в собі велику кількість мінеральних речовин, які знаходяться як в рідкій фазі, так і у зваженому стані. Тому істотним джерелом забруднення поверхневих водних об'єктів стік з породних і рудних відвалів, а територій гірничо-збагачувальних комбінатів.

1.1 Особливості поверхневого стоку з урбанізованих територій

Варто зазначити, що «Забруднювальні речовини, що потрапляють у поверхневі водні об'єкти з урбанізованих територій, мають різне походження. Техногенними джерелами забруднювальних речовин можуть бути [2]:

- 1) скиди стічних вод промислового, комунально-побутового і походження;
- 2) талі, дощові та зливові стоки, а також поливо-мийні води з міських територій та промислових зон;
- 3) забруднені атмосферні опади;
- 4) стоки з об'єктів рекреаційної та оздоровчої діяльності; море-господарські комплекси (у прибережних зонах морів)» [2]:

«Посилення вимог природоохоронного законодавства та зростання платежів за скидання забруднювальних речовин стимулюють вдосконалення виробничих технологій і систем очищення різноманітних стічних вод. Основними забруднювальними речовинами, що потрапляють поверхневі водні об'єкти з стоком з урбанізованих територій, є біогенні елементи (P, N, K, C тощо), пестициди, важкі метали, нафтопродукти, зважені частинки, патогенні мікроорганізми та органічні сполуки (нафтопродукти, СПАР) різного походження. У складі стоку з урбанізованих територій в поверхневі водні об'єкти надходить у середньому вдвічі більше зважених мінеральних речовин і нафтопродуктів, ніж із скидами від промислових підприємств, а також приблизно 25% усіх органічних речовин [2]:

«Концентрації забруднювальних речовин у зливових стоках і обсяги води, що скидається, значною мірою варіюються під впливом таких чинників, як :

- розміри та форма водозбірної площі;
- кількість атмосферних опадів під час однієї зливи;
- тривалість і інтенсивність атмосферних опадів;

- частота атмосферних опадів протягом сезону;
- вміст забруднювальних в атмосферних опадах;
- еколого-санітарний стан водозбірної території;
- частка територій із водонепроникним покриттям;
- наявність та технічні характеристики дощової каналізації».

Забруднювальні речовини, які потрапляють у поверхневі водні об'єкти, мають різне походження. Джерелами цих речовин антропогенного походження, можуть бути:

Для розуміння схеми забруднення стоком з урбанізованих територій поверхневих водних об'єктів для кожної водозбірної ділянки і для кожного дощу потрібен великий обсяг інформації про кількість, якість та походження стічних вод.

«Наприклад, у США в рамках загальнонаціональної програми по вивченню величини і хімічного складу міського стоку й опадів було проведено великий обсяг натурних досліджень у 30 містах, розташованих у різних кліматичних умовах [3].

Отримані матеріали дозволили використовувати статистичні методи і регресивні моделі для оцінки масштабу дифузійного забруднення, причому такі кількісні показники можуть бути використані разом з моделями гідрологічного циклу на міських територіях. На жаль, в містах України подібні масштабні експерименти, які вимагають значних інвестицій, не проводилися» [4].

Як зазначено в роботі [5], «зливовий стік, що формується на урбанізованих територіях, є одним із інтенсивних джерел забруднення поверхневих водних об'єктів різними забруднювальними речовинами природного та антропогенного походження. Зливовий стік може викликати підтоплення і розливи, замулення, бактеріальне забруднення, підвищення температури та зниження вмісту кисню в водному об'єкті, що приймає, погіршення якості питної води. У зв'язку з цим у час все більше уваги

приділяється дослідженням особливостей формування зливого стоку, оцінці виносу їм забруднювальних речовин».

«Формування зливого стоку на урбанізованій території є складним процесом, схильним до впливу таких факторів, як ступінь господарського освоєння території, рівня її забрудненості, інтенсивності і тривалості атмосферних опадів, тривалості попереднього сухого періоду, норми витрати води при миття дорожніх покриттів тощо. Обсяги зливого стоку безпосередньо залежать від кількості атмосферних опадів, що випали. Середня річна кількість опадів на урбанізованих територіях України коливається у великих межах. Урбанізована територія є середовищем зі значною часткою непроникних для атмосферної вологи покриттів (покриття доріг і тротуарів, стоянок автотранспорту та промислових територій, дахів будівель тощо), а це призводить до того, що обсяг зливого стоку, що формується на урбанізованій території, значно перевищує обсяг зливого стоку, що формується в природних ландшафтах, де істотна частина вологи вбирається в ґрунт, а також витрачається рослинами. Змінений гідрологічний режим урбанізованої території може виробляти в 5 разів більше зливого стоку, ніж еквівалентна територія, зайнята лісом. При природній формі рельєфу водозбірного басейну паводкова хвиля зливого стоку формується поступово. Здатність до накопичення поверхневого стоку водозбірним басейном відповідає природним умовам. На це вказує плавність формування паводкової хвилі стоку. На рис. 1.1 показаний графік гідрографа стоку зливових вод із водозбірного басейну до забудови (напрямок проходження зливого фронту над водозбірним басейном по стоку). Стрімке збільшення глибин потоку в тих місцях, де здійснено забудову водозбірного басейну, свідчить про більш інтенсивну водовіддачу. Повенева хвиля зливого стоку формується інтенсивніше. Швидкості поверхневого потоку залишаються розмиваючими для ґрунтів поверхні водозбору» [5].

На рисунку 1.2 показаний графік гідрографа стоку зливових вод із

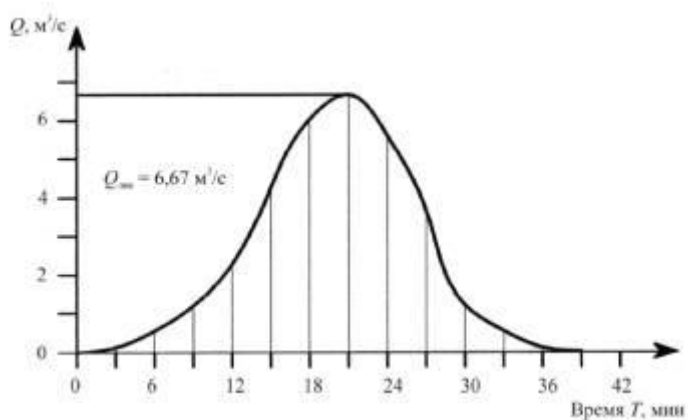


Рисунок 1.1 – Графік гідрографу стоку зливових вод з водозбірного басейну після за будови [5]

водозбірного басейну після за будови (напрямок проходження зливого фронту над водозабірним басейном по стоку).

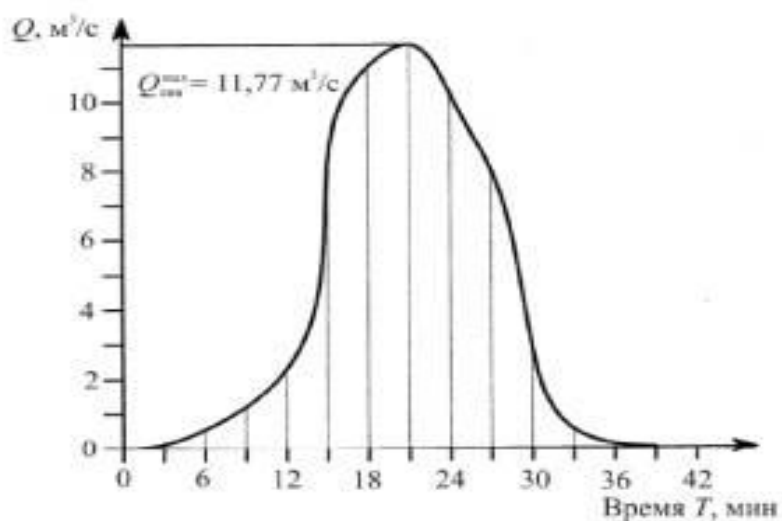


Рисунок 1.2 – Графік гідрографу стоку зливових вод з водозбірного басейну після за будови [5]

Отже, «зливовий стік на урбанізованій території в процесі свого формування накопичує значну кількість забруднювальних речовин і порівняний з комунальним стоком. Розрахунки показують, що із загальної річної кількості забруднювальних речовин, що містяться у всіх видах стічних вод, що відводяться з урбанізованої території, частку поверхневого стоку припадає близько 78% зважених речовин, 20% органічних речовин (по БСК_{пов}), 68% нафтопродуктів. Практично весь обсяг (за рідкісним винятком) поверхневих стічних вод, що утворюються на господарсько освоєних територіях, відводиться у водні об'єкти, як правило, без очищення» [5].

«Забруднювальні речовини, надходячи зі зливовими стоками в природні води, викликають зміну фізичних властивостей середовища (порушення первісної прозорості та забарвлення, поява неприємних запахів та присмаків тощо); зміна хімічного складу; поява плаваючих речовин на поверхні води та донні відклади; скорочення у воді кількості розчиненого кисню внаслідок витрати його на окислення надходять у водойму органічних речовин забруднення; поява хвороботворних бактерій тощо» [5].

Як зазначено в [6], «розрахунок зливової системи дозволить порахувати пропускну спроможність трубопроводу у напірному режимі. Тобто на підвищеному тиску, що створюється у підземній частині каналізаційних труб у зв'язку з величезною масою стічних вод. При цьому рівень стікає в колекторах зростає, і її вага сприяє збільшенню напору рідини в системі. При розрахунку застосовується коефіцієнт заповнення колекторів каналізації зливовими стоками, до цих принцип впливу зливки відрізняється від побутової каналізації або промислових зливальних систем. Її режим роботи буде максимальним чи мінімальним. При недостатньому перерізі труб та низької продуктивності трубопровід не виконає поставлених завдань. Щоб дізнатися діаметр труби, необхідно провести розрахунок зливової каналізації (далі ЛК), володіючи такою інформацією:

- обсяг та частота опадів, що випадають у конкретному регіоні;

- потенційний вміст мулу та твердих включень у стоках вод;
- дальність транспортування стоків.

Дозволені розміри трубопроводів встановлені технічними нормативами. Так, діаметр зовнішньої дощової зливи становить мінімум 200 мм.

Безумовно, зливи є природною стихією, які важно прогнозувати, але існують методичні підходи до їх прогнозування, наприклад за формулою:

$$Q_{сб} = q20 \cdot S \cdot Y, \quad (1.2)$$

де $Q_{сб}$ – обсяг стічних вод, які збираються з конкретної ділянки;

$q20$ – інтенсивність атмосферних опадів (визначається з довіднику);

S – площа розрахункової ділянки; звичайно виражається в гектарах (1 га = 10 000 м²).

Y – коефіцієнт поправки на водопроникність ґрунту».

1.2 Особливості стоку з промислових майданчиків

«Фізико-хімічні особливості речовин стоку з промислових майданчиків залежать від специфіки основних технологічних процесів на промислових підприємствах. Рівень концентрації забруднювальних речовин і питомий їх винос зумовлюються санітарним і технічним станом водозбірної площі, частотою та якістю прибирання, ефективністю роботи систем очищення від політантів, а також організацією зберігання та транспортування сировини, проміжної продукції та виробничих відходів. Особливістю поверхневого стоку з територій промислових майданчиків є присутність у ньому специфічних забруднюючих речовин. Залежно від складу цих стоків, промислові підприємства та їх окремі зони поділяються на дві категорії:

1) підприємства, де у стоках переважають грубо-дисперсні частинки, нафтопродукти й органічні сполуки, сорбовані, головним чином, на зважених речовинах (до них належать підприємства чорної металургії, машинобудівельної, електротехнічної, вугільної, нафтової, легкої, хлібопродуктові, молочної, харчової промисловості, енергетики, автотранспортні підприємства, річкові порти, ремонтні заводи, а також окремі виробництва нафтопереробної, нафтохімічної і хімічної промисловості, на територію яких не потрапляють специфічні забруднення);

2) підприємства, для яких у даний час характерне надходження в поверхневий стік специфічних речовин — підприємства кольорової металургії, коксохімічної, хімічної, лісохімічної, целюлозно-паперової і мікробіологічної промисловості, м'ясокомбінати, шпалопросочувальні заводи тощо» [7].

ТА ЇХ ВІДВЕДЕННЯ

Існує багато методичних підходів до розрахунків стоків з урбанізованих територій. Критичному огляд цих підходів може бути присвячено окремо дослідження. Одним із таких є робота В.М. Жук І.І. Матлай І.І. [8], де надається розрахункова витрата дощових стічних вод.

«Кількість дощових вод (W_d) і талих вод (W_m) у кубічних метрах, що стікають з 1 га водозбірної площі, визначається за відповідними формулами:

$$W_d = 10 h_d \psi_d \quad (2.1)$$

$$W_m = 10 h_m \quad (2.2)$$

де h_d - шар атмосферних опадів у мм за теплий період року;

h_m – шар атмосферних опадів у мм за холодний період рок (визначає загальну річну кількість талих вод) або запас води в сніговому покриві до початку сніготанення (визначає кількість талих вод у весняну повінь);

ψ_d, ψ_m – загальний коефіцієнт стоку дощових та талих вод відповідно; їх значення приймається в межах 0,5-0,7, та визначаються як середньозважена величина для всієї водозбірної площі з урахуванням середніх значень коефіцієнтів стоку для різного роду поверхні (останні можуть прийматися для водонепроникних покриттів в межах 0,6-0,8, для ґрунтових поверхонь 0,2, для газонів).

(W_m) в кубічних метрах , що стікають з території промислових майданчиків, визначається за формулою:

$$W_m = 10 t \cdot k \cdot F_m \cdot \psi_m \quad (2.3)$$

де t - витрата води на одну миття дорожніх покриттів (становить 1,2-1,5 дм³/м²);

ψ_m - коефіцієнт стоку (може бути прийнятий 0,5);

k - середня кількість мийок на рік;

F_m - площа покриттів, що піддаються мокрому збиранню, га.

Витрата талих вод через відмінність умов сніготанення за роками та протягом доби, а також неоднорідності снігового покриву на забудованих територіях можуть коливатися в широких межах.

Орієнтовно витрати талих вод в $\text{дм}^3/\text{с}$ можуть бути визначені за шаром стоку за години сніготанення по формулі:

$$Q = (55/10+t)/hc \cdot k \cdot F \quad (2.4)$$

де t - тривалість протікання талих вод до розрахункової ділянки, год;

F – площа басейну водозбору, га;

k - коефіцієнт, що враховує часткове вивезення та підгортання снігу (рекомендується приймати $k = 0,5-0,8$);

Розмір hc може визначатися залежно від розташування підприємства. величини hc відповідно дорівнюють 25, 20, 15 і 7 мм».

Зазначається, що «склад домішок у поверхневому стоку з території промислових підприємства визначається характером основних технологічних процесів, які концентрація залежить також від роду поверхні водозбірної басейну, технічного стану штучних покриттів, режиму прибирання території, ефективності роботи систем газо- і пиловловлення, організації складування і транспортування сировини, проміжних продуктів і відходів виробництва».

На великих підприємствах, що включають різноманітні за характером технології виробництва, поверхневий стік з окремих ділянок водозбірної площі за складом домішок може помітно відрізнятися від стоку з інших ділянок та загального стоку, що має враховуватись при розробці схеми його відведення та очищення.

Варто зазначити, що концентрація основних домішок у дощовому стоку залежить від гідрометеорологічних параметрів опадів, що випадають (величини шару за дощ, тривалості та інтенсивності дощу) і тривалості попереднього періоду сухої погоди. Концентрація домішок тим вища, що менше шар опадів і триваліший період сухої погоди, і змінюється у процесі стікання дощових вод. Найбільші концентрації мають місце на початку стоку до досягнення максимальних витрат, після чого спостерігається інтенсивне їхнє зниження. Концентрація домішок у талих водах залежить від кількості опадів, що випадають у холодну пору року, частки ґрунтових поверхонь у балансі площі водозбору, припливу стоку з прилеглих незабудованих територій.

«Стік поливно-мийних вод відрізняється відносно стабільним складом та високими концентраціями домішок. Різноманітність чинників, що впливають формування поверхневого стоку, зумовлює значні коливання його складу. При розробці заходів щодо очищення поверхневого стоку його склад слід приймати за даними натурних досліджень на підприємстві або за аналогією з подібними підприємствами. Залежно від складу домішок, що накопичуються на території промислових майданчиків і поверхневим стоком, що змиваються, промислові підприємства та окремі його ділянки можна розділити на дві групи. До першої групи належать підприємства, стік з яких при виконанні вимог щодо упорядкування джерел його забруднення, за складом домішок близький до поверхневого стоку з селітебних зон і не містить специфічних речовин із токсичними властивостями. Основними домішками, які у стоку з території підприємств *першої групи*, є диспергуванні домішки, нафтопродукти, сорбовані головним чином зважених речовинах, мінеральні солі і органічні домішки природного походження» [9].

До *другої групи* відносяться підприємства, на яких за умовами виробництва на сучасному етапі неможливо у повній мірі виключити надходження в стік специфічних речовин з токсичними властивостями або

значних кількостей органічних речовин, що зумовлюють високі значення показників ХПК і БПК стоку.

«До першої групи належать підприємства чорної металургії (за винятком коксохімічних виробництв), машино- і приладобудівної, електротехнічної, вугільної, нафтової, легкої, хлібо-продуктової, молочної, харчової промисловості, сірчаної та содової підгалузі хімічної промисловості, енергетики, автотранспортні підприємства, річкові порти, ремонтні заводи, а також на територію яких не потрапляють специфічні забруднення. Середні концентрації основних домішок у стоку дощових вод на цих підприємствах можуть бути прийняті:

1) зваженими речовинами 500-2000 мг/дм³, при цьому більш високі значення відносяться до підприємств з інтенсивним рухом автотранспорту;

2) по нафтопродуктах 30-70 мг/дм³ для підприємств з інтенсивним рухом автотранспорту та значним споживанням паливно-мастильних матеріалів та 10-30 мг/дм³ для інших (виняток становлять підприємства нафтової промисловості, де вміст нафтопродуктів у поверхневому стоку може досягати 0,5 г/дм³;

3) за ХПК та БПК 100-150 мг/дм³ та 20-30 мг/дм³ відповідно у перерахунку на розчинені домішки, а з урахуванням диспергованих домішок ці показники збільшуються у 2-3 рази;

4) за загальним солевмістом в основному 0,2-0,5 г/дм³, а на підприємствах хімічної промисловості (содових та сірчаних) 0,5-3 г/дм³» [9].

До другої групи належать підприємства кольорової металургії, коксохімії, хімічної, лісохімічної, целюлозно-паперової, нафтопереробної, нафтохімічної та мікробіологічної промисловості, шкірсировини та шкіряні заводи, м'ясокомбінати, шпалопросочувальні заводи. У поверхневому стоку підприємств другої групи можуть бути також домішки, специфічні для даного виробництва. Поверхневий стік підприємств кольорової металургії залежно від характеру виробництва може містити різні важкі метали (мідь до 100 мг/, цинк до 15 мг/ дм³, кадмій до 40 мг/ дм³, алюміній до 5 мг/ дм³, титан

до 3 мг/ дм³, свинець до 3 мг/ дм³ та інші домішки. У поверхневому стоку коксохім заводів присутні феноли (до 3 мг/ дм³), роданіди (до 5 мг/ дм³), аміак (до 20 мг/л дм³, олії та смоли (до 200 мг/л). У стоку підприємств нафтохімії присутні поверхнево-активні речовини; продукти органічного синтезу, можуть бути важкі метали» [9].

При цьому, «залежно від складу виробництв характер домішок та його концентрації на підприємствах цієї галузі можуть суттєво відрізнятися. У стоку заводів фосфорних добрив у значних концентраціях можуть бути сполуки азоту (до 200 мг/ дм³ у перерахунку на іон амонію), фосфору (до 100 мг/ дм³ і більше у перерахунку на P₂O₅), фтору (10 мг/ дм³ і більше). Поверхневий стік лісохімічних виробництв відрізняється високими значеннями показників ХПК (середні значення 700-1400 мг/ дм³), БПК (150-400 мг/ дм³), у ньому можуть бути смоли (до 300 мг/ дм³), фенол (до 30 мг/ дм³), терпінсол (до 5 мг/ дм³). Стік із території м'ясокомбінатів має високі БПК (до 300 мг/ дм³), містить жири (до 200 мг/ дм³). У стоку шпало-пропитних заводів можуть бути феноли (до 10 мг/ дм³). Поверхневий стік з територій підприємств із виробництва білково-вітамінних концентратів (БВК) містить дріжджі, білки, вуглеводні» [9].

Розрахунковий об'єм поверхневого стоку (W_{cm}) у кубічних метрах, який формується під час окремого дощу, визначається за формулою

$$W_{cm} = H \psi_{mid} F \quad (2.5)$$

ψ_{mid} – середній зважений по площі коефіцієнт стоку для окремого дощу;

Згідно з існуючими рекомендаціями, «для покрівель та асфальтових покриттів $\psi_{mid} = 0,95$, для брущатих та щебневих покриттів $= 0,6$ для брущатки $= 0,45$; щебневих покриттів, необроблених в'язкими матеріалами $= 0,40$; для гравійних садово-паркових доріжок $= 0,30$, для ґрунтових поверхів $= 0,2$, для газонів $= 0,1$. У середньому, коефіцієнт стоку

ψ_{mid} залежить від співвідношення шару атмосферних опадів, висоти шару початкового затримання інфільтраційних характеристик і здатності до випаровування басейну стоку тощо.

H - висота шару опадів для одного дощу;

F - загальна площа басейна стоку».

Слід зазначити, що Служба охорони ґрунтів Департаменту сільського господарства США пропонує таку формулу:

$$H_1/H_1 = H_3(H_3 + H_4) \quad (2.6)$$

де H_1 – висота шару стоку, які потрапляє в систему водовідведення;

$$H_1 = W_{cm}/F;$$

H_4 = висота шару насичення, який характеризує максимальні інфільтраційні можливості басейну стоку;

$H_3 = H - H_o$ – висота надлишкового шару атмосферних опадів, який визначається як висота шару опадів і початкового затримання H_o .

$$H_o = 0,2 H_4.$$

$$H_4 = 0,0254(1000/CN - 10) \quad (2.7)$$

Згідно аналізу великої кількості емпіричних даних для міської забудови висоту шару насичення (H_4) можна прийняти рівної 5,2 мм, а висоту початкового затримання (H_o) – 1,04 мм.

$$\Psi_{mid} = H_1/H = (1 - 0,2 H_4)/H^2)/(1 + 0.8 H_4/H) \quad (2.8)$$

Величина витрати (g_r в дм^3 на секунду) дощових вод розраховується за формулою

$$g_r = z_{mid} A^{1,2} F/t_r^{1,2n-0,1} \quad (2.9)$$

де z_{mid} – середнє значення коефіцієнту, який характеризує вид поверхні басейну стоку; визначається як середньозважена величина для всієї площі

водозбірного басейну в залежності від коефіцієнту z для різних видів поверхів.

A, n – параметри, які характеризують інтенсивність та тривалість дощу для конкретної території.

В таблиці 2.1 наведені коефіцієнти та об'єми поверхневого стоку для окремих урбанізованих територій України

Таблиця 2.1 - Коефіцієнти та об'єми поверхневого стоку для окремих урбанізованих територій України (за даними [10])

Місто	Дата	Ψ_{mid}	H_1 (штучні покриття)	Ψ_{mid}	H_1 (природні покриття)
Чернігів	28.07.2010	0,92	$504 \cdot 10^4$	0,2	$110 \cdot 10^4$
Суми	29- 30.05.2015	0,91	$590 \cdot 10^4$	0,2	$130 \cdot 10^4$
Київ	30.05.2017	0,63	$661 \cdot 10^4$	0,2	$210 \cdot 10^4$
	30.06.2018	0,84	$238 \cdot 10^5$	0,2	$567 \cdot 10^5$
Чернівці	27.07.2017	0,84	$432 \cdot 10^4$	0,2	$103 \cdot 10^4$
Одеса	14.06.2017	0,81	$545 \cdot 10^4$	0,2	$135 \cdot 10^4$
Запоріжжя	09.09.2018	0,89	$154 \cdot 10^5$	0,2	$346 \cdot 10^5$

Об'єми поверхневого стоку, які спостерігалися за дуже сильних опадів в умовах забудованих, покритих водонепроникним покриттям територій у 4 – 5 разів перевищують об'єми поверхневого стоку для територій без дорожніх покриттів (сплановані ґрунтові поверхні); при небезпечних опадах спостерігається перевищення обсягів стоку у 3 – 4 рази.

Так, наприклад, обсяг води, що утворився на території міста. Києва 30.05.2017 внаслідок небезпечних опадів на 215% перевищує обсяг води, який утворився б на території міста за відсутності дорожніх покриттів; у випадку, що спостерігався 14 – 15.06.2008 р. Київ за дуже сильних опадів різниця становить 350 %.

3 ОСОБЛИВОСТІ ВІДВЕДЕННЯ ПОВЕРХНЕВОГО СТОКУ З ЗАБУДОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ

Основні положення щодо водовідведення, зокрема відведення поверхневого стоку з забудованих територій наведені у навчальному посібнику М.В. Пеховка «Водовідведення» [11].

«Практика будівництво технічних систем для відведення атмосферних опадів з забудованих територій існує дуже давно, з часу древніх цивілізацій. Згідно з існуючими нормативами, поверхневий стік з забудованих урбанізованих територій перед скидом у поверхневі водні об'єкти повинен

проходити очищення. Рекомендується повністю очищати поливо-мийний і талий стік, а також значну частину дощових та зливових вод. Обсяг дощового та зливого стоку, що направляється на очисні споруди, а також ступінь його очищення, визначаються з урахуванням місцевих умов та відповідних нормативних документів. За погодженням з державними органами дозволяється скидати поверхневий стік без очищення лише з невеликих територій (до 0,2 км²) та міських лісопарків» [11].

«З метою зменшення розмірів водоочисних споруд та потужності обладнання, рекомендується встановлювати перед ними регулюючі резервуари, які забезпечують подачу води на очищення протягом тривалого часу з невеликою витратою. Вибір системи водовідведення та схем розташування дощових і зливових колекторів має базуватися на техніко-економічному аналізі різних варіантів з урахуванням санітарно-гігієнічних показників. Розрахунки мереж для відведення поверхневих вод зазвичай складніші, ніж для виробничо-побутових стоків. Це пов'язано з тим, що розрахункова витрата дощових і зливових вод залежить від їх тривалості, яка враховує час проходження води по земній поверхні та трубах, тобто є функцією швидкості потоку» [11].

«Враховуючи характеристики поверхневого стоку, для його очищення рекомендується передбачати споруди механічного та фізико-хімічного очищення. У всіх випадках доцільно застосовувати прості у використанні та надійні відстійні споруди. Особливо перспективним вважається варіант використання очищеної поверхневої води у виробничому водопостачанні. Для цього після акумулювання та відстоювання стік направляють на подальше очищення і корекцію іонного складу на спеціальні водо-підготовчі споруди» [11].

Результати досліджень показали, що, наприклад, існуючі очисні споруди в Києві застаріли і не забезпечують належного очищення забруднених стічних вод, а також їх скид у водні об'єкти з дотриманням гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин. Поверхневі

стоки з території міста площею водозбору 292 км² відводяться мережею дощової каналізації через 41 випуск, при цьому лише 5 з них оснащені очисними спорудами.

«Будівництво споруд для відведення з забудованих територій атмосферних опадів почалося в далекій давнині, навіть раніше, ніж будівництво трубопроводів, призначених для збору забруднених комунально-побутових вод. Відповідно до сучасних вимог поверхневий стік з міських територій перед спуском його у водні об'єкти повинен очищатися. При цьому рекомендується повністю піддавати очищенню поливо-мийний і талий стік, а також очищувати значну частину річного обсягу дощових вод. Частину дощового стоку, що направляється на очисні споруди, і ступінь його очищення визначають, виходячи з місцевих умов на основі цілого ряду нормативних документів. За узгодженням з державними організаціями дозволяється скидати поверхневий стік у водні об'єкти без очищення тільки з невеликих забудованих територій площею до 0,2 км і з міських лісопарків. Для зменшення розмірів очисних споруд і потужності встановленого там устаткування рекомендується влаштовувати перед очисними спорудами регулюючі резервуари, з яких вода надходить на очищення протягом тривалого періоду з невеликою витратою»[11].

Вибір системи водовідведення, а також схем розташування дощових колекторів варто виконувати на основі техніко-економічного порівняння варіантів з урахуванням санітарно-гігієнічних показників. Розрахунки мереж для відведення поверхневих вод, як правило, більш складні, ніж мережі виробничо-побутового водовідведення. Це пояснюється тим, що розрахункова витрата дощових вод визначається тривалістю випадіння дощу, яка вважається залежною від часу протікання дощової води по поверхні землі та по трубах, тобто є функцією швидкості течії води. Виходячи з характеристики поверхневого стоку, для його очищення рекомендується передбачати споруди механічного і фізико-хімічного очищення. В усіх випадках рекомендується застосовувати прості в експлуатації і надійні в

роботі відстійні споруди. Найбільш перспективним варто вважати варіант використання очищеного поверхневого стоку в системах виробничого водопостачання. У цьому випадку доцільно після акумулювання і відстоювання направляти поверхневий стік для подальшого очищення і корегування іонного складу на споруди водопідготовки» [11]..

Поверхневі стоки з території міста Київ, площею водозбору 292 км². відводяться мережею колекторів дощової каналізації через 41 випуск, з яких лише 5 обладнано очисними спорудами».

3.1 Методи відведення й очищення поверхневого стоку урбанізованих територій

«Відведення поверхневого стоку з урбанізованих територій може здійснюватися різними системами каналізації (напівроздільна, роздільна і загально-сплавна), причому його очищення може проводитися як самостійно, так і разом з міськими стічними водами» [11].

«Під *загально-сплавною* розуміють таку систему каналізації, при якій стічні води всіх видів відводяться до водойм по єдиній каналізаційній мережі. При організації загально-сплавної системи каналізації в період сильних дощів передбачено скидання частини стічних вод у водойми без очистки через спеціальні пристрої – випуски атмосферних опадів, розміщені на головному колекторі поблизу водойми» [11].

«При *роздільній системі каналізації* окремі види стічних вод відводяться по самостійним мережам. В залежності від виду транспортуючих стічних вод каналізаційну мережу розподіляють на побутову і дощову. Коли характер забруднення побутових стічних вод такий, що сумісна очистка їх з побутовими стічними водами неможлива, роблять самостійну мережу для транспортування побутових вод, яка називається побутово-дощовою» [11].

«При *напівроздільній системі каналізації* в місцях перетину самостійних каналізаційних мереж є водоскидні камери для відводу різних

видів стічних вод, які дозволяють здійснити перепуск найбільш забруднених дощових та інших вод при малих витратах в побутову мережу і відводити по єдиному колектору на очисні споруди, а під час дощів викидати порівняно чисті дощові води безпосередньо у водойми» [11].

«Вибір схеми відведення й очищення поверхневого стоку повинен бути обґрунтований техніко-економічним порівнянням варіантів. Так, раніше для техніко-економічної оцінки напівроздільної і роздільної систем каналізації міст з урахуванням відведення й очищення поверхневого стоку для порівняння були обрані три типи міст: 1) з населенням 75 тис. чоловік; 2) з населенням 140 тис. чоловік; 3) з населенням 350 тис. чоловік» [11].

Рельєф урбанізованих територій прийнятий з вираженим нахилом до ріки, що виключало необхідність пристрою насосних станцій. При розрахунку наведені витрати на будівництво напівроздільної системи каналізації, які прийняті за 100 %. Отримані відносні значення наведених витрат при роздільній системі каналізації наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Відносні значення приведених витрат при роздільній системі каналізації (відносно напівроздільної системи каналізації) [11]

Тип міста	Система каналізації	Інтенсивність дощу q_{20}			
		40	60	90	120
А	Роздільна с централізованими очисними спорудами	$\frac{108,8}{103,9}$	$\frac{108,2}{109,5}$	$\frac{101,9}{100,5}$	$\frac{98,1}{-}$
Б	Роздільна з централізованими очисними спорудами	$\frac{106,4}{103,2}$	$\frac{103,1}{105,6}$	$\frac{103}{102,4}$	$\frac{99,6}{-}$
	Роздільна з локальними очисними спорудами	$\frac{115,7}{111,7}$	$\frac{111,3}{111,6}$	$\frac{114,4}{114,4}$	$\frac{111,9}{-}$
В	Роздільна з централізованими очисними спорудами	$\frac{104}{103,7}$	$\frac{105}{103}$	$\frac{101,9}{97,8}$	$\frac{98,8}{95,7}$

Примітка: в чисельнику $p_{оч} = 00,1$, у знаменнику $p_{оч} = 0,05$.

Розглянуті типи каналізації мають свої переваги та недоліки. Наприклад, протяжність мережі загально-сплавної системи на 30-35% менше

протяжності двох самостійних мереж повної роздільної системи. Однак витрати на будівництво мережі при загально-сплавній системі значно більші, ніж при повній роздільній системі. Будівництво загально-сплавних систем каналізації слід здійснювати лише в тих випадках, коли потрібна очистка стічних вод лише від грубих механічних домішок і при наявності водойм з великим дебітом води.

Певні переваги з точки зору екологічного стану населених пунктів має напівроздільна система каналізації, при якій скид дощових вод у водойми здійснюється періодично (лише при сильних дощах), що практично виключає забруднення водойм.

В містах України найбільше поширення отримала повна роздільна система каналізації. На промислових підприємствах застосовують загально-сплавні чи роздільні системи.

Як видно з даних, наведених у табл. 2.1, по приведених витратах найбільш доцільно застосовувати напівроздільну систему каналізації за винятком районів з дуже великою інтенсивністю дощів, що відповідає тривалості 20 хвилин і періодові однократного перевищення 1 раз у рік. Приблизно така ж ситуація спостерігається й у містах з більш вираженим рельєфом місцевості. Крім економічних переваг напівроздільна система каналізації краще роздільної системи з централізованими і локальними очисними спорудами механічного очищення і за санітарними показниками. Це пояснюється тим фактом, що ступінь очищення поверхневих вод разом з міськими стічними водами (при напівроздільній системі каналізації) дуже висока і на виході зі споруд біологічного очищення вміст зважених речовин і органічних сполук, виражених $BCK_{повн}$, не перевищує 15 – 20 мг/дм³.

У деяких країнах, наприклад у США, на даний час вважається найбільш доцільним будівництво роздільної системи каналізації. Це обумовлено ступенем впливу стоків, які скидаються, на екологічний стан водойми. Проведені американськими фахівцями розрахунки показують, що під час зливи більше 70 % господарсько-побутових стічних вод скидається з

загально-сплавної каналізації у водойми без очищення. У містах, для яких характерні тривалі періоди сухої і дощової погоди, перші порції дощів приносять на очисні споруди таку кількість механічних домішок, що це викликає засмічення ґрат і пісколовок. При великих гідравлічних навантаженнях (у період дощів) має місце значний винос біомаси зі вторинних відстійників, а в результаті підвищеного вмісту мінеральних нерозчинених речовин знижується ефективність бродіння осаду. Таким чином, поверхневий стік при загально-сплавній каналізації, з одного боку, погіршує роботу очисних споруд, а з іншого боку значно забруднює водойму за рахунок скиду надлишкових неочищених стічних вож. У зв'язку з цим у містах США останнім часом почали будувати роздільні системи каналізації.

«Вибір схеми відведення й очищення поверхневого стоку повинен здійснюватися на основі оцінки технічної можливості й економічної доцільності наступних заходів:

- використання очищеного поверхневого стоку в системах технічного водопостачання;
- локалізації окремих ділянок виробничих територій, де можливе потрапляння на поверхню специфічних поллютантів, з відводом стоку у виробничу каналізацію або після їх попереднього очищення – у дощову;
- роздільного відведення поверхневого стоку з водозбірних площ, що відрізняються за характером і ступенем забруднення території;
- самостійного очищення поверхневого стоку;
- подачі поверхневого стоку на загальнозаводські очисні споруди для спільного очищення з виробничими стічними водами» [11].

У залежності від розміщення вулиць і вуличних проїздів, рельєфу місцевості, розташування об'єкта водовідведення і водотоку або водойми, вимог до очищення поверхневого стоку й інших факторів застосовуються різні схеми розміщення дощових колекторів. Так само як і при відведенні побутових вод, з урахуванням планування населеного пункту, тут можливе

застосування перпендикулярної схеми, зонної і пересіченої схем, а при необхідності – паралельної або радіальної схем водовідведення.

Водостічну каналізаційну дощову мережу прокладають вздовж міських проїздів на короткій відстані від водойм та ярів. При ширині проїзду до 30 м водостік слід прокладати на середині проїзду, а при великій ширині водостічну мережу прокладають по обидва боки проїзду.

«Атмосферні опади поступають у закрити водостічну мережу через дощоприймачі, які являють собою колодязі, перекриті приймальною ґраткою. У плані дощоприймачі мають прямокутну чи округлу форму. Дощоприймачі розташовують на відстані 50 - 80 м один від одного. Їх прокладають вздовж вуличних проїздів, біля перехресть вулиць, у понижених місцях» [12].

Одним із методів відводу стоку із урбанізованих територій є гідравлічний розрахунок для водовідводів. При цьому зменшення швидкості руху води за довжиною водовідводів не припускається. «Розрахункові витрати дощових вод (Q_w , дм³/с) проводиться за формулою:

$$Q_w = Q_s \times F_w \quad (3.1)$$

де Q_s – величина стоку в дм³/с на 1 га:

$$Q_s = \Psi \times \varphi = 166,7 \Delta \varphi / t_j^\pi \quad (3.2)$$

де Q_s – величина стоку в дм³/с на 1 га:

F_w – площа водозбору, га;

Ψ – розрахункова інтенсивність дощу, дм³/с на 1 га;

Δ – параметр, який дорівнює максимальній інтенсивності дощу тривалістю 1 хвилина при прийнятій повторюваності, мм/хв.:

$$\Delta = 0,006 \times 20^n \Psi_{20} (1 - C \lg T) \quad (3.3)$$

φ – коефіцієнт стоку дощових вод (супіски = 0,15-0,95; суглинки = 0,25-0,95; глини = 0,30-0,95).

t_j – розрахункова тривалість дощових вод; ;
 n – показник ступені зміни розрахункової інтенсивності дощу;
 Ψ_{20} – інтенсивність дощу для даної місцевості тривалістю 20 хвилин при
 $T=1$ год, $\text{дм}^3/\text{с}$ на 1 га;
 C – коефіцієнт, який ураховує кліматичні особливості регіону;
 учитывающий климатические особенности региона;
 T – період повтору розрахункової інтенсивності дощу, год.

Розрахункова тривалість дощу (t_i , хв.) , яка дорівнює часу добігання дощових вод до колектору, визначається за формулою:

$$T_j = t_w = \tau_s + \tau_e \tau_k \quad (3.4)$$

Где τ_s – час добігання дощових вод по поверхні схилу до лотка, хв.

τ_s - час добігання дощових вод по лотку до накопичу дощу, хв.;

τ_k – час протікання дощових вод по колектору, хв.

Час добігання дощових вод по поверхні схилу до лотка визначається за формулою:

$$t_s = (2,4 \ln_e L_s / \Delta^{0,72} \varphi^{0,72} i_s^{0,5})^{(1/1,72-0,72\pi)} \quad (3.5)$$

де L_s – довжина схилу, який приймає участь у формуванні максимального стоку, м;

i_s – уклон схилу;

n_e – коефіцієнт нерівності поверхні схилу (за довідником)» [12].

«Схема відведення повинна передбачати по можливості самопливну подачу поверхневого стоку на очисні споруди. При визначенні схеми очисних споруд першочергове значення мають витрата поверхневого стоку,

що подається на очищення, й необхідний ступінь очищення. З метою скорочення продуктивності очисних споруд, як правило, стік повинен усереднюватись. Ступінь очищення поверхневого стоку в залежності від прийнятої схеми відведення визначається вимогами до якості води, яка використовується в технологічних процесах, або умовами спуску його в водні об'єкти.

Однією з найважливіших умов благоустрою території є відведення поверхневих вод з міських територій.

- поверхневі води – дощові та талі, які можна вивести за межі території забудови та скинути в найближчий тальвег (знижене місце рельєфу поверхні) або водоймище через найпростіші очисні споруди;

- господарсько-фекальні води – які перед скиданням мають бути піддані біологічному очищенню;

- виробничі води, що не містять домішок, вважаються умовно чистими і можуть бути скинуті у водостоки; виробничі води, що містять домішки, підлягають попередньому очищенню та знешкодженню».

Відведення всіх видів стічних вод з території забудови здійснюється пристроєм каналізації.

Розглядатимемо лише дощову (зливову) каналізацію – водостоки.

При роздільній системі каналізації стік поверхневих вод може здійснюватися трьома системами: відкрита, закриваючи, змішана.

Відкрита система водовідведення – складається з лотків, кюветів та укріплених водовідвідних каналів. У місцях перетинів відкритих водостоків із проїжджою частиною вулиць, з тротуарами та пішохідними доріжками влаштовують містки чи кювети замінують переїзними трубами.

Випуск дощових вод не допускається:

1. У поверхневі водотоки, що протікають у межах населеного пункту зі швидкістю менше 5м/с та витратою менше 1м³/с;

2. У непроточні ставки;

3. У водоймища у місцях, спеціально відведених для пляжів;

4. У рибні ставки без відповідного погодження;
5. У замкнуті лощини і низини схильні до затоплення;
6. У яри, що розмиваються, якщо проектом не передбачені заходи щодо зміцнення їх русла та схилів» [12].

3.1.2 Метод відстоювання домішок

«Відстоювання є одним з основних методів виділення зі стічних вод осідаючих і спливаючих механічних домішок. Ефективність роботи відстійників обумовлена такими основними факторами, що залежать від седиментаційних властивостей зважених речовин, як дисперсність часток, концентрація суспензії, гранулометричний склад, схильність до утворення згустків, електрокінетичні явища і т.д.; залежними від гідродинамічних умов роботи споруди – режиму руху, щільнісних і конвекційних струмів, ступеня використання обсягу споруди і т.д.» [12].

«Теоретичні дослідження щодо кінетики відстоювання дощових і талих вод було основою для розрахунку ефекту освітлення в залежності від тривалості відстоювання для висоти зони осадження 2 м.

Дані про необхідну тривалість відстоювання дощового і талого стоку, що формуються на міській території, при різній глибині проточної зони відстійника H для досягнення заданого ефекту освітлення наведені в табл. 3.2» [12].

Таблиця 3.2 - Тривалість відстоювання, г, дощового стоку
(у чисельнику) і талого стоку (у знаменнику)

Ефект відстоювання, %	Глибина проточної зони, м				
	2	2,5	3	3,5	4
20	0,77/0,32	0,8/0,34	0,83/0,35	0,86/0,36	0,88/0,37
30	1,27/0,52	1,32/0,54	1,37/0,56	1,41/0,58	1,45/0,59

40	1,64/0,79	1,72/0,83	1,79/0,85	1,84/0,88	1,89/0,91
50	2,3/1,17	2,4/1,23	2,48/1,27	2,57/1,31	2,63/1,35
60	3,03/1,59	3,16/1,67	3,26/1,72	3,37/1,78	3,48/1,83
70	4,55/2,3	4,81/2,4	5,0/2,48	5,15/2,57	5,26/2,63
80	6,9/3,64	7,14/3,85	7,5/3,95	7,61/4,12	7,84/4,21

Пропорційно ефекту освітлення знижується вміст органічних речовин, виражених величиною хімічного споживання кисню (ХСК) . При тривалості відстоювання 1 – 2 доби ефект зниження вмісту зважених речовин і величина ХСК коливається від 80 до 90 %, а показника $BCK_{повн}$ від 60 до 80 %. Залишковий вміст зважених речовин у відстояній воді може досягати 50 – 100 мг/дм³, нафтопродуктів – 0,5 – 3 мг/дм³, а органічних речовин у перерахуванні на ХСК і $BCK_{повн}$ відповідно 50 – 80 і 15 – 20 мг/дм³.

Як показують дослідження, поверхневий стік поряд з тонко-дисперсними частинками містить і великі механічні домішки, для виділення яких доцільно застосовувати пісковловлювачі. За даними досліджень кінетики відстоювання, у дощовому стоці вміст частинок піску з гідравлічної крупністю більше 15 мм/с коливається в межах від 10 до 15 %, а в талому стоці – до 20%.

Накопичений досвід підтверджує доцільність застосування для очищення поверхневого стоку простих в експлуатації і надійних у роботі відстійних споруд. Дослідження ефективності роботи відстійників показують, що в залежності від прийнятих розрахункових параметрів у відстійнику затримуються частки заданої гідравлічної крупності, але не менше 0,2 мм/с. Це призводить до того, що застосування типових каналізаційних відстійників навіть зі збільшеною тривалістю перебування (4 – 6 г і більше) забезпечує затримку основної маси зважених речовин, але разом з тим у відстояній воді концентрація зважених речовин може досягати 100 мг/дм³. Застосування ставків-відстійників (з часом перебування не менш доби) дозволяє підвищити ефект очищення до 90 – 95 % по зважених речовинах, до 90 % по нафтопродуктах і до 75 % по БСК. З досвіду

експлуатації впливає, що концентрація зважених речовин у вихідній воді зі ставків може досягати в окремі періоди 50 – 70 мг/дм³, а нафтопродуктів – 3 – 5 мг/дм³. Як правило, простого відстоювання недостатньо ні для використання, ні для скиду у водойму.

Для доочищення відстояного дощового стоку застосовують: фільтрування через різні завантаження з природних і синтетичних матеріалів; обробку води коагулянтами і флокулянтами; флотацію з реагентною обробкою стоку; озонування; сорбцію; біологічне очищення.

3.1.3 Метод усереднення витрати поверхневого стоку

«Особливості характеру випадіння атмосферних опадів та їх висока несталість зумовлюють необхідність усереднення його витрат і складу з метою зменшення витрат на очищення. При проєктуванні дощової каналізації для цього застосовують розділові камери та регулювальні резервуари. Розділові камери, які відводять надлишкову частину дощового стоку безпосередньо у водойму, можуть спричинити значне надходження забруднень у водні об'єкти. Це пов'язано з тим, що скидання зазвичай відбувається при пікових витратах, коли рівень забруднення стоку найвищий. Тому з метою захисту водойм доцільніше направляти цей стік до регулювальних резервуарів.

Найбільш поширеним типом таких резервуарів є накопичувачі. Використання розділових камер у поєднанні з регулювальними резервуарами дозволяє істотно зменшити об'єм дощових вод, що потребують очищення. Сучасна практика передбачає визначення продуктивності очисних споруд на основі затримки максимальної кількості забруднень при мінімальному обсязі оброблюваної води.

Подальше зменшення навантаження на очисні споруди можливе завдяки регулюванню витрат дощових вод. Збільшення об'єму регулювального

резервуара дозволяє зменшити продуктивність очисних споруд до рівня середньорічного стоку. Таким чином, визначення параметрів очисних споруд має базуватись на техніко-економічному обґрунтуванні з урахуванням витрат на будівництво систем відведення й регулювання стоку, а також з дотриманням екологічних вимог» [12]..

3.1.4 Метод біологічного очищення поверхневого стоку

«Стоки з урбанізованих територій і територій промислових об'єктів, окрім нерозчинених забруднювальних речовин, містять також органічні речовини у колоїдному та розчиненому вигляді. Хоча частина таких забруднювальних речовин може бути вилучена шляхом сорбції на завислих частинках під час процесів відстоювання та фільтрації, у деяких випадках виникає потреба у глибшому очищенні поверхневих вод від органіки. Для цього широко застосовуються методи біологічного очищення стічних вод.»

Прикладом такого підходу є «станція біологічної контактної стабілізації, розташована в місті Кеноша, штат Вісконсин, США» (рис. 2.1) [3]. Під час надходження дощового стоку з системи загально-сплавної каналізації, його частина, що пройшла через ґрати, за допомогою насосів подається до пісколовловлювачів, а потім до контактної резервуару об'ємом 934 м³. Цей резервуар з'єднаний з аеробним стабілізатором надлишкового активного мулу станції аерації. Стабілізатор розділений на дві секції обсягом 1387 м³ кожна, час перебування активного мулу в яких складає 7 діб. У період надходження дощових вод частина активного мулу з аеробного стабілізатора перекачується у контактний резервуар. Час перебування стічних вод у контактному резервуарі складає 15 – 20 хв. Ступінь рециркуляції активного мулу – 0,25. Витрата повітря в контактному резервуарі складає 30 м³ на 1 кг БСК₅, а в аеробному стабілізаторі – 6 – 8 м³ на 1 кг БСК₅. З контактної резервуару стічна вода подається у вторинний

відстійник діаметром 42,7 м, а потім хлорується і скидається в озеро Мічиган.

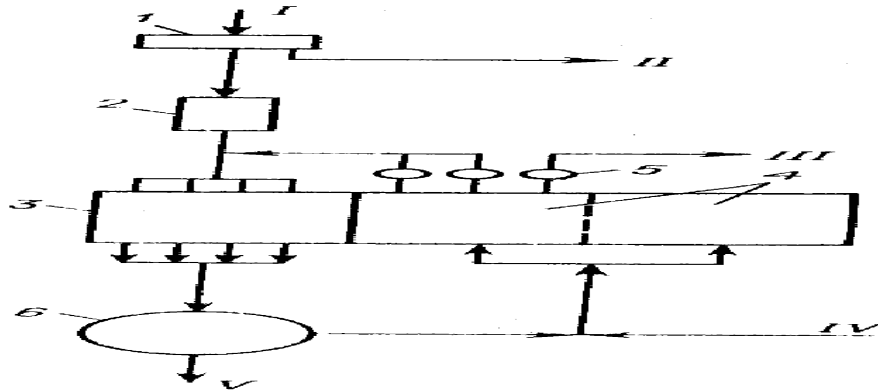


Рисунок 3.1 – Приклад очисної станції в США

1 – насосна станція, 2 – перелив з комбінованої системи каналізації,

1 – контактний резервуар,

2 – аеробний стабілізатор надлишкового активного мулу,

3 – насоси для подачі мулу,

4 – вторинний відстійник,

I – стічні води комбінованої системи, II – на станцію аерації, III – у мулоущільнювачі,
IV – надлишковий активний мул зі станції аерації, V – очищений стік на хлорування й
в оз. Мічиган

Досвід експлуатації показує, що BCK_5 на очисних спорудах у середньому знижується з 102 до 17,8 мг/дм³, тобто ефект видалення BCK_5 у середньому складає 83 % при коливаннях 80 – 90 %. Концентрація зважених речовин знижується з 314 до 26,4 мг/дм³, тобто на 92 %. Ефект очищення по загальному органічному вуглецю складає 80 % (з 113 до 22,8 мг/дм³). Вміст загального азоту і фосфатів знижується на 50 %, відповідно з 11,0 до 5,5 мг/дм³ й з 4,8 до 2,4 мг/дм³.

Перевагами контактної стабілізації, на думку американських фахівців, є високий ефект очищення, централізоване розміщення устаткування й обслуговуючого персоналу, а також зниження навантажень на станцію аерації. До недоліків цього методу очищення відносяться: висока первісна вартість; очисні споруди повинні розташовуватися поруч зі станцією аерації і відповідний колектор повинен мати можливість відводу поверхневого стоку на очисні споруди.

«Крім контактної стабілізації в США для біологічного очищення поверхневого стоку застосовуються біофільтри, обертові біоконтактори й очисні лагуни. Застосування високоефективних споруд штучного біологічного очищення в біофільтрах і обертових біоконтакторах забезпечує високий ефект очищення по BCK_5 і зважених речовинах на рівні 85 – 95 %, але вимагає пристрою регулюючих ємностей. Ефект очищення поверхневого стоку в лагунах різних типів (окисні ставки, аерувальні ставки, ставки з вищою водною рослинністю і т.д.) коливається по BCK_5 від 30 до 90 %, по видаленню зважених речовин – від 20 до 92 %. Капітальні витрати на біологічне очищення поверхневого стоку складають: при контактній стабілізації – 3,4 тис. дол., на краплинних біофільтрах – 3,5, на обертових біоконтакторах – 1,3; в окисних ставках 1,0 і в аероставках – 700 доларів США» [3].

«Контактно-стабілізаційний метод являє собою модифікований біологічний процес, при якому протягом короткочасного аерування води, що очищується, і стабілізованого активного мулу відбувається вилучення основної маси органічних і мінеральних забруднень. Як показали дослідження, при контактно-стабілізаційному методі основна маса забруднень поверхневого стоку вилучається за час аерації 15 хв. Ефект очищення по $BCK_{повн}$ складає 60 – 80 %, по XCK – 70 – 80 і по зважених речовинах – 80 – 90 %. Збільшення періоду аерації до 45 – 60 хв. практично не дає додаткового ефекту.

Контактно-стабілізаційний метод може застосовуватися як для очищення суміші міських стічних вод і поверхневого стоку, так і тільки поверхневого стоку при його роздільній подачі на очисні споруди. Цей метод доцільно застосовувати на станціях аерації, що мають у своєму складі аеробні стабілізатори для обробки надлишкового активного мулу» [3].

При біологічному очищенні по традиційній схемі надходження дощових вод в аеротенк збільшується гідравлічне навантаження на нього. Збільшення гідравлічного навантаження на аеротенк у 1,5 рази знижує ефект

очищення по BCK з 97 до 96 %, у 2 рази – до 94, у 3 – до 92, а при збільшенні витрати стічних вод, що надходять в аеротенк, у 4 рази ефект очищення по BCK знижується до 86 %. Виходячи з цих даних рекомендовано збільшувати продуктивність аеротенків при надходженні на них поверхневого стоку не більше ніж на 50 %.

Епізодичність утворення поверхневого стоку та різкі коливання навантаження по забрудненнях викликають серйозні труднощі застосування традиційних методів біологічного очищення із застосуванням активного мулу.

При відсутності на станціях аерації аеробних стабілізаторів практично у всіх кліматичних зонах незалежно від способу подачі стічних вод на очисні споруди (по одному або окремим колекторам) економічно доцільно застосовувати традиційну схему біологічного очищення в аеротенках. На станціях, де в складі споруд по обробці опадів є аеробні стабілізатори, доцільно використовувати контактнo-стабілізаційний метод. Найбільш економічно застосовувати цей метод у районах при випадінні дощів інтенсивністю $q_{20} \geq 90$ $\text{дм}^3/\text{с}$ на 1 га.

Поверхневий стік, крім характерних ЗР (зважених речовин і нафтопродуктів), містить великий набір специфічних сполук, властивих технологічним процесам даних підприємств, таких як метанол, формальдегід, продукти органічного синтезу, ПАР та ін. $BCK_{\text{повн}}$ поверхневого стоку досягає 100 $\text{мг}/\text{дм}^3$. З урахуванням кліматичних умов теплого клімату і наявності непридатних земель для очищення поверхневого стоку застосовується біологічне очищення в природних умовах. Очищення здійснюється в дві стадії: перша – в самопливному каналі довжиною 9 км і друга – в біологічному ставку. Для інтенсифікації процесу біологічного очищення і канал і ставок засіяні вищою водною рослинністю. Крім того, ставок обладнаний лабіринтовими каналами, у яких вода, що очищається, рухається з визначеною швидкістю. Така система очищення одержала назву гідроботанічне очищення. Вона стійко працює протягом року і забезпечує

якість води, що відповідає вимогам для повторного використання в системах технічного водопостачання.

Практика експлуатації очисних споруд показує, що в середньому рівень БСК₅ знижується з 102 до 17,8 мг/дм³, що свідчить про ефективність очищення на рівні 83 %, з коливаннями в межах 80–90 %. Концентрація зважених речовин зменшується з 314 до 26,4 мг/дм³, що відповідає 92 % ефективності. Зниження вмісту загального органічного вуглецю становить 80 % (з 113 до 22,8 мг/дм³). Вміст загального азоту та фосфатів зменшується на 50 % – з 11,0 до 5,5 мг/дм³ і з 4,8 до 2,4 мг/дм³ відповідно.

За даними американських фахівців, основними перевагами контактної стабілізації є високий ступінь очищення, централізоване розміщення обладнання й персоналу, а також зменшення навантаження на аераційні станції. До недоліків методу належать висока початкова вартість, необхідність розміщення очисних споруд поруч із аераційною станцією, а також потреба у відвідному колекторі, здатному транспортувати поверхневі стоки.

«Окрім контактної стабілізації, у США також використовуються біофільтри, обертові біоконтактори та очисні лагуни. Біофільтри й біоконтактори забезпечують високу ефективність очищення БСК₅ і зважених речовин – 85–95 %, проте потребують регулюючих ємностей. Ефективність лагун (окисні, аерувальні, з вищою водною рослинністю тощо) варіюється: по БСК₅ – від 30 до 90 %, по зважених речовинах – від 20 до 92 %. Капітальні витрати на споруди біоочищення становлять: 3,4 тис. дол. при контактній стабілізації; 3,5 тис. дол. – на краплинні біофільтри; 1,3 тис. дол. – на обертові біоконтактори; 1,0 тис. дол. – на окисні ставки та 700 дол. – на аерувальні» [3].

Метод контактної стабілізації є модифікованим варіантом біологічного очищення, за якого під час короткочасної аерації води разом зі стабілізованим активним мулом видаляється основна частина органічних і мінеральних домішок. Як показали дослідження, більшість забруднень

усувається протягом 15 хвилин аерації. При цьому ефективність очищення становить: по БСК_{повн} – 60–80 %, по ХСК – 70–80 %, по зважених речовинах – 80–90 %. Збільшення тривалості аерації до 45–60 хв не дає суттєвого підвищення ефективності.

Цей метод можна застосовувати як для очищення суміші міських і дощових стоків, так і для окремого очищення поверхневого стоку. Особливо доцільно використовувати його на станціях із наявними аеробними стабілізаторами активного мулу.

При традиційній схемі, коли дощова вода надходить безпосередньо в аеротенк, збільшується гідравлічне навантаження, що негативно впливає на якість очищення. Наприклад, збільшення навантаження в 1,5 рази знижує ефективність БСК з 97 до 96 %, в 2 рази – до 94 %, в 3 рази – до 92 %, а при чотириразовому збільшенні – до 86 %. Рекомендується не перевищувати збільшення навантаження більше ніж на 50 %.

Епізодичність і значні коливання складу поверхневого стоку ускладнюють застосування традиційної схеми з активним мулом. Якщо станція не має аеробних стабілізаторів, то доцільно використовувати класичну біологічну очистку в аеротенках. Якщо ж стабілізатори є, ефективніше впроваджувати контактну стабілізацію, особливо в регіонах з високою інтенсивністю опадів ($q_{20} \approx 90 \text{ дм}^3/\text{с}\cdot\text{га}$).

Поверхневі стоки, окрім традиційних забруднень (зважені речовини, нафтопродукти), можуть містити специфічні сполуки, пов'язані з виробничими процесами підприємств – метанол, формальдегід, органічні синтези, ПАР тощо. БСК_{повн} таких стоків може досягати 100 мг/дм³. У теплому кліматі, при наявності малопродатних земель, ефективним є застосування біоочищення в природних умовах. Очищення відбувається у два етапи: спочатку в самопливному каналі довжиною 9 км, а потім – у біологічному ставку. Для підвищення ефективності канал і ставок засаджуються вищою водною рослинністю. У ставку створена система лабіринтових каналів, яка регулює швидкість руху води. Така система відома

як гідро-ботанічне очищення. Вона забезпечує стабільну роботу впродовж року і дозволяє повторно використовувати воду в системах технічного водопостачання.

3.2 Особливості складу очисних споруд

«Вибір типу очисних споруд для поверхневого стоку залежить від його характеристик і необхідного рівня очищення. У складі таких систем можуть застосовуватись різні елементи: решітки, пісковловлювачі, відстійники (горизонтальні, радіальні), акумулюючі резервуари, фільтраційні установки, флотатори, а також установки для хімічного та біологічного очищення. Вони можуть мати як відкриту, так і закриту конструкцію» [10].

«При локальному очищенні стоку з міських територій рекомендується використовувати механізовані решітки, пісковловлювачі та відстійники. Для великих обсягів стічних вод доцільним є застосування ставків-відстійників або ємностей-акумуляторів, оснащених пристроями для вилучення піску та плаваючих домішок. Усі типи відстійників повинні бути обладнані системами збору нафтопродуктів і періодичного виведення осаду. Оскільки просте відстоювання не гарантує належного очищення, все ширше використовуються фільтраційні станції, особливо в умовах високих екологічних вимог. У випадку середніх витрат стоку (до 300 дм³/с) і сприятливих геологічних умов доцільне використання закритих очисних систем. Вони включають щонайменше дві секції, кожна з яких оснащена решіткою, пісковловлювачем, горизонтальним відстійником з бункером для осаду, системою збору нафтопродуктів та касетними фільтрами, вбудованими або об'єднаними з відстійником» [10].

У системах спільного очищення (стічні води + дощові стоки) кількість стічної води, що надходить до аеротенків, не повинна перевищувати витрату в суху погоду більше ніж у 1,5 рази. При спільному транспортуванні стоків рекомендується встановлення розділової камери після пісковловлювачів. Час

перебування води в первинних відстійниках має бути не менше однієї години.

У регіонах із частими і потужними зливами, коли не вся кількість стоку може бути оброблена, проектом передбачається накопичувальний резервуар. Він дозволяє подавати стоки в аеротенки в періоди зменшеного навантаження на систему.

«Вибір конструкції відстійника залежить від техніко-економічного обґрунтування і враховує обсяг оброблюваної води, стадії будівництва, ґрунтові умови, рельєф, глибину залягання ґрунтових вод і вимоги до ступеня очищення. Відстійники можуть бути як залізобетонними, так і земляними. Перший тип рекомендується для витрат до 500 л/с або за складних геологічних умов. Закриті залізобетонні споруди (підземні) ефективні до витрат у 300 дм³/с, тоді як для більших витрат економічно вигідні відкриті ставки-відстійники» [10].

«Під час експлуатації очисних споруд утворюються такі основні типи відходів: 1) осад, що містить нафтопродукти й важкі метали; 2) нафтошлам, який накопичується на поверхні води; 3) використані фільтрувальні матеріали [10]».

«*Нафтошлам* — це складна суміш мастил, палив, охолоджуючих і мийних рідин, що утворюється у процесі очищення. Для його утилізації існують три шляхи: повторна переробка, спалювання для отримання енергії або термічне знищення.

Найбільш проблемним і слабо дослідженим типом відходів є саме **осад**, який становить до 95 % усіх залишків. Для його утилізації застосовуються такі методи: транспортування спеціальними автоцистернами або самоскидами, сушіння на спеціальних майданчиках чи резервних ділянках відстійників, а також механічне зневоднення за допомогою фільтрів» [10].

4 ОЦІНКА ЕКОЛОГО-САНІТАРНОГО СТАНУ РІЧКИ ЛИБІДЬ

Річки, що протікають через урбанізовані території, як правило, зазнають значного антропогенного впливу. Їхні заплави осушені, русла прямолінійні, береги забудовані та часто вкриті залізобетонними плитами. Деякі невеликі річки повністю вкриті залізобетонними коробами, які приймають дощову та стічну воду. Прикладом є річка Либідь у центрі Києва, яка фактично перетворилася на колектор для зливових і стічних вод міста.

«Колись Либідь протікала по околиці міста і служила своєрідною межею. У літописах згадується, що вона була повноводною, а її водний потік формували численні притоки – Блазень, Китаївський, Хрещатик, Старий, Совка, Утішний, Шулявка, Протасов Яр, Клов та інші. Річку в кількох місцях перекидали, через що на старих картах позначені невеликі озера і ставки. Сьогодні деякі з приток давно зникли, інші заховані у підземні колектори, а постійний потік зберігає лише притока Совка. «Либідь є правим притокою Дніпра, протікає південно-західною частиною Києва, її довжина становить 17,1 км, а площа басейну — 67,8 км²» [6].

Русло річки Либідь спрямоване і заховане в залізобетонний колектор у вигляді прямокутного лотка шириною від 0,5 до 4 метрів. Природне річкове русло зберіглося лише на ділянці від залізничної станції «Київ-Московський» до перетину з Наддніпрянським шосе поблизу станції метро «Видубичі». Потік води Либіді до вулиці Вічової формується переважно за рахунок дренажних вод і поповнюється водами невеликого струмка, промисловими стоками меблевої фабрики «Лагода» та господарсько-побутовими стоками зі зливної станції № 3. Русло проходить через територію залізничного депо, мийних автотранспортних станцій, теплоелектроцентралі та інших промислових об'єктів. У районі площі «Либідська» в річку впадають води річки Совка. Від площі до гирла основним джерелом води є злизові стоки. Вода Либіді має каламутний вигляд і містить значну кількість завислих часток, характерних для зливових та стічних вод. Швидкість течії в середній частині річки становить 0,5–0,6 м/с, а в гирлі – 0,3–0,4 м/с. Орієнтовний об'єм води в гирлі залежить від опадів і обсягів скиду стічних вод і коливається в межах 0,8–2,5 м³/с. В нижній течії річки накопичуються всі забруднення, що надходять із міста, через що екологічний стан цього району найбільш яскраво відображає вплив поверхневих стоків правобережної центральної частини Києва на забруднення річки Дніпро. За інформацією з «Національної доповіді про стан навколишнього природного середовища в Україні» (2021 рік), щорічно у басейн річки Дніпро скидається близько 256,6 млн м³ забруднених стічних вод, значну частку яких складають стоки річки Либідь.

4.1 Особливості хімічного складу води річки Либідь

«Показники складу та якості води в низов'ї річки Либідь за даними за 2021 рік, мали значні коливання, що в основному залежало від складу та обсягу стічних та інших зворотних вод, які потрапляли у річку. Значний діапазон змін визначених параметрів спостерігався не лише між сезонами, а

й у різні місяці та окремі дні (табл. 3.1). Вміст розчиненого кисню варіювала від 5,12 до 8,12 мг $O_2/\text{дм}^3$, що було достатнім для підтримки хімічних і біохімічних процесів окислення. Вміст органічних речовин, який визначали за допомогою показників перманганатного та біхроматного окислення, а також за значенням $BCK_{\text{повн}}$, змінювався у різні періоди. Величина $BCK_{\text{повн}}$ коливалась у межах 6,87–18,7 мг $O_2/\text{дм}^3$, а біхроматного окислення – від 23,6 до 64,8 мг $O_2/\text{дм}^3$. «Ці значення відповідали приблизно 2,5 та 6,2 гранично допустимим концентраціям (ГДК) для питних поверхневих вод, але 3 ГДК для водойм, призначених для рекреації» [8].

Хімічні показники якості річкової води низов'я р. Либідь у 2021 р. варіювали в широких межах і залежали значною мірою від складу й обсягу зливових і стічних вод, що скидаються в річку. Широкий діапазон змін досліджуваних параметрів було відзначено не тільки в різні сезони, але й в окремі місяці і дні (див. табл. 3.1).

«Вміст розчиненого кисню коливався в межах 5,12 – 8,12 мг $O_2/\text{дм}^3$, що цілком достатньо для забезпечення хімічних і біохімічних реакцій окислення. Вміст органічної речовини і $BCK_{\text{повн}}$, варіював в різні періоди. Величина $BCK_{\text{повн}}$ змінювалася в межах 6,87 – 18,7 мг $O_2/\text{дм}^3$, біхроматного окислення — у межах 23,6 – 64,8 мг $O_2/\text{дм}^3$. Зазначені величини складали відповідно 2,5 для поверхневих вод питного призначення, але 3 ГДК для поверхневих водних об'єктів рекреаційного призначення» [8].

Вміст окремих важких металів (*Pb*, *Zn*, *Cu*, *Cr*) була набагато нижче значення їх ГДК для питних вод, вміст кадмію (*Cd*), як правило, найчастіше перевищував значення ГДК у 2 – 3 рази. Варто зазначити, що вміст *Pb* та *Ni* у концентрації до 10 мкг/дм³, а також *Cu*, *Zn* і *Mn* – до 25 мкг/дм³ практично не пригнічують продукційно-деструкційні процеси у водоймі. Вміст цих металів річкових водах низов'ї річки Либідь у попередні роки при працюючій промисловості міста був набагато вище, ніж у 1998 р.: *Pb* – у середньому в 4, *Cd* – у 6, *Zn* у – у 2 і *Cr* – у 4,5 рази перевищував значення ГДК. В той же час концентрації *Zn*, *Cr* і *Zn* не перевищували їх

значення *ГДК* для водних об'єктів питного водопостачання, але концентрації *Cd* і *Pb* перевищували значення *ГДК* складало відповідно 10 і 2,7 рази.

З урахуванням показників забруднення річки Либідь в 2021 р. і кисневого еквівалента розраховано, що з річним стоком річки в Дніпро скидалося в середньому 3,15 тис. т органічних речовин, у тому числі 0,94 тис. т у формі, що легко окислюються, тобто більш токсичних.

4.2 Особливості мікробіологічного складу води річки Либідь

Варто зазначити, що чисельність бактеріопланктону по всій довжині колектора річки Либідь була досить високою. Його ділянка від вул. Вічової, де знаходиться каналізаційна зливна станція № 3, до площі Либідська проходить через території ряду промислових підприємств. Дані щодо мікробіологічного складу наведені в табл. 4.2.

4.3 Особливості трансформація органічних речовин у річковій воді

Внаслідок високої концентрації органічних речовин у воді низов'я річки Либідь, особливу значення мають процеси їх біохімічні трансформації. У нижній течії річки зафіксовано вміст легкодоступних форм органічних речовин у межах 21,7–37,9%, а також значну кількість мікроорганізмів, які активно беруть участь у їх розкладанні (табл. 3.3). При температурі води 17,5–21,5 °С добове розкладання органічних речовин становило 2,02–3,12 мг $O_2/дм^3$, що еквівалентно 21,3–43,1% від вмісту легко-засвоюваних органічних компонентів та 4,6–11,3 % від загальної кількості органічних речовин.

У морфологічному складі бактеріопланктону води річки Либідь домінують паличковидні форми (до 74 %), що характерно для забруднених поверхневих водоймищ.

Вода р. Либідь містить значну кількість зростаючих на багатому живильному середовищі гетеротрофних бактерій, що можуть певною мірою слугувати показниками достатньої кількості у воді легкозасвоюваної органічної речовини (табл. 4.2).

Таблиця 4.1 – Хімічні показники якості води низов'я річки Либідь

Дата відбору проб (2021 р.)	Темпе- ратура води, °С	O_2 , мг/дм ³	ПО, мг/дм ³	БО, мг/дм ³	$BCK_{повн}$, мг/дм ³	NH_4^+ , мг/дм ³	NO_2^- , мг/ дм ³	NO_3^- , мг/ дм ³	HCO_3^- , мг/дм ³	Cl^- , мг/дм ³	Ca^{2+} , мг/дм ³	Pb^- , мкг/дм ³	Cd^- , мкг/дм ³	Zn^- , мкг/дм ³	Cr^- , мкг/дм ³	Cu^- , мкг/дм ³
05.05	20,0	6,46	10,8	23,6	8,82	0,40	0,22	0,32	256	54,4	96	25	2	87	28	21
02.06	19,0	5,40	20,8	46,5	10,1	0,35	0,11	0,24	244	57,8	94	20	3	65	16	18
03.07	19,5	8,10	12,2	29,1	6,86	0,85	0,05	0,60	252	49,8	88	14	2	25	22	45
01.07	20,8	7,64	11,2	26,8	9,12	0,64	0,15	0,30	248	66,2	101	23	2	30	20	44
04.08	21,5	7,15	18,0	41,6	14,6	0,88	0,11	0,41	261	52,4	94	16	1	60	16	22
16.08	21,0	6,50	22,0	47,0	12,4	0,94	0,18	0,76	240	60,2	102	24	3	73	18	16
01.09	17,5	5,12	20,5	49,4	18,7	0,87	0,24	0,67	256	50,4	104	23	0,1	16	20	22
21.10	16,5	6,40	24,6	46,6	14,6	0,64	0,18	0,60	260	64,8	98	24	0,1	22	16	31
05.11	10,2	8,12	12,4	64,8	16,4	0,44	0,20	0,30	262	50,0	98	18	1	32	16	44

Таблиця 4.2 – Чисельність санітарно-показових мікроорганізмів у
низів'ї річки Либідь

Дата відбору проб (2021 р.)	Гетеротрофні бактерії, тис. кл/мл			Індекс троф- ності	Кишкова паличка, тис. кл/дм ³	Сальмонели, тис. кл/дм ³
	РПА (37°C)	РПА (23°C)	РПА 1:10			
05.09	52	74	89	1,2	200	52
02.06	33	50	120	2,4	130	24
03.07	310	280	504	1,8	1200	140
01.08	120	164	280	1,2	900	64
04.08	264	210	484	1,2	1100	98
16.08	248	320	390	2,1	2200	120
01.09	184	97	156	1,2	1800	110
21.10	147	120	257	2,1	1500	46
05.11	176	230	322	1,4	800	80

В період проведення досліджень чисельність гетеротрофних бактерій, облічених при 23 °С, коливалася в межах 50 – 320 тис. кл./мл, що характерно для дуже забруднених вод. Їх чисельність залежала від ступеня забруднення побутових, зливових і промислових вод, що скидаються в річку Либідь.

У річковій воді низов'я Либіді виявлено велику кількість мікроорганізмів алохтонного походження, які існують при температурі 37 °С, чисельність яких складала 33 – 310 тис. кл/мл. Серед них були присутні умовно-патогенні і патогенні мікроорганізми. Слід зазначити, що мікроорганізми, що розвиваються при температурі 37 °С, характерні для вод, забруднених побутовими стоками. Співвідношення між кількістю бактерій, які існують при 37 і 23 °С, варіювало в межах 66 – 189 % (у середньому 102 %), в той час як у чистих річкових водах це співвідношення складає кілька відсотків.

Вода низов'я Либіді містить значну кількість ентеробактерій, що є наслідками скиду у колектор річки стічних вод господарсько-побутового походження. У період проведення досліджень вміст бактерій групи кишкової палички коливався в межах 130 – 2200 тис. кл/дм³, тобто перевищував значення ГДК для поверхневих водних об'єктів рекреаційного призначення у 20 – 140 разів. Чисельність сальмонел складала 24 – 140 тис. кл/дм³, що є негативною ознакою, оскільки слід нагадати, що усі види сальмонел (*Salmonella*) є патогенними.

Інтенсивність біохімічного розкладу органічних речовин у водах в нижній частині річки Либідь перевищувала відповідний показник у затоки Дніпра, куди вона впадає, у 3,3 рази. Для порівняння, у затоки Дніпра частка легкодоступних органічних компонентів становила приблизно 14% від загальної кількості органічних речовин. Добові значення деструкції повного біохімічного споживання кисню (БСК_{повн}) і чисельність бактеріопланктону (табл. 4.3) свідчать про високу продуктивність водотоку, де процеси самоочищення протікають з великою інтенсивністю. Тривалість розпаду органічних речовин у нижній течії Либіді при температурі 19,0–21,5 °С становила 2,3–4,6 доби, тоді як у водах Дніпра цей процес відбувається повільніше — в середньому протягом 7–9 діб.

У зв'язку з тим, що вода в Либіді характеризується великою кількістю органічних речовин, особливий інтерес представляють можливості біохімічних процесів їх трансформації в річковій воді

Вода низов'я р. Либідь містить від 21,7 до 37,9 % легкозасвоюваних форм органічних речовин, а також велику кількість мікроорганізмів, що забезпечують їх інтенсивну деструкцію (див. табл. 4.3). При температурі води 17,5 – 21,5 °С добова деструкція органічних речовин дорівнює 2,02 – 3,12 мг $O_2/дм^3$, або 21,3 – 43,1 % вмісту органічних речовин, що легко окислюються, і 4,6 – 11,3 % загального змісту органічних речовин. Процеси біохімічної деструкції в водах низов'я річки Либідь в 3,3 рази вище, ніж у затоки Дніпра, в яку вона впадає, де частка легкозасвоюваних органічних речовин від загального їх вмісту складає близько 14 %. Добові значення $BCK_{повн}$ і чисельності бактеріопланктону (див. табл. 4.4) характеризують досліджуваний водотік як досить продуктивний, в якому процеси самоочищення йдуть з досить великою швидкістю. Розпад органічних речовин у водах низов'я річки Либідь при температурі води 19,0 – 21,5 °С відбувався протягом 2,3 – 4,6 діб, в той час, як розрахунки показують, що у воді Дніпра процес розпаду органічних речовин продовжується більш тривалий час, у середньому 7 – 9 діб. При зниженні температури води в річки Либідь з 17,5 до 10,0 °С інтенсивність розкладу органіки зменшувалася і при температурі 10,2 °С складала вже 37,2 доби. Інтенсивний розпад органічних домішок у водах річки Либідь обумовлений високою функціональною активністю її бактеріопланктону.

Слід зазначити, що гетеротрофна активність бактеріопланктону при температурі води 19 – 21,5 °С складала $0,33 - 0,48 \cdot 10^{-9}$ мг $O_2/кл \cdot доб$, у середньому – $0,42 \cdot 10^{-9}$, у той час як у р. Дніпро – у середньому $0,23 \cdot 10^{-9}$ мг $O_2/кл \cdot доб$. При зниженні температури води цей показник також знижувався і при 10,2 °С дорівнював лише $0,05 \cdot 10^{-9}$ мг $O_2/кл \cdot доб$, тобто зменшувався в середньому в 8,5 разів, хоча чисельність мікробів була на досить високому рівні.

Таким чином, висока гетеротрофна активність мікрофлори води річки Либіді, що обумовлює велику швидкість розпаду органічних речовин, свідчить про те, що вода річки характеризується значною концентрацією легкозасвоюваних органічних домішок і не містить інгредієнтів, токсичних для мікроорганізмів.

4.4 Оцінка якості води

Загальне забруднення річкових вод пов'язано зі зміною фізико-хімічних властивостей водних об'єктів, а також складу гідробіонтів. Усі фізико-хімічні, мікробіологічні та біологічні процеси у поверхневих водних об'єктах тісно пов'язані між собою, а це можливість характеризувати ступінь забруднення водних об'єктів на основі екологічного взаємозв'язку гідробіонтів з навколишнім середовищем – за сапробністю, тобто комплексом фізіологічних властивостей даного гідро біонту і його здатністю розвиватися залежно від концентрації органічних речовин і ступеня забруднення води.

. Загальне забруднення характеризується зміною фізичних властивостей водних об'єктів, хімічного складу води и гідробіонтів. Усі процеси, як фізичні й хімічні, так і мікробіологічні й біологічні, у водних об'єктах тісно пов'язані між собою. Це дає змогу характеризувати ступінь забруднення водойми на основі екологічного взаємозв'язку організмів з навколишнім середовищем – за сапробністю водойми, тобто комплексом фізіологічних властивостей даного організму і його здатністю розвиватися залежно від вмісту органічних речовин і ступеня забруднення.

Таблиця 4.3– Трансформація сполук азоту мікроорганізмами у воді річки Либідь

Дата відбору проб (2021 р.)	Чисельність мікроорганізмів, тис. кл/мл			Концентрація азоту, мг N/л								
	амоніфікатори	нітрифікатори 1 фази	денітрифікатори	вихідна			через добу			зміни		
				NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-
02.06	4,6	0,6	0,02	0,47	0,11	0,24	0,28	0,18	0,34	-0,19	+0,08	+0,10
03.07	30,8	2,4	0,06	0,85	0,51	0,60	0,62	0,42	0,90	-0,23	-0,18	+0,30
01.08	23,0	1,8	0,06	0,64	0,15	0,30	0,46	немає	0,55	-0,18	-0,15	+0,25
01.09	9,8	2,8	0,09	0,87	немає	0,67	0,54	0,05	0,88	-0,33	+0,05	+0,21
21.10	19,3	0,8	0,01	0,64	немає	0,60	0,52	немає	0,70	-0,12	—	+0,10
05.11	20,8	0,06	Немає	0,44	0,05	0,30	0,44	0,08	0,25	—	+0,03	-0,05

Таблиця 4.4 – Деструкція органічних речовин у воді низов'я р. Либідь

Дата відбору проб (2021 р.)	Температура води, °С	Частка легко окислюваної коспонентів від загальної ОР, %	Добова деструкція, мг O_2 /доб	Розклад ОР, % від загального вмісту на добу	Тривалість розкладу органічної, речовини, доб	Загальна кількість бактерій, млн. кл/мл	Гетеротрофна активність, $\cdot 10^{-9}$ мг O_2 /кл•доб
05.05	20,0	37,3	2,64	11,2	3,34	5,44	0,48
02.06	19,0	21,7	2,16	4,6	4,68	4,88	0,44
03.07	19,5	23,5	2,96	10,1	2,31	7,02	0,42
01.08	20,8	34,0	2,80	10,4	3,2	6,22	0,45
04.08	21,5	35,0	3,12	7,6	4,6	7,15	0,43
16.08	21,0	26,3	3,03	6,4	4,09	9,0	0,33
01.09	17,5	37,9	2,02	4,8	9,2	8,39	0,24
21.10	16,5	31,3	1,16	2,5	12,5	6,14	0,18
05.11	10,2	25,3	0,44	0,6	37,2	8,24	0,05

«На показниках хімічного складу ґрунтується оцінка якості води за індексом забруднення води (*ІЗВ*). «Розрахунок *ІЗВ* для поверхневих вод виконується лише за певної кількості інгредієнтів (за результатами аналізів по кожному з показників вираховується середнє арифметичне значення; кількість аналізів для визначення середнього повинна бути не менше шести)» [16]:

$$ІЗВ = \sum (C \cdot ГДК) / n, \quad (4.1)$$

де *ГДК* – гранично допустима концентрація хімічного компонента;

C – фактична концентрація хімічного компонента;

n – кількість інгредієнтів» [16].

Причому «для поверхневих вод кількість показників повинна обов'язково включати розчинений O_2 та $БСК_5$. Для морських вод кількість показників має обов'язково включати розчинений O_2 ». Критерії оцінки якості вод за *ІЗВ* наведені у табл. 4.5.

Таблиця 4.5– Критерії оцінки якості вод за *ІЗВ* [17]

Клас якості води	Текстовий опис	Величина <i>ІЗВ</i>
<i>Для поверхневих вод суші</i>		
I	Дуже чиста	$\leq 0,3$
II	Чиста	$> 0,3 - 1$
III	Помірно забруднена	$> 1 - 2,5$
IV	Забруднена	$> 2,5 - 4$
V	Брудна	$> 4 - 6$
VI	Дуже брудна	$> 6 - 10$
VII	Надзвичайно брудна	> 10
<i>Для морських вод</i>		
I	Дуже чиста	0,25
II	Чиста	$> 0,25 - 0,75$
III	Помірно забруднена	$> 0,75 - 1,25$
IV	Забруднена	$> 1,25 - 1,75$
V	Брудна	$> 1,75 - 3$
VI	Дуже брудна	$> 3 - 5$
VII	Надзвичайно брудна	> 5

Екологічна оцінка якості поверхневих вод суші та естуаріїв є складовою частиною нормативної бази для комплексної характеристики стану природного середовища України (стосовно гідросфери). «Екологічна оцінка якості вод – віднесення вод до певного класу і категорії згідно з екологічною класифікацією на підставі аналізу значень показників (критеріїв) її складу і властивостей з послідовним їх обчисленням та інтегруванням» [17].

«Екологічна класифікація якості поверхневих вод суші та естуаріїв України побудована за екосистемним принципом. Вона включає три групи спеціалізованих класифікацій, а саме: 1) за критеріями сольового складу; 2) за трофо-сапробіологічними (еколого-санітарними) критеріями (сапробність – рівень вмісту у воді органічних речовин, що розкладаються; вона може визначатися за характеристиками видового складу і чисельності гідробіонтів-індикаторів; трофність – ступінь біологічної продуктивності водних екосистем, який визначається вмістом у воді фосфору, азоту і інших біогенів та комплексом гідрологічних, гідрохімічних, гідробіологічних і інших факторів); 3) за критеріями вмісту специфічних речовин токсичної і радіаційної дії, а також за рівнем токсичності. Назви надані класам і категоріям якості вод за ступенем їх чистоти (забрудненості): I – дуже чисті, II – чисті, III – забруднені, IV – брудні, V – дуже брудні» [17].

Результати досліджень свідчать про те, що низов'я річки Либідь піддана інтенсивному антропогенному забрудненню за рахунок скидання дощових, зливових та господарсько-побутовими стічних вод. Незважаючи на високу деструктивну активність бактерій, еколого-санітарна оцінка якості води низов'я р. Либідь дозволяє характеризувати її практично по всіх показниках як брудну (табл. 4.6).

Таблиця 4.6 – Оцінка якості води низов'я р. Либідь

Показники	Концентрація	Якість води	
		класи*	категорії
Кисень, мг О ₂ /дм ³	5,12 – 8,12	III – I	Помірно забруднена – дуже чиста
	6,76	III	Слабко забруднена
Перманганатне окислення, мг О ₂ /дм ³	10,8 – 24,6	III – V	Помірно забруднена – дуже брудна
	16,9	IV	Брудна
Біхроматне окислення, мг О/ дм ³	23,6 – 64,8	II – VII	Достатньо чиста – дуже брудна
	41,7	IV	Брудна
Азот амонійний, мг/дм ³	0,35 – 0,94	III	Слабко забруднена – помірно забруднена
	0,66	III	Помірно забруднена
Азот нітритний, мг/дм ³	0,05 – 0,24	III – VII	Помірно забруднена – дуже брудна
	0,16	VII	Дуже брудна
Азот нітратний, мг/дм ³	0,24 – 0,76	II – III	Чиста – помірно забруднена
	0,46	II	Достатньо чиста
Кадмій, мкг/дм ³	0,1 – 3,0	II – IV	Чиста – брудна
	1,5	III	Помірно забруднена
Свинець, мкг/дм ³	14,0 – 25,0	III	Слабко забруднена – помірно забруднена
	21,0	III	Помірно забруднена
Цинк, мкг/дм ³	16,0 – 87,0	II – III	Достатньо чиста – помірно забруднена
	45,5	III	Слабко забруднена
Хром загальний, мкг/дм ³	16,0 – 28,0	III – IV	Помірно забруднена – брудна
	19,1	III	Помірно забруднена
Мідь, мкг/дм ³	16,0 – 45,0	III – IV	Помірно забруднена – брудна
	29,2	IV	Брудна
Бактеріопланктон, млн. кл/дм ³	4,0 – 9,2	III – IV	Слабко забруднена – брудна
	6,2	III	Помірно забруднена
Сапрофітні бактерії, тис. кл/дм ³	50 – 320	IV – V	Брудна – дуже брудна
	171	V	Дуже брудна

Примітка: *визначали за середніми показниками

За чисельністю гетеротрофних бактерій, вмісту нітритів і органічних речовин вона відноситься до *категорії дуже забруднених вод*. Особливо слід зазначити наявність у воді патогенних ентеробактерій – сальмонел, що

викликає спалахи небезпечних кишкових інфекцій. Це робить воду Либіді особливо небезпечною, оскільки вона тече по центру Києва, а район її впадання в Дніпро використовується для рекреації.

5 МОЖЛИВОСТІ РЕГУЛЮВАННЯ ПОВЕРХНЕВОГО СТОКУ З УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ

Інтенсивність процесу забруднення вод Дніпра можна значно зменшити шляхом регулювання поверхневого стоку урбанізованих територій можливо через зменшення швидкості течії поверхневого стоку забруднених вод на окремих його ділянках з метою збільшення ефективності процесів

трансформації і знешкодження забруднюючих речовин, зокрема органічних речовин.

Відомо, що найбільш екологічно-небезпечним для забруднення ділянок Дніпра є пряме скидання в русло неочищених промислових і комунально-побутових стоків, кількість яких щорічно зростає. При цьому, екологічна ємність Дніпра та здатність до самоочищення практично вже вичерпана, про що свідчить тенденція до збільшення мінералізації води, зниження рівня кисню у воді та зменшення продуктивності промислової риби. З року в рік в усіх водосховищах Дніпра концентрація фенолів у 4 – 15 разів перевищує ГДК, вміст нітратів перевищує ГДК у 50 – 140 разів тощо. З урахуванням цієї ситуації, пропонується розробка таких режимів скидання до Дніпра і його приток стічних вод, які б дозволили мінімізувати забруднення води як в Дніпрі, так і забруднення вод на всій площі водозбору урбанізованих територій.

При цьому слід урахувати, що не кожен поверхневий водний об'єкт або система мають такі характеристики, які дають можливість управляти процесами формування якості води. Відомо, що параметри управління якістю води з'являються у тому випадку, коли можна змінювати різні характеристики процесу формування якості води і зменшувати інтенсивність забруднення, змінювати морфометричні параметри басейнів самоочищення та інші характеристики.

При формуванні режиму очищення поверхневих вод з урбанізованих територій одним із важливих параметрів управління може бути можливість зміни швидкості надходження неочищених і недоочищених стоків різного походження з урбанізованої території до Дніпра. Швидкість надходження може бути основним параметром управління, якщо мережа поверхневого стоку містить певні резервні ємності, а саме водні басейни самоочищення, які дають змогу зменшити швидкість течії стоків і тим самим збільшити час біохімічної трансформації забруднювальних речовин. В таких резервних водних басейнах можуть відбуватись всі такі процеси самоочищення стоків:

змішування, седиментація, хімічне окислення та біохімічна трансформація і т.д..

Доцільно весь поверхневий стік на промислово-селітебної частини урбанізованої території повинен спрямувати через мережу водостоків, які на рис. 5.1 показані стрілками, і басейнів самоочищення стічних вод, які на рис.5.1 показані прямокутниками. Така мережа дозволити регулювати як інтенсивність, так і якість поверхневого водного стоку з урбанізованих територій.

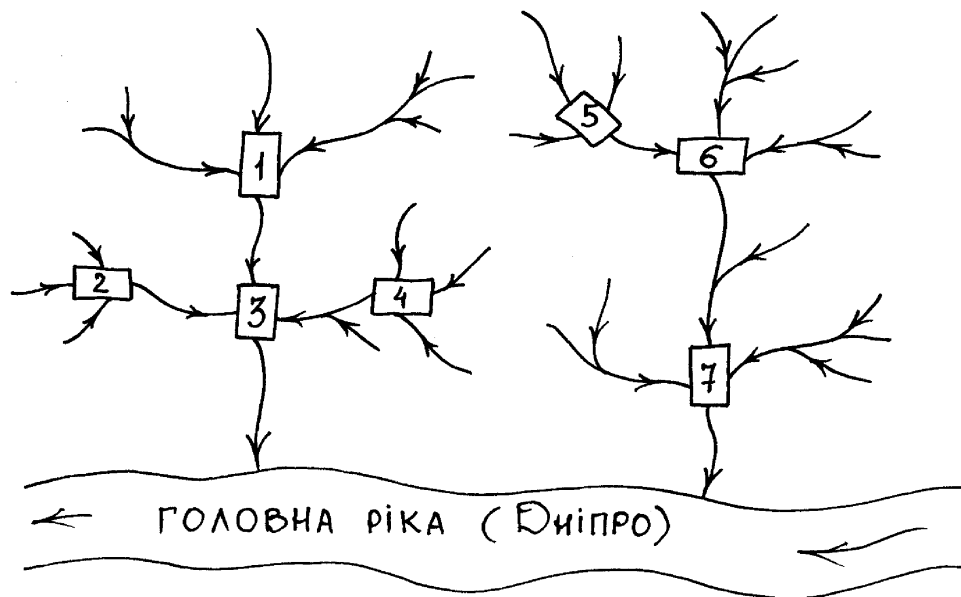


Рисунок 5.1 – Схема мережі водних об'єктів, через які рекомендується здійснювати поверхневий стік

Так званий «резервний басейн» може бути прямоочною очисною спорудою у вигляді прямокутника. У цей «резервуарний басейн» може потрапляти забруднені стічні води, де забруднювальні речовини можуть трансформуються в екологічно-небезпечні утворення. Найбільш екологічно-небезпечні органічні речовини за допомогою мікроорганізмів можуть перетворюються в неорганічні речовини, які або осідають на дні реактора, або засвоюються фітопланктоном та іншими гідробіонтами, тобто здійснюватися біологічне очищення забруднених стічних вод. При цьому

швидкість біологічного очищення стічних вод буде залежить як від кількості біомаси мікроорганізмів, а також від концентрації забруднювальних речовин у стічних водах, що, в свою чергу, може впливає на біомасу мікроорганізмів. Якщо в біореакторі процес стабілізується, то концентрація забруднювальних речовин у резервуарі не змінюватиметься протягом всього часу технологічного процесу. Проте вздовж резервуара в напрямку руху води концентрація забруднювальних речовин зменшується, і на виході з резервуара вона стає мінімальною. Отже, чим більший час забруднені води будуть знаходитися у біореакторі, тим буде вище їх рівень очищення. У зв'язку з цим доцільно необхідність оптимізації розмірів резервуара та швидкості води в ньому, щоб концентрація забруднювальних речовин на виході не перевищувала заданої гранично допустимої.

На прикладі річки Либідь можна розрахувати оптимальні розміри резервного басейну самоочищення у гирлі річки Дніпра та проаналізувати його ефективність за допомогою імітаційної математичної моделі.

Витрата води у резервуарі повинна дорівнювати витраті у річки Либідь, але швидкість течії в резервуарі повинна бути меншою. Цього можна досягти шляхом збільшення поперечного перерізу резервуара.

Швидкість течії води (v) річки Либідь у її гирлі дорівнює 0,3 м/с; її ширина (d) дорівнює 4 м; глибина (h) – 1 м; поперечний переріз (s) – 4 м². Таким чином витрата води (q) становить:

$$q = v \cdot s = 0,3 \text{ м/с} \cdot 4 \text{ м}^2 = 1,2 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (5.1)$$

Для уповільнення течії в 10 разів треба відповідно збільшити поперечний переріз резервуара в стільки ж разів. Припустимо, що ширина резервуара (D) дорівнюватиме 8 м, а його глибина (H) – 5 м, тобто поперечний переріз (S) дорівнюватиме 40 м². Тоді швидкість течії (V) при незмінній швидкості витрати води (q) відповідно становитиме:

$$V = \frac{q}{S} = \frac{1,2 \text{ м}^3/\text{с}}{40 \text{ м}^2} = 0,03 \text{ м/с}. \quad (5.2)$$

Враховуючи, що повна деструкція відбувається протягом 2 діб, необхідно, щоб забруднена вода шлях від початку до кінця резервуара пройшла за такий час (t). Тобто за довжину резервуара (L) слід брати:

$$L = t * V = 17280 \text{ с} * 0,03 \text{ м/с} = 518,4 \text{ м.} \quad (5.3)$$

Наскільки ефективним буде резервуар, що має такі розміри, можна перевірити за допомогою імітаційної математичної моделі, яка враховує процеси змішування і трансформації забруднених вод.

Зміна концентрації забруднень у стічних водах описується таким рівнянням [9]:

$$c(t) = c_{ct} \exp \left\{ \gamma_{\max} \left[\mu \left(1 - e^{-\frac{t}{\mu}} \right) - t \right] \right\}, \quad t = \frac{L}{V}, \quad (5.4)$$

де c_{ct} – концентрація ЗР на вході у біореактор;

γ_{\max} – константа швидкості трансформації речовини;

μ – константа верифікації моделі;

t – час у добі.

Після верифікації модель набуває такого вигляду:

$$c(t) = c_{ct} \exp \left\{ 0,4 \left[50 \left(1 - \exp \left(\frac{-L}{50V} \right) \right) - \frac{L}{V} \right] \right\}. \quad (5.5)$$

За допомогою такої моделі можна дати аналіз роботи біореактора по очищенню забруднених вод, тобто при різних довжинах біореактора та різних швидкостях течії в ньому.

Таблиця 5.1 – Результати чисельного експерименту*

$L, \text{ м}$	$V, \text{ м/с}$	$c(t), \text{ мг/дм}^3$
518	0,03	0,022
	0,05	0,219
	0,1	0,503

$L, \text{ м}$	$V, \text{ м/с}$	$c(t), \text{ мг/дм}^3$
0,03	400	0,092
	250	0,463
	100	0,637

Примітка: відносно амонійного азоту при $C_{cm} = 0,94 \text{ мг/дм}^3$.

Результати чисельного експерименту свідчать, що концентрація ЗР на виході з резервуара цілком задовольняє встановленим рівням ГДК.

Перевагами такого резервуара є його ефективність та економічність, а недоліками є великі розміри та важкість збору осаду.

Звичайно, такий біореактор має значно зменшити внесок забруднених поверхневими стоками вод річки Либідь у забруднення вод Дніпра, але для реабілітації самої річки Либідь необхідно створити подібні резервуари в місцях потрапляння брудних поверхневих стоків у річку

Стічні води з урбанізованих територій значно впливають на погіршення якості води водойм. Ступінь забруднення цієї категорії вод залежить від низки факторів: географічного розташування, кліматичних умов, інтенсивності та тривалості випадання атмосферних опадів, забрудненості повітряного басейну, санітарного стану басейну водозбору, виду поверхневих покриттів територій; наявності поблизу промислових зон, автомобільних доріг та обсягу транспортних навантажень. Як було зазначено вище, основними інгредієнтами, що забруднюють води з урбанізованих територій, є завислі речовини, нафтопродукти, синтетичні поверхнево-активні речовини (СПАР), сполуки азоту, солі важких металів. Нафта і нафтопродукти потрапляючи у водоймища створюють різні форми забруднень: нафтову плівку, що плаває на поверхні води, розчинені або емульговані у воді нафтопродукти, обложені на дно важкі фракції та інше. При цьому змінюється запах, смак, колір, поверхневий натяг, в'язкість води, зменшується кількість розчиненого в ній кисню, з'являються шкідливі органічні речовини, вода набуває токсичних властивостей і є загрозою не

тільки для гідробіонтів, але і для людини. Значну частину забруднення води вносять детергенти (миючі засоби). До їх складу як активна основа входять СПАР та різні добавки: лужні та нейтральні електроліти, речовини, що запобігають ресорбції поллютантів. Детергенти, потрапляючи у водні об'єкти, викликають спінювання, погіршують органолептичні властивості води, порушують процеси кисневого обміну, отруюють гідробіонти, турбують процеси біологічного окислення органічних речовин, перешкоджають біологічному очищенню стічних вод. Для запобігання негативному впливу на довкілля забруднених дощових вод необхідно використовувати локальні очисні споруди.

Щодо складу забруднених дощових та талих вод можна судити на прикладі розроблених компанією «Потенціал-4» очисних споруд у м. Києві та очищених з використанням технологій цієї компанії (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 – Склад дощових і талих вод (місто Київ)

Забруднювальні речовини	Одиниця вимірювання	Концентрація	
		Забруднені стоки	Очищені стоки
Зважені речовини	мг/дм ³	1000,0	12,0
Органічні речовини (за БПК ₅)	мгО ₂ /дм ³	100,0	15,0
Величина ХПК	мгО ₂ /дм ³	250,0	80,0
Нафтопродукти	мгО ₂ /дм ³	50,0	0,3
Азот амонійний	мгО ₂ /дм ³	6,0	2,0
Величина pH	Од.	7,5-8,0	6,5-8,5

Компанією «Потенціал» розроблені технології очищення стоків х урбанізованих територій (дощових і талих вод), принципова схема якої наводиться на рисунку 5.1.

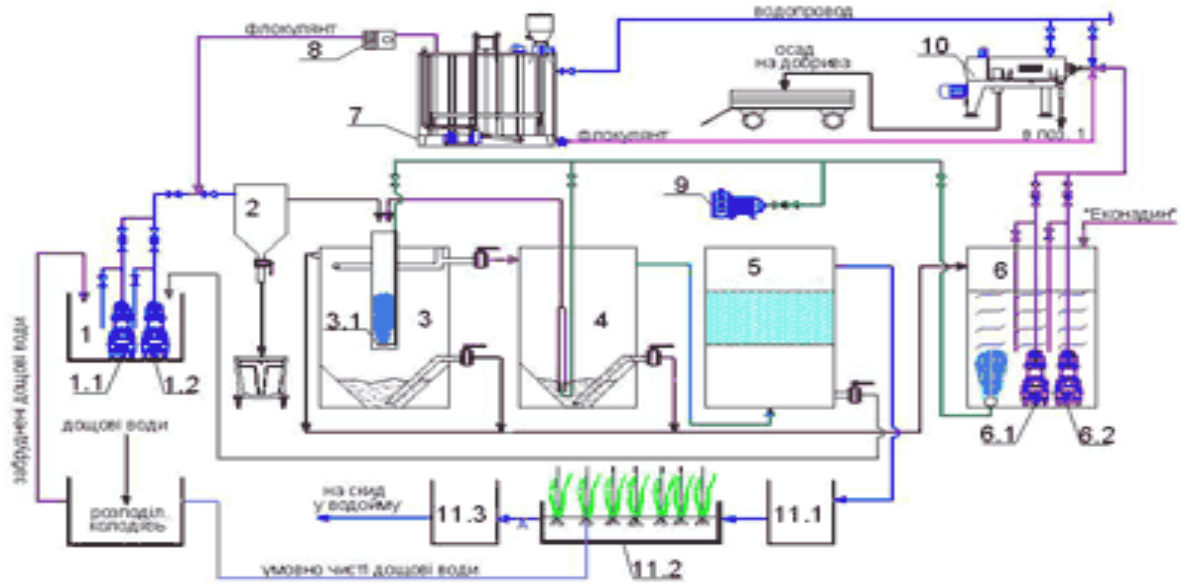


Рис. 5.1 – Принципова схема очищення дощових та талих вод [18]

1 – накопичувач забруднених дощових вод; 1.1, 1.2 – насоси з різальним робочим режимом; 2 – гідроциклон; 3 – флотатор «Флокфіл»; 3.1 – дисковий аератор; 4 – відстійник «Флокфіл»; 5 – фільтр «Флокфіл»; 6 – стабілізатор; 7 – полімерна станція Bargam 8 – насос – дозатор Etatron; 9 – повітрорудка Becker; 10 – декантер Bargam; 11.1 – розподільний колодязь біоплато; 11.2 – біоплато гідропонного типу; 11.3 – контрольний колодязь.

У стічних водах також містяться нерозчинені домішки органічного та мінерального походження. Перші мають невелику густину і добре транспортуються потоком води. Другі (пісок, бій скла, шлаки та ін.) мають значну щільність і транспортуються лише за певних швидкостей руху рідини. Тому найважливішою умовою проектування водовідвідних мереж є забезпечення в трубопроводах при розрахункових витратах необхідних швидкостей руху рідини, що виключають утворення щільних відкладень, що не змиваються. Для проведення гідравлічних розрахунків гофрованих двошарових труб КОРСІС можуть використовуватись гідравлічні формули, номограми та таблиці відповідно до вимог ДБН В.2.5-75:2013 "Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування." Розрахунок

самопливних трубопроводів полягає у визначенні їх діаметра, ухилу та параметрів роботи - наповнення та швидкості. Зазвичай вихідним до розрахунку є витрата, що визначається насамперед. Для розрахунку використовується формули:

$$g = w \cdot v \quad (5.6)$$

$$v = C \sqrt{Ri} \quad (5.7)$$

де g – витратний розрахунок, w – площа живого перерізу; C – коефіцієнт Шезі; $R = w/x$ – гідравлічний радіус; x – змочений периметр; $i = hl/L$ – ухил лотка; hl – падіння лотка за довжиною L .

В формулі Шезі гідравліческий уклон L равен уклону лотка i , так как рух води рівномірний

Для визначення коефіцієнту Шезі рекомендується формула Н. Н. Павловського (при $0,1 < R < 3 \text{ м}$)

$$C = R^y/n \quad (5.8)$$

где y – показник ступени, яка визначається за формулою :

$$y = 2.5 \sqrt{n} - 0,13 - 0,75 \sqrt{R} (\sqrt{R} (\sqrt{n} - 0,1)) \quad (5.9)$$

де n - коефіцієнт шероховатості, який залежить від стану стінок трубопроводу.

Для приблизних розрахунків можна використовувати такі формули:

$$y = 1.5 \sqrt{n} \text{ при } 0,1 < y < 2.5 \sqrt{n} - 0,13 - 0,75 \sqrt{R} (\sqrt{R} (\sqrt{n} - 0,1)) \quad (5.10)$$

$$- 0,13 - 0,75 \sqrt{R} (\sqrt{R} (\sqrt{n} - 0,1)) \quad (5.11)$$

Для визначення мінімального ухилу можна використовувати формулу:

$$I_{\min} = a_i / d \quad (5.12)$$

Де d - діаметр трубопровода, мм; a_i - коефіцієнт, який дорівнює:

1	при	d	=	500	мм,
1,1	при	d	=	600-800	мм,
1,3	при $d = 1000-1200$ мм.				

«Дощові та талі води з території водозбору збираються через дощеприймачі за системою дощової каналізації в розподільний колодязь, з якого забруднені дощові води (усі малі, середні та забруднені порції зливових дощів) надходять на локальні очисні споруди, представлені приймальною камерою-накопичувачами біоплато. Умовно чисті води надходять у водойму. Як видно з даних таблиці 5.2, для забруднених дощових стоків визначальними для вибору засобів їх очищення є завислі речовини, концентрація яких значно перевищує ГДК. Ці забруднення можуть бути віднесені до I групи дисперсності, які найбільш раціонально видаляються механічним очищенням (застосуванням гідроциклону). При цьому домішки II та III групи дисперсності, що контролюються БПК₅ та ХПК, видаляються на 15-25%»[18].

Для видалення домішок II групи доцільно використовувати флокулянт у флотаторі установки «Флокфіл», де також при насиченні води киснем відбувається коригування окисно-відновного потенціалу (Eh). У процесі флокуляції змінюється агрегатний стан забруднюючих домішок, проходить процес поділу фаз з видаленням їх у шлам та осад. Випливаючі речовини видаляються через переливний трубопровід, а завислі речовини з відстійної частини видаляються в стабілізатор осаду за допомогою ерліфтів.

«У відстійнику установки «Флокфіл» видаляються зважені дрібнодисперсні речовини III групи, які також надходять в стабілізатор.

Освітлені води надходять на фільтри доочищення установки «Флокфіл» із модифікованим завантаженням для очищення від залишкових концентрацій завислих речовин та нафтопродуктів.

Після механічного та фізико-хімічного очищення очищені води самопливом надходять на споруди доочищення біоплато гідропонного типу з вищими водними рослинами (очерет, очерет). У завантаження біоплато (митий щебінь) для інтенсифікації процесу біодеструкції органічних забруднень та розчинених нафтопродуктів вносяться препарати-деструктори «Еконадін» та «Трофойл» [18].

ВИСНОВКИ

За результатами проведених досліджень, можна зробити наступні висновки:

- стоки з урбанізованих територій України є одним із найбільш небезпечних джерел забруднення поверхневих водних об'єктів, однак у багатьох містах України вони без належного очищення скидається у поверхневі водні об'єкти і приводять до їх забруднення та погіршення якості вод, а тому оцінка мінімізації негативного впливу стоків з урбанізованих актуальною проблемою.

- для вишення цієї проблеми в роботі охарактеризовані уявлення про стічні води урбанізованих територій та методів їх оцінки, а також розглянуті

методичні підходи до оцінки стоку з цих територій і методи (шляхи) їх відведення;

- у розглянуто вплив стоку з урбанізованої території на прикладі міста Київ; зазначено що існуючі міські очисні споруди здійснюють очищення лише комунально-побутових і промислових стічних, в те час, яка поверхневі стоки з урбанізованої території, площею водозбору 292 км², відводяться мережею колекторів дощової каналізації через 41 випуск, з яких лише 5 обладнано очисними спорудами;

- еколого-санітарна оцінка якості води низов'я річки Либідь дозволяє характеризувати її практично по всіх показниках як брудну, незважаючи на високу деструктивну активність бактерій;

- запропоновано зменшити інтенсивність процесу забруднення вод Дніпра, регулюючи поверхневий стік урбанізованих територій шляхом зменшення швидкості течії забруднених вод на окремих ділянках з метою збільшення ефективності процесів трансформації і знешкодження забруднюючих речовин, зокрема токсичних органічних речовин;

- запропоновано весь стік з урбанізованої території спрямувати через мережу водостоків, а для зменшення розмірів очисних споруд і потужності встановленого там устаткування рекомендується влаштовувати перед очисними спорудами регулюючі резервуари;

- здійснено розрахунки параметрів резервного резервуара та проведено чисельний експеримент його ефективності за допомогою математичної моделі, що враховує процеси змішування та самоочищення забруднених вод. Отримані результати свідчать про доцільність застосування таких простих і надійних очисних споруд як регулюючі резервуари;

- у разі створення системи очищення стічних вод з урбанізованих територій сприятиме поліпшенню екологічних умов в Дніпрі, а також сприятиме і підвищенню якості річкових вод.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Директива Європейського парламенту та Ради 2007/60/ЄС від 23 жовтня 2007 р. щодо оцінки та управління ризиками, пов'язаними з повеннями. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_b29#Text (дата звернення: 27.05.2025 р).
2. Сафранов Т.А., Губанова О.Р., Лукашов Д.В. Еколого-економічні основи природокористування.: навчальний посібник. Львів «Новий світ», 2013. 350 с.
3. Results of National Urban Runoff Program. Final Report. Vol. I. NTIS PB 84-185552. Washington, V.S. Environmental Protection Agency. 1983.

4. Колотило Д.М. Екологія і економіка: навчальний посібник. К.: КНЕУ, 1999. 368 с.
5. Вовк Л.І., Трофимчук Ю.А. Порівняння об'ємів поверхневого стоку з типових мікрорайонів житлової забудови великих міст, визначених згідно з нормативними документами України. URL: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journalpaper/2019/feb/15625/181820-3-9.pdf> (дата звернення: 03.06.2025 р).
6. Зливові каналізації. Системи зливової каналізації. URL: https://gidrolica.ua/uk/content/42-livnevye-kanalizatsii-sistemy-livnevoy-kanalizatsii?srsId=AfmBOophcbPMbwII5_rSA3vus5YSJK4i2PvMJSZbRpzBPAАoaуHfbt (дата звернення: 30.05.2025 р).
7. Внутрішній водопровід та каналізація. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво ДБН В.2.5-64:2012. Київ: Мінрегіон України, 2013. 134 с.
8. Жук В.М., Матлай І.І. Розрахункова витрата дощових стічних вод для лінійних у плані басейнів стоку з постійним поздовжнім нахилом. URL: <https://ena.lpnu.ua:8443/server/api/core/bitstreams/781b8277-b052-435f-ba23-6c11ce0917b8/content> (дата звернення: 01.06.2025 р).
9. Методичні рекомендації із забезпечення ефективного відведення поверхневих вод. Наказ від 23 грудня 2010 року № 470. URL: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/pdf/pro_zatverdzhennya_metodichnikh_-3-292315.pdf (дата звернення: 03.06.2025 р.).
10. Сокур Е.С., Паламарчук Л.М. Оцінка поверхневого стоку з територій рівнинної України. URL: <https://elib.gsu.by/handle/123456789/38394> (дата звернення: 03.06.2025 р.).
11. Пеховка М.В. Водовідведення: навчальний посібник. URL: <https://mon.gov.ua/staticobjects/mon/sites/1/news/%D0%9D%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%BD%D0%B8/2020/04/28/1vodovidvedennya.pdf> (дата звернення: 04.06.2025 р.).

12. Гігієнічні нормативи якості води водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення. Наказ МОЗ України № 721 від 2.05.2022 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0524-22#Text> (дата звернення: 05.06.2025 р.).
13. Гігієнічні нормативи якості води водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення. Наказ МОЗ України № 721 від 2.05.2022 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0524-22#Text> (дата звернення: 05.06.2025 р.).
14. Либідь (річка). URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B8%D0%B1%D1%96%D0%B4%D1%8C_\(%D1%80%D1%96%D1%87%D0%BA%D0%B0\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B8%D0%B1%D1%96%D0%B4%D1%8C_(%D1%80%D1%96%D1%87%D0%BA%D0%B0)) (дата звернення: 20.05.2025 р.).
15. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2021 році. URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/01/Natsdopovid-2021-n.pdf> (дата звернення: 07.06.2025 р.).
16. Сніжко С.І. Оцінка та прогнозування якості природних вод. Київ: Ніка-Центр, 2001. 262 с.
17. Романенко В.Д., Жулинський В.М., Оксіюк О.П., Яцик А.В., Чернявська А.П., Масенко О.Г., Верниченко Г.А., Лаврик В.І., Гриб Й.В. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями. Київ: СИМВОЛ-Т, 1998. 28 с.
18. Характеристика поверхневого стоку з урбанізованих територій та його вплив на стан водних об'єктів і екологічну ситуацію. URL: <https://potential4.com.ua/ua/statti/harakteristika-poverhnevogo-stoku.html> (дата звернення: 07.06.2025 р.).