МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

КАФЕДРА МІСЬКОГО БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавра

на тему: «**ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ З ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В МІСЬКОМУ ВОДОВІДВЕДЕННІ»**

Виконав: студент 4 курсу, група 6.1922-мім-с
спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія
освітньо-професійної програми «Міські інженерні мережі»
ЗІНЧЕНКО ВІКТОР ВОЛОДИМИРОВИЧ

Керівник: доцент кафедри міського будівництва
і архітектури, канд. техн. наук В.О.Савін

Рецензент: професор кафедри промислового та цивільного будівництва,
докт. техн. наук В.А. Банах

Запоріжжя
2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні

Кафедра міського будівництва і архітектури
Рівень вищої освіти бакалавр
Спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія
Освітньо-професійна програма міські інженерні мережі

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

«26» 12 2024 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Зінченко Віктору Володимировичу
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Технологічні рішення з підвищення рівня екологічної безпеки в міському водовідведенні
затверджено наказом ЗНУ від «26» грудня 2024 року № 2028-с
2. Строк подання роботи: *15.06.2025*
3. Вихідні дані до роботи: *блок –схема очисної технології до реконструкції очисних будівельних об'єктів, якісні та кількісні показники стічних вод та водойми (додаток 1 до завдання).*
4. *Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що належить розробити): 1.Аналіз застосування ресурсоощадних технологій очищення природних вод. 1.1Сучасний стан систем міського водовідведення та екологічні виклики. 1.2 Інноваційні методи очищення міських стічних вод. 1.3 Системи повторного використання води та їх вплив на екологічну безпеку.2. Обґрунтування параметрів функціонування очисного комплексу. 2.1 Загальна характеристика населеного пункту та особливості скиду стічних вод. 2.2. Розрахунок добових об'ємів стічного потоку.2.3 Аналіз і визначення рівня забрудненості стічних вод. Розділ 3. Інженерно-технічне проєктування очисних споруд. 3.1 Моделювання приймального резервуара. 3.2. Визначення параметрів пісковловлювальних пристроїв. 3. Проєктування первинних відстійників.3.4Технічний розрахунок біофільтраційного блоку.3.5 Опрацювання параметрів вторинних відстійників. 3.6. Оцінка ефективності хлорування та проєктування контактних резервуарів. 4. Екологічне обґрунтування 4.1 Вплив реконструйованих очисних споруд на навколишнє середовище. 4*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Савін В.О., к.т.н., доцент		
2	Савін В.О., к.т.н., доцент		
3	Савін В.О., к.т.н., доцент		
4	Савін В.О., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання 01.04.2025 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Виконання	Примітка
1	Розділ 1. Аналіз застосування ресурсоощадних технологій очищення природних вод.	20.04.25	
2	Листи 1-3.	10.05.25	
3	Розділ 2. Обґрунтування параметрів функціонування очисного комплексу.	15.05.25	
4	Листи 3,4.	20.05.25	
5	Розділ 3. Інженерно-технічне проектування очисних споруд.	25.05.25	
6	Розділ 4. Екологічне обґрунтування.	31.05.25	
7	Листи 6-7	06.06.25	
8	Презентація підготовка доповіді.	10.06.25	
9	Попередній захист	15.06.25	

Студент _____ В.В. Зінченко
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____ В.О. Савін
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено
Нормоконтролер _____ О.В. Гребенюк
(підпис) (ініціали та прізвище)

Додаток 1

БЛОК-СХЕМА ОЧИСНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДО РЕКОНСТРУКЦІЇ



ПР – приймальний резервуар; НС – насосна станція; П – пісковловлювач; ВВ – вертикальний відстійник; А – аеротенк; Зн – споруди для знезараження води; Сн – ставок-накопичувач

Таблиця 1 – Вихідні дані для розрахунку параметрів очисної станції

Показник	Значення	Одиниця виміру	Примітка
Кількість населення	90000	осіб	
Питома витрата води	280	л/добу·особу	
Температура побутових стоків	12,0	°С	
pH побутових стоків	6,9	-	-
Характеристика водойми (річки):			
Найменша середньомісячна витрата при 95% забезпеченості	22	м³/с	-
Середня швидкість течії	0,8	м/с	Розрахункова ділянка
Середня глибина	1,7	м	Розрахункова ділянка
Концентрація завислих речовин до скиду	8,5	мг/л	Ср
БСКповн до точки випуску	2,3	мг/л	Lp
Характеристика промислових стічних вод:			
Виробничі стоки	5000	м³/добу	
Концентрація завислих речовин	240	мг/л	-
БСК	210	мг/л	-
pH	5,5	-	-
Температура	20,0	°С	-
Інші дані:			
Санітарно-захисна зона	150	м	

ЗМІСТ

ВСТУП……6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ РЕСУРСООЩАДНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ОЧИЩЕННЯ ПРИРОДНИХ ВОД……8
1. 1 Сучасний стан систем міського водовідведення та екологічні виклики……8
1. 2 Інноваційні методи очищення міських стічних вод……12
1.3 Системи повторного використання води та їх вплив на екологічну безпеку……18
Розділ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ОЧИСНОГО КОМПЛЕКСУ……22
2.1. Загальна характеристика населеного пункту та особливості скиду стічних вод.22
2.2. Розрахунок добових об’ємів стічного потоку……..24
2.3. Аналіз і визначення рівня забрудненості стічних вод……..…..26
Розділ 3. ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ОЧИСНИХ СПОРУД…….28
3.1 Моделювання приймального резервуару……..……28
3.2. Визначення параметрів пісковловлювальних пристроїв……29
3.3. Проєктування первинних відстійників……32
3.4. Технічний розрахунок біофільтраційного блоку……35
3.5. Опрацювання параметрів вторинних відстійників……..36
3.6. Оцінка ефективності хлорування та проєктування контактних резервуарів……38
4. ЕКОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ……42
4.1 Вплив реконструйованих очисних споруд на навколишнє середовище……42
4.2 Екологічна ефективність технологічної схеми очищення……43
4.3 Прогноз зміни якості стічних вод та впливу на водні об’єкти……43
4. 4 Розрахунок ефективності очищення стічних вод……44
4.5 Оцінка впливу очисних споруд на ґрунтові води……45
ВИСНОВКИ……..……..…47
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ…..……..

ВСТУП

Актуальність теми зумовлена потребою підвищення рівня екологічної безпеки у містах шляхом модернізації наявних водовідвідних систем, впровадження інноваційних технологій очищення, повторного використання стічних вод, використання локальних очисних споруд, а також засобів моніторингу та управління якістю стічних вод. Зокрема, зростає інтерес до таких технологій, як мембранна фільтрація, біореактори з іммобілізованими мікроорганізмами, системи децентралізованого очищення, а також цифрові рішення для управління потоками стоків.

Підвищення екологічної безпеки в міському водовідведенні має не лише технічне, а й соціальне та економічне значення. Воно сприяє збереженню водних ресурсів, покращенню санітарно-гігієнічного стану населених пунктів, зниженню ризиків для здоров’я населення, а також досягненню цілей сталого розвитку у сфері водних ресурсів.

Таким чином, дослідження та впровадження ефективних технологічних рішень у сфері міського водовідведення є надзвичайно актуальним і стратегічно важливим напрямом для забезпечення екологічної безпеки у сучасних урбанізованих територіях.

Мета кваліфікаційної роботи полягає у розробці технологічних рішень, спрямованих на підвищення рівня екологічної безпеки системи міського водовідведення шляхом аналізу, реконструкції та обґрунтування ефективної схеми очищення стічних вод для населеного пункту з кількістю мешканців

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:
надати характеристику населеного пункту, включаючи демографічні, географічні та санітарно-технічні особливості; визначити розрахункові витрати стічних вод, виходячи з кількості населення, промислових об'єктів та інших джерел забруднення; провести оцінку концентрацій основних забруднювальних речовин у стічних водах з

урахуванням чинних нормативів і типових показників; розрахувати параметри основних елементів очисної станції: приймальної камери; пісковловлювачів; первинних і вторинних відстійників; біофільтра; хлораторної установки та контактних резервуарів; провести екологічне обґрунтування ефективності впровадженої технологічної схеми очищення стічних вод з позицій впливу на довкілля та покращення екологічної безпеки.

Практичне значення кваліфікаційнї роботи полягає у можливості використання розроблених технічних та екологічних рішень для удосконалення існуючих або проєктування нових систем міського водовідведення з підвищеним рівнем екологічної безпеки. Запропонована схема очищення стічних вод, побудована на поєднанні механічного, біологічного та хімічного етапів, може бути адаптована для використання у населених пунктах різного масштабу.

Результати роботи можуть бути використані при відновленнф міської інфраструктури: при реконструкції застарілих очисних споруд, що не відповідають сучасним нормативам щодо скиду забруднюючих речовин; при плануванні нових об'єктів водовідведення в умовах післявєннї відбудови; як базова аналітична модель для розробки проєктної документації; для зменшення плати за скиди понад ГДК, що має економічну доцільність для комунальних підприємств;

Впровадження технологій, розглянутих у роботі, сприяє підвищенню якості водного середовища, поліпшенню санітарного стану територій, охороні здоров’я населення, а також відповідає цілям сталого розвитку в галузі управління водними ресурсами.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ РЕСУРСООЩАДНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

1. 1 Сучасний стан систем міського водовідведення та екологічні виклики

Водовідведення у містах є важливим елементом інфраструктури, що забезпечує санітарно-гігієнічні умови та мінімізує негативний вплив на довкілля. Однак сучасні системи водовідведення стикаються з низкою екологічних проблем, серед яких:

- забруднення водних об'єктів стічними водами;
- недостатня ефективність традиційних методів очищення;
- надмірне використання водних ресурсів;
- вплив змін клімату на стан систем водовідведення.

Забруднення водних ресурсів стічними водами є однією з найгостріших екологічних проблем сучасності. Водні об'єкти: річки, озера, моря є не лише джерелом питної води, а й середовищем життя багатьох екосистем. Однак внаслідок інтенсивної господарської діяльності людини, ці екосистеми зазнають значного тиску.

Стічні води – це вода, що була використана у промисловості, побуті чи сільському господарстві та містить різноманітні забруднювальні речовини. Вони поділяються на господарсько-побутові, промислові та атмосферні (дощові) [1]. У випадку, коли такі води скидаються у водойми без належного очищення, відбувається серйозне забруднення водного середовища. Особливо небезпечні стічні води, які містять важкі метали, нафтопродукти, феноли, фосфати та нітрати.

Згідно з дослідженнями екологів, понад 30% поверхневих вод України не відповідають санітарним нормам через забруднення саме стічними водами [2]. Найбільш постраждалими є річки басейну Дніпра, Сіверського Дінця, Південного Бугу, де велика кількість промислових підприємств розташована безпосередньо поблизу водойм.

Крім хімічного забруднення, важливою проблемою є також біологічне забруднення. Наприклад, господарсько-побутові стоки часто містять патогенні мікроорганізми, що спричиняють захворювання людей і тварин [3]. Також внаслідок надмірного потрапляння фосфатів і нітратів до води може виникати явище евтрофікації – надмірного розростання синьо-зелених водоростей, що знижує рівень кисню у воді та спричиняє загибель риб.

Розв'язання проблеми забруднення можливе завдяки модернізації очисних споруд, запровадженню екологічних технологій на підприємствах, а також суворішому контролю з боку держави. Важливу роль також відіграє просвіта населення щодо екологічної відповідальності та ощадного використання водних ресурсів [4].

Зростання промислового виробництва, урбанізація та використання великої кількості хімічних сполук у побуті й агросекторі призвели до суттєвого ускладнення складу стічних вод. Традиційні методи очищення, хоч і є базовими в системах водоочищення, все частіше виявляються недостатніми для ефективного видалення новітніх і стійких забруднювачів.

До традиційних методів очищення стічних вод належать механічні, біологічні, фізико-хімічні технології. Механічне очищення передбачає видалення зважених часток, тоді як біологічні методи використовують мікроорганізми для розщеплення органічних речовин. Фізико-хімічні процеси включають коагуляцію, флокуляцію, адсорбцію тощо. Хоча ці підходи забезпечують базовий рівень очищення, вони мають низку істотних обмежень [5].

Механічне очищення ефективне лише для великих зважених часток, залишаючи у воді розчинені органічні та неорганічні речовини. Біологічні методи є чутливими до змін температури, токсичності середовища та навантаження.

Наприклад, за наявності важких металів чи хлорорганічних сполук активний мул втрачає свою ефективність, а нітрифікаційні бактерії можуть загинути [6].

Фізико-хімічні методи часто потребують значної кількості реагентів, утворюють вторинне забруднення (наприклад, осади, що складно утилізуються) та мають високу енергозатратність [7].

З розвитком хімічної промисловості у стічних водах з'являються речовини, які традиційні методи не можуть ефективно усунути – мікропластик, залишки лікарських засобів, ПАР, пестициди. Як зазначається у звітах Державного агентства водних ресурсів України, спостерігається систематичне перевищення гранично допустимих концентрацій для амонійного азоту, фосфатів та БСК5 у багатьох регіонах країни [8].

Для ефективного очищення води необхідне впровадження інноваційних технологій – мембранної фільтрації, електрохімічного очищення, біореакторів з іммобілізованими мікроорганізмами, використання наноматеріалів. Ці підходи забезпечують кращу адаптивність до змін складу води, вищу якість очищення та можливість повторного використання води у технічних потребах.

Звісно, традиційні методи очищення відіграють важливу роль у базовому водоочищенні, проте в умовах зростання екологічного навантаження вони не можуть гарантувати належну якість очищення. Це вимагає модернізації водоочисних систем, впровадження новітніх технологій та інтегрованого підходу до управління водними ресурсами. Без застосування ефективніших методів очищення стічних вод забезпечення екологічної безпеки та здоров'я населення буде неможливим.

В Україні питання ефективного управління водними ресурсами набуває особливого значення через нерівномірний розподіл води, зношеність інфраструктури та вплив воєнних дій [1].

Україна має обмежені запаси прісної води, що становить приблизно 1 000 м³ на людину на рік, що є нижчим за середній показник у Європі [2]. Основними джерелами водопостачання є поверхневі води, зокрема річки та озера. Проте якість води в багатьох регіонах не відповідає санітарним нормам через забруднення стічними водами, агрохімікатами та промисловими відходами [3].

Серед основних проблем використання водних ресурсів в Україні можна виділити:

- неефективне управління: відсутність інтегрованого підходу до управління водними ресурсами призводить до їх нераціонального використання [9];
- зношеність інфраструктури: більшість водопровідних та каналізаційних систем потребують модернізації;
- забруднення вод: недостатнє очищення стічних вод сприяє погіршенню якості води у водних об'єктах [10];
- вплив воєнних дій: руйнування гідротехнічних споруд та забруднення водних об'єктів унаслідок бойових дій погіршують ситуацію з водопостачанням [12];

Для покращення ситуації необхідно:

- впровадження інтегрованого управління водними ресурсами: забезпечення координації між різними секторами та рівнями управління [9];
- модернізація інфраструктури: інвестиції в оновлення та розвиток водопровідних та каналізаційних систем;
- підвищення ефективності очищення стічних вод: використання сучасних технологій очищення [11];
- зміцнення законодавчої бази: прийняття та впровадження ефективних нормативно-правових актів у сфері водокористування.

Раціональне використання водних ресурсів є необхідною умовою для сталого розвитку України. Вирішення існуючих проблем потребує комплексного підходу, що включає технічні, економічні та правові заходи. Особливу увагу слід приділити відновленню та захисту водних об'єктів, особливо в умовах воєнного конфлікту [12].

Зміни клімату значно впливають на ефективність та надійність систем водовідведення. Зростання кількості екстремальних погодних явищ, таких як інтенсивні зливи чи тривалі посухи, створює серйозне навантаження на інфраструктуру. Під час злив каналізаційні мережі часто не справляються з обсягом

води, що призводить до підтоплень вулиць, житлових районів і аварійних ситуацій (рис.1).



Рисунок 1.1 – Результати переповнення мережі водовідведення

У посушливі періоди, навпаки, зменшується кількість води в каналізаційній системі, що може спричинити застій, неприємні запахи та підвищення концентрації забруднювачів.

Крім того, зростання температури впливає на швидкість біологічних процесів в системах очищення стоків, що вимагає перегляду режимів їх експлуатації. Загалом, кліматичні зміни вимагають адаптації систем водовідведення, включаючи оновлення інфраструктури, застосування сучасних технологій та впровадження стійких до змін клімату рішень.

З урахуванням екологічних викликів питання транспортування та знешкодження стічних вод залишаються актуальними та потребують впровадження ефективних заходів дл їх успішного розв’язання.

1.2 Інноваційні методи очищення міських стічних вод

Для підвищення рівня екологічної безпеки у водовідведенні активно досліджуються та впроваджуються новітні технології очищення стічних вод. Серед них: біологічні методи очищення із застосуванням мікроорганізмів та фітотехнологій; мембранні технології, що забезпечують високу ефективність видалення забруднень;

адсорбційні та коагуляційні методи для видалення важких металів і токсичних речовин; використання нанотехнологій для очищення води від мікрозабруднень.

Так біологічні методи (рис. 1.2), зокрема використання мікроорганізмів та фітотехнологій, набувають все більшого значення завдяки своїй екологічній безпеці та ефективності.



Рисунок 1.2 – Споруди для біологічного очищення стічних вод

Як зазначено в роботі [13], мікроорганізми, такі як бактерії, гриби та водорості, здатні розкладати органічні забруднювачі у стічних водах. Використання анаеробно-аеробних технологій з іммобілізованими гідробіонтами дозволяє ефективно очищати стічні води, зменшуючи витрати енергії та обсяг утворення мулу.

Фітотехнології використовують вищі водні рослини для очищення стічних вод. Як показали результати досліджень [14], біоплато, засаджене рослинами, такими як очерет звичайний, комиш озерний, рогіз вузьколистий та аїр болотний, ефективно знижує концентрацію забруднювачів у стічних водах підприємств харчової промисловості. Перспективним методом для впровадження на очисних спорудах є денітрифікація методом фіторемедіації. Автори [15] стверджують, що фіторемедіація з використанням ряски Lemna minor показала ефективність у денітрифікації стічних вод гумового виробництва. Цей метод дозволяє знизити вміст нітратів до нормативних показників, забезпечуючи екологічну безпеку водних об'єктів.

Сучасні екологічні виклики вимагають впровадження ефективних та сталих методів очищення стічних вод. Серед інноваційних технологій, що демонструють високу ефективність у видаленні забруднень, виділяються електролізні установки (рис. 1.3, А), біофільтри (рис. 1.3, Б) та анаеробно-аеробні біореактори (рис. 1.3, В) [16].

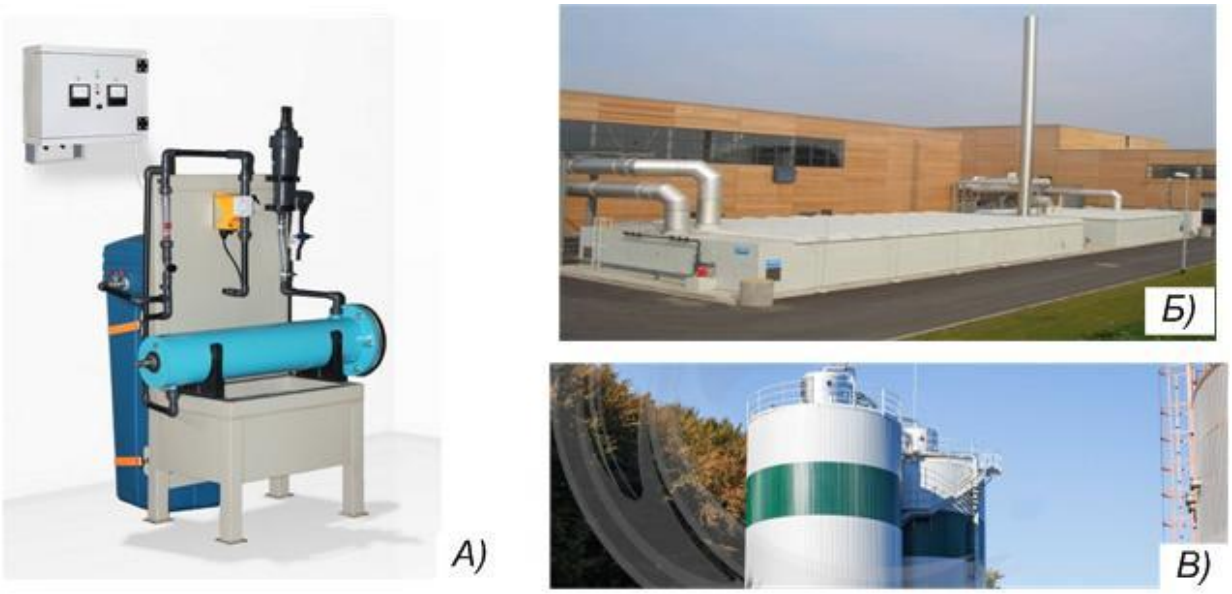


Рисунок 1.3 – Інноваційні технології очищення стічних вод

Електролізні установки використовують електричний струм для розкладання органічних забруднень та важких металів у стічних водах. В роботі [17] зазначено, що оптимізація параметрів, таких як температура та питомий струм, дозволяє досягти максимального ступеня видалення забруднень при мінімальних енерговитратах. Дослідження [18] показали, що застосування електролізу ефективно очищує стічні води текстильної промисловості від органічних сполук та важких металів.

Біофільтри є ефективним засобом очищення стічних вод, особливо в локальних системах каналізації. Використання спеціального завантаження та впровадження контактно-прояснювальних фільтрів у технологічну схему дозволяє покращити якість очищення. За результатами досліджень [17] ці системи забезпечують стабільну роботу

при змінних навантаженнях та сприяють зниженню концентрації органічних забруднень.

Анаеробно-аеробні біореактори поєднують процеси безкисневого та кисневого розкладання забруднень, що дозволяє ефективно очищати стічні води різного походження. Використання іммобілізованих гідробіонтів на полімерних носіях сприяє інтенсифікації процесу очищення, зменшенню енерговитрат та утворення мулу. Крім того, як стверджують автори [18], такі системи можуть генерувати електричну енергію та біоводень під час анаеробної стадії очищення.

Адсорбційні та коагуляційні методи є одними з найбільш ефективних і широко застосовуваних технологій для видалення важких металів і токсичних речовин з води та стічних вод. Зважаючи на зростальні екологічні проблеми та потребу у забезпеченні безпеки питної води, дослідження та впровадження цих методів набувають все більшої актуальності.

Адсорбція важких металів і токсичних речовин на поверхні адсорбентів є одним із найпоширеніших способів очищення води. Вона ґрунтується на взаємодії молекул забруднювачів з поверхнею адсорбентів, таких як активоване вугілля, цеоліти, природні та синтетичні полімери, метал-оксиди та інші матеріали. Важливими перевагами адсорбційних методів є простота процесу, можливість повторного використання адсорбентів і висока ефективність при низьких концентраціях забруднювачів.

Активоване вугілля є одним з найбільш розповсюджених адсорбентів завдяки своїй високій пористості та великій площі поверхні. Під час адсорбції важкі метали, такі як кадмій, свинець, цинк, та інші токсичні речовини утримуються на поверхні вугілля завдяки фізико-хімічним взаємодіям, таким як ван-дер-ваальсові сили, іонний обмін і хімічні реакції [19].

Коагуляція є процесом, при якому забруднювачі, зокрема важкі метали, об'єднуються в більші агрегати за допомогою коагулянтів. Це дозволяє значно знизити

їх концентрацію у воді. Коагуляція зазвичай застосовується у поєднанні з флокуляцією, що забезпечує подальше осадження агрегатів, утворених під час коагуляції.

Серед найпоширеніших коагулянтів використовуються солі металів, зокрема алюмінію та заліза, як сульфат алюмінію та хлорид заліза. Ці коагулянти сприяють утворенню великої кількості осаду, що об’єднує важкі метали та інші забруднювачі в агрегати, які потім можна видалити за допомогою фільтрації або осадження [20].

Коагуляційні методи відрізняються високою ефективністю при високих концентраціях забруднювачів, однак вони мають і деякі недоліки, такі як утворення великої кількості осаду, що потребує подальшої обробки, а також можливі токсичні побічні продукти, що виникають внаслідок використання хімічних коагулянтів.

Адсорбція та коагуляції мають свої переваги і обмеження, але все ж таки в практичному застосуванні часто використовуються їх комбінації. Адсорбційні методи є більш ефективними при низьких концентраціях забруднювачів, тоді як коагуляція дозволяє ефективно обробляти більші об'єми води з високою концентрацією токсичних речовин. Вибір між цими методами залежить від характеристик забрудненої води, таких як тип і концентрація важких металів, а також технічні і економічні вимоги до процесу очищення.

Застосування нанотехнологій (рис. 1.4) для очищення води від мікрозабруднень є однією з найбільш перспективних і інноваційних галузей у сфері водоочищення. Мікрозабруднення, зокрема пестициди, фармацевтичні
препарати, пластики, важкі метали та інші шкідливі сполуки, є серйозною загрозою для екосистем і здоров'я людини. Їх концентрація у воді навіть на низьких рівнях може мати токсичний ефект, що підвищує вимоги до розробки ефективних методів очищення води [19].

Як зазначено в роботі [20], наноматеріали, зокрема наночастинки металів, оксидів, карбонових нанотрубок і наноалмазів, володіють унікальними

властивостями, які роблять їх ідеальними для використання в процесах водоочищення. Однією з основних характеристик наноматеріалів є їх висока поверхнева активність завдяки великій площі поверхні на одиницю об'єму. Це дозволяє ефективно поглинати або взаємодіяти з мікрозабрудненнями, що робить їх дуже ефективними адсорбентами. Наприклад, наночастинки оксиду заліза здатні видаляти важкі метали з води шляхом процесів хімічного адсорбування та осадження.

Наночастинки золота і срібла також демонструють високу ефективність у видаленні органічних забруднювачів, таких як пестициди та фармацевтичні препарати, завдяки своїм каталітичним властивостям. Вони можуть бути використані для окиснення органічних молекул, що сприяє їх деградації в безпечні продукти.

Також, як стверджують автори [21], наноструктуровані каталітичні мембрани, наносорбенти та підходи на основі нанофотокаталізатора для видалення забруднювальних речовин зі стічних вод є екологічно чистими та ефективними, але вони вимагають більше енергії та більше інвестицій для очищення стічних вод

На рисунку 1.4 показана мембранна установка, нанофільтраційні мембрани здатні відфільтровувати частинки розміру від 1 до 10 нанометрів, що дозволяє ефективно видаляти не тільки бактерії та віруси, а й молекули органічних забруднювачів.



Рисунок 1.4 – Мембранна установка

Нанофільтраційні мембрани на основі полімерних або вуглецевих матеріалів можуть бути використані для видалення важких металів, пестицидів і фармацевтичних сполук, зокрема через процеси механічної фільтрації або сорбції.

Крім фізико-хімічних властивостей, наноматеріали можуть володіти каталізаторними властивостями, що дозволяє використовувати їх для процесів окиснення, відновлення та розкладу токсичних сполук у воді. Одним із прикладів є використання наночастинок двоокису титану (TiO_2) для фотокаталітичного розкладу органічних забруднювачів під дією ультрафіолетового світла. Це дозволяє не лише зменшити концентрацію токсичних речовин, а й перетворювати їх на нешкідливі продукти.

Незважаючи на величезний потенціал нанотехнологій для очищення води, існують деякі проблеми, пов'язані з їх застосуванням. Однією з основних проблем є можливий викид наноматеріалів у навколишнє середовище після очищення, що може призвести до нових екологічних ризиків. Тому важливо розробляти безпечні методи утилізації або рециклізації наноматеріалів після їх використання. Іншою проблемою є висока вартість виробництва наноматеріалів, що може обмежити їх широке впровадження у промислове використання.

1.3 Системи повторного використання води та їх вплив на екологічну безпеку

Повторне використання води є одним із ключових інструментів сталого управління водними ресурсами, особливо в умовах наростального дефіциту прісної води, інтенсифікації сільського господарства та урбанізації. Ця практика передбачає очищення стічних вод до рівня, що дозволяє їх подальше застосування у промисловості, сільському господарстві, побуті або навіть як джерело питної води,

залежно від рівня очищення. Такий підхід має прямий вплив на екологічну безпеку, сприяючи зменшенню антропогенного навантаження на природні водні об'єкти.

Повторне використання води зазвичай базується на застосуванні сучасних технологій очищення, включаючи біологічні, фізико-хімічні, мембранні та адсорбційні процеси. Мембранні технології, такі як зворотний осмос, нанофільтрація та ультрафільтрація, забезпечують високий ступінь очищення, що дозволяє повторно використовувати воду навіть в системах питного водопостачання [22].

Зменшення забору води з природних джерел позитивно впливає на підтримання гідрологічного балансу екосистем. Повторне використання води дозволяє зменшити навантаження на водні об'єкти, обмежуючи кількість скидів недостатньо очищених стічних вод. Це сприяє зменшенню евтрофікації, забруднення вод хімічними речовинами та біогенними елементами, зниженню ризику знищення біорізноманіття у водоймах [23].

Однак використання очищених стічних вод без належного контролю може створювати екологічні ризики. Зокрема, існує ймовірність потрапляння у навколишнє середовище мікрополютантів, фармацевтичних залишків, патогенних мікроорганізмів та інших забруднювачів, які важко видалити за допомогою традиційних методів очищення. У зв’язку з цим важливим є впровадження технологій третьої та четвертої стадії очищення, що включають сорбційні, фотокаталітичні й мембранні процеси [24].

Важливою частиною впровадження систем повторного використання води є дотримання нормативних вимог до її якості, які гарантують безпечне використання очищених стічних вод у різних сферах. Ці нормативи встановлюються на національному та міжнародному рівнях і залежать від цільового призначення повторно використаної води — наприклад, для зрошення, технічних потреб або поповнення джерел питного водопостачання.

У країнах Європейського Союзу діє Регламент (ЄС) 2020/741 щодо мінімальних вимог до повторного використання очищених стічних вод, який набрав чинності у

2023 році. Він встановлює чіткі критерії мікробіологічної та хімічної якості для води, що використовується для сільськогосподарського зрошення. Зокрема, регламент встановлює граничні концентрації для кишкової палички (E. coli), зважених речовин, біохімічного споживання кисню ($БСК_5$) і загальної кількості збудників, що можуть бути небезпечними для здоров'я людини та навколишнього середовища. Також вводяться вимоги до моніторингу, управління ризиками та нагляду з боку уповноважених органів [25].

У США вимоги до якості повторно використаної води визначаються на рівні штатів та базуються на рекомендаціях Агентства з охорони довкілля США (EPA). Наприклад, для непрямого питного використання стічних вод після очищення застосовуються суворі нормативи щодо присутності фармацевтичних залишків, мікрозабруднень, нітратів, важких металів, а також мікробіологічних показників, включно з вірусами і паразитами [26].

У багатьох країнах існують окремі нормативи для повторного використання води у промислових потребах, зокрема в системах охолодження,

де можуть бути передбачені граничні значення для вмісту хлоридів, сульфатів, загальної жорсткості, pH та інших параметрів, які впливають на довговічність обладнання й ефективність виробничих процесів.

В Україні питання повторного використання води регламентується ДСТУ та санітарними нормами, хоча нормативна база потребує оновлення та адаптації до європейських стандартів. У практиці водокористування дедалі частіше виникає потреба у впровадженні принципів управління на основі оцінки ризиків (Water Safety Plan), що враховує не лише показники якості, але й потенційні джерела забруднення, ефективність технологій очищення та логістику повторного використання води.

Таким чином, дотримання нормативних вимог до якості повторно використаної води є критично важливим чинником для забезпечення безпеки здоров'я населення, охорони довкілля та підвищення довіри до повторного використання як інструменту

сталого водокористування. Крім екологічного, повторне використання води має важливе соціально-економічне значення. Воно сприяє зниженню витрат на водозабір та очищення, зменшенню залежності від природних водних ресурсів, підвищенню водної безпеки в регіонах, що страждають від нестачі води. До того ж належна організація повторного використання води підвищує стійкість муніципальних і промислових систем до кліматичних змін, таких як посухи або паводки. Приведений аналіз літературних джерел підтверджує, що повторне використання води – це ефективний екологічний і економічний інструмент, який сприяє збереженню водних ресурсів, покращенню якості води у природних екосистемах та зміцненню екологічної безпеки. Для мінімізації потенційних ризиків необхідно впроваджувати комплексні системи контролю якості очищення, вдосконалювати нормативно-правову базу та підвищувати обізнаність населення щодо важливості сталого водокористування. Комплексний підхід до очищення стічних вод значно знижує екологічне навантаження на природні водні екосистеми.

РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ОЧИСНОГО КОМПЛЕКСУ

2.1. Загальна характеристика населеного пункту та особливості скиду стічних вод

Вихідні дані для розрахунку параметрів очисної станції представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані для розрахунку параметрів очисної станції

Показник	Значення	Одиниця виміру	Примітка
Кількість населення	90000	осіб	
Питома витрата води	280	л/добу·особу	[25, п. 6.1.1]
Температура побутових стоків	12,0	ºС	
pH побутових стоків	6,9	-	-
Характеристика водойми (річки):			
Найменша середньомісячна витрата при 95% забезпеченості	22	м³/с	-
Середня швидкість течії	0,8	м/с	Розрахункова ділянка
Середня глибина	1,7	м	Розрахункова ділянка
Концентрація завислих речовин до скиду	8,5	мг/л	Ср
БСКповн до точки випуску	2,3	мг/л	Lp
Характеристика промислових стічних вод:			
Виробничі стоки	5000	м³/добу	
Концентрація завислих речовин	240	мг/л	-
БСК	210	мг/л	-
pH	5,5	-	-
Температура	20,0	ºС	-
Інші дані:			
Санітарно-захисна зона	150	м	До житлової забудови, згідно з [25, табл. 30]

Географічні особливості розташування населеного пункту представлені у вигляді таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Кліматичні параметри

Показник	Значення	Одиниця виміру	Примітка
Кліматична зона	II	-	Відповідно до ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 [27]
Тип клімату	Помірно континентальний	-	Вплив континентальних та атлантичних повітряних мас
Тривалість зимового періоду	~125	днів	Часті відлиги
Тривалість літнього періоду	середина травня – середина вересня	-	Жарка, посушлива погода, зливи
Абсолютний мінімум температури	–36	°C	Січень
Абсолютний максимум температури	+40	°C	Червень
Середня температура січня	–6,1	°C	-
Середня температура липня	+21,5	°C	-
Радіаційний баланс	48	ккал/см²	-
Сонячна радіація	1066	ккал/см²	-
Середня відносна вологість повітря	63	%	-
Період високого атмосферного тиску	жовтень – лютий	-	-
Період зниженого тиску	червень – серпень	-	-
Максимальна глибина промерзання ґрунту	120	см	-
Середня глибина промерзання ґрунту	45–75	см	-
Максимальна кількість опадів (літо)	50–70	мм/місяць	-
Мінімальна кількість опадів (зима)	20–30	мм/місяць	Лютий
Середньорічна кількість опадів	530	мм	-
Переважаючий напрямок вітру	Східний	-	-
Середня швидкість вітру	3,4–6,0	м/с	За місяцями

2.2. Розрахунок добових об’ємів стічного потоку

1. Побутові стічні води:

Середньодобовий об’єм стічної води, який формується населенням, розраховується за формулою:

$$Qсер.доб=n\times N/1000, \quad (2.1)$$

де n – нормативна питома витрата, 280 л/добу·мешканця;

N – кількість мешканців, 90 000 осіб.

$Q_{сер.доб}$=(280×900000/1000=25 200 м^3/добу .

Середньогодинна витрата стічних вод за добу обчислюється так:

$q_{сер.год}$=(n×N)/(24×1000)=(280×90000)/(24×1000)=1050 м^3/год.

Середня секундна витрата побутових стоків:

$q_{сер.сек}$=(n×N)/86400=(280×90000)/86400≈291 л/с.

Коефіцієнт нерівномірності надходження побутових стічних вод, згідно з табл. 2 [27], для даної секундної витрати приймається рівним Кзаг = 1,55.

Розподіл об’єму стічних вод протягом доби (у відсотках від добового значення) залежить від Кзаг і наведений у таблиці 2.3.

2. Промислові стоки:

Притік виробничих стічних вод протягом доби вважається рівномірним. Їхній режим наведено в таблиці 2.3.

3. Підсумкові витрати:

Загальна середньодобова витрата:

$Q_{заг.доб}=Q_{побут}+Q_{пром}$=25 200+3 600=28 800 м^3/добу.

Середня годинна витрата всіх стоків:

$Q_{сер.год}=Q_{заг.доб}$/ 24=28 800/24=1 200 м^3/год.

Середня секундна витрата:

$Q_{сер.сек}=Q_{сер.}$год/3,6=12003,6=333 л/с

Максимальна та мінімальна секундна витрата визначаються з урахуванням коефіцієнтів добової нерівномірності та дорівнюють 451 л/с та 157 л/с відповідно.

Таблиця 2.3 – Розподіл витрат стічної води протягом доби

Години доби	Побутові стоки		Виробничі стоки		Загальний приток	
	%	м	%	м	%	м
1	2	3	4	5	6	7
0	1,65	415,8	4,16	149,76	1,96	565,6
1	1,65	415,8	4,16	149,76	1,96	565,6
2	1,65	415,8	4,16	149,76	1,96	565,6
3	1,65	415,8	4,16	149,76	1,96	565,6
4	1,65	415,8	4,16	149,76	1,96	565,6
5	4,2	1058,4	4,17	150,12	4,20	1208,5
6	5,8	1461,6	4,17	150,12	5,60	1611,7
7	5,8	1461,6	4,17	150,12	5,60	1611,7
8	5,85	1474,2	4,17	150,12	5,64	1624,3
9	5,85	1474,2	4,17	150,12	5,64	1624,3
10	5,85	1474,2	4,16	149,76	5,64	1624,0
11	5,05	1272,6	4,17	150,12	4,94	1422,7
12	4,2	1058,4	4,17	150,12	4,20	1208,5
13	5,8	1461,6	4,17	150,12	5,60	1611,7
14	5,8	1461,6	4,17	150,12	5,60	1611,7
15	5,8	1461,6	4,17	150,12	5,60	1611,7
16	5,8	1461,6	4,17	150,12	5,60	1611,7
17	5,75	1449	4,17	150,12	5,55	1599,1
18	5,2	1310,4	4,17	150,12	5,07	1460,5
19	4,75	1197	4,17	150,12	4,68	1347,1
20	4,1	1033,2	4,17	150,12	4,11	1183,3
21	2,85	718,2	4,17	150,12	3,02	868,3
22	1,65	415,8	4,16	149,76	1,96	565,6
23	1,65	415,8	4,16	149,76	1,96	565,6
Всього	100	25200	100	3600	100	28800

2.3 Аналіз і визначення рівня забрудненості стічних вод

Для встановлення необхідного рівня очищення стічних вод виконується розрахунок концентрацій основних забруднень у суміші побутових та виробничих стоків.

На очисні споруди надходять змішані стоки: господарсько-побутові та промислові, тому вміст кожного забруднювача в загальному потоці визначається за співвідношенням:

$$C_{заг}=(C_{поб}\times Q_{поб}+C_{пр}\times Q_{пр})/(Q_{поб}+Q_{пр}), \qquad (2.2)$$

де $C_{поб}$, $C_{пр}$ – концентрації домішок відповідно у побутових і промислових стоках, мг/л;

$Q_{поб}$=25200 м^3/добу, $Q_{пр}$=3600 м^3/добу – середньодобові витрати відповідних стічних вод.

Для визначення концентрації завислих речовин у побутових стоках використовується така формула:

$$C_{поб}=65\times 1000/n \qquad (2.3)$$

де 65 г/добу – середня добова маса завислих речовин на одного мешканця [27, табл. 16];

n = 280 л/добу·мешканця – нормативна питома витрата.

Після підстановки отримаємо значення $C_{поб}$ у мг/л.

Повна потреба у кисні в загальному потоці стічних вод визначається так:

$$L_{заг}=(L_{поб}\cdot Q_{поб}+L_{пр}\cdot Q_{пр})/(Q_{поб}+Q_{пр}), \qquad (2.4)$$

де $L_{поб}$ – БСКповн побутових стоків;

$L_{пр}$=210 г/м^3 – БСКповн у виробничих стічних водах підприємства.

$L_{поб}$ розраховується за формулою:

$$Lпоб=(75\times1000)/n, \quad (2.5)$$

де *75* г/доб**у** – середнє значення БСКповн на одну особу (згідно з [27, табл. 16]).

Значення водневого показника (pH) для суміші побутових та промислових стічних вод визначається за формулою середньозваженого:

$$pH_{заг}=(pH_{поб}\cdot Q_{поб}+pH_{пр}\cdot Q_{пр})/(Q_{поб}+Q_{пр}), \quad (2.6)$$

де $pH_{поб}$ – значення водневого показника відповідно для побутових та промислових вод.

Аналогічно, температура об'єднаних стоків визначається за формулою:

$$t_{заг}=(t_{поб}\cdot Q_{поб}+t_{пр}\cdot Q_{пр})/(Q_{поб}+Q_{пр}), \quad (2.7)$$

де $t_{поб}$, $t_{пр}$ – температури побутових і виробничих стічних вод відповідно.

РОЗДІЛ 3. ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ОЧИСНИХ СПОРУД

На очисної станції передбачено здійснення повного циклу очищення стічних вод, що включає механічну, біологічне очищення, а також знезараження. Первинне надходження неочищених стічних вод відбувається у приймальну камеру, звідки вони транспортуються на насосну станцію. За допомогою насосів вода подається до пісковловлювача, де здійснюється видалення грубодисперсних домішок. Далі очищена від великих включень вода направляється до первинного відстійника, після чого самопливом потрапляє в аеротенк для проходження біологічного етапу очищення. Оброблені стічні води надходять у вторинний відстійник, а потім — на повторну насосну станцію. З неї за допомогою циркуляційних насосів вода подається до ставка-накопичувача через систему розпилення для подальшого доочищення та окиснення.

З метою оптимізації процесу очищення в рамках даної кваліфіційні роботи передбачено модернізацію технологічної схеми. Зокрема, пропонується замінити вертикальний відстійник на двоярусний первинний відстійник, а також впровадити біофільтр замість традиційного аеротенку для забезпечення більш ефективного біологічного очищення.

До складу об'єктів, що підлягають інженерному розрахунку, входять: приймальна камера; пісковловлювач; двоярусний первинний відстійник; біофільтр; вторинний горизонтальний відстійник; хлораторна установка; контактний резервуар.

3.1. Моделювання приймального резервуару

Приймальна камера виконує функцію первинного етапу обробки стічних вод, які надходять на очисні споруди. Її основними завданнями є зменшення швидкості потоку рідини, а також забезпечення переходу потоку з трубопровідної системи до відкритого лотка.

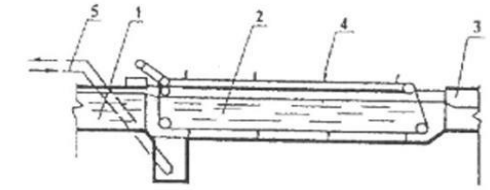
Для розрахункової середньодобової витрати стічних вод, що становить Qсер.доб = 25200 м³/доб, підібрано камеру з відповідними геометричними параметрами. Основні типорозміри конструкції наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні характеристики приймальної камери

Пропускна здібність, л/с	Діаметр труб, мм	Марка	Розміри, мм (А × В × Н)
1810	2×100	ПК-2-110	4500 × 4500 × 4000

3.2. Визначення параметрів пісковловлювальних пристроїв

Пісковловлювачі призначені для вилучення з потоку стічних вод важких мінеральних частинок, зокрема піску, який має високу густину. Ці споруди розміщуються перед відстійниками, оскільки відсутність попереднього видалення мінеральних включень може ускладнити процес виведення осаду з останніх. З метою підвищення ефективності очищення передбачається встановлення двосекційного пісковловлювача. Схема пісковловлювача приведена на рис. 3.1.



1-піддвідний канал; 2-робоча частина; 3-відвідний канал; 4-ланцюговий механізм зі скребками; 5-гідроелеатор



Рисунок 3.1 – Схема пісковловлювача

Для визначення необхідної площі живого перерізу одного відділення пісковловлювача використовується наступний вираз:

$$\omega = \frac{q_{max}}{n \cdot v}, \quad (3.1)$$

де q_{max} – максимальна витрата стічних вод, м^3 /с;

v – розрахункова швидкість руху потоку, що коливається в межах 0,15–0,3 м/с [27, табл.19]

n – кількість секцій пісковловлювача.

$$w = \frac{0.2}{0.3 \times 2} = 0.33 \text{ м}^2.$$

Глибину робочої зони пісковловлювача приймаємо згідно з нормативними даними $H_s = 0.5$ м [27, табл. 20]. Ширина одного відділення визначається за формулою:

$$B = w / H_s, \quad (3.2)$$

$$B = 0.329 / 0.5 \approx 0.5 \text{ м}.$$

Визначаємо довжину споруди:

$$L = 1000 \times K_s \times H_s \times v_S / u_o, \quad (3.3)$$

де H_s – глибина, H_s= 0,48 м;

K_s – коефіцієнт, що враховує турбулентність [27, табл. 19];

u_o – гідравлічна крупність, мм [27, табл. 19];

v_s – розрахункова швидкість руху потоку, м/с , v_s =0,3 м/с [27, табл.20]

$$L = 1000 \times 1.3 \times 0.5 \times 0.3 / 24.2 = 7.7 \text{ м}.$$

Визначимо найменшу витрату води для споруди $q_{min} = 0.1222$ м^3 /с [27,табл. 20];

Для забезпечення стабільної швидкості потоку в кінцевій частині пісковловлювача передбачається встановлення водозливної конструкції з широким порогом, що не підлягає підтопленню. Різниця висот між дном пісковловлювача та рівнем порогу визначає необхідний гідравлічний перепад:

$$P = \frac{h_{макс.} - k_q^{2/3} \times h_{мін.}}{k_q^{2/3} - 1}, \quad (3.4)$$

де $h_{макс.}, h_{мін.}$ – заглиблення при максимальній $q_{макс}$ і мінімальній витратах води для швидкості $v = 0,3$ м/с.

$$P = \frac{h_{макс} - k_q^{2/3} \times h_{мін}}{k_q^{2/3} - 1}, \quad (3.5)$$

де B – ширина секції, м.

$$h_{мін} = \frac{0.1222}{2 \times 0.5 \times 0.3} \approx 0.43 \text{ м.}$$

$$h_{макс} = \frac{0,2}{2 \times 0.5 \times 0.3} \approx 0.7$$

$$k_q = q_{макс.}/q_{мін.}$$

$$k_q = 0,2/0,1222 = 1,63.$$

$$P = \frac{0,7 - 1,63^{2/3} \times 0,43}{1,63^{2/3} - 1} = 0,27 \text{ м}$$

Ширина водозливу :

$$b_{сж} = \frac{q_{макс.}}{m\sqrt{2g}\ \left(P+h_{макс.}\right)^{3/2}}, \qquad (3.6)$$

де m – коефіцієнт витрати, m = 0,35...0,38.

$$b_{ст} = \frac{0,2.}{0,036\sqrt{2*9,81}\ \left(0,27+0,7\right)^{3/2}} = 0,142 \text{ м}$$

В розробку прийнято горизонтальний пісковловлювач, його робочі параметри: довжина L = 8 м, число секцій n=2, ширина секції B=0,47 м, висота H_S=0,48 м.

З врахуванням питомої норми водовідведення n=280 л/доб×люд визначається приведена кількість населення:

$$N_{пр} = \frac{Q_{сер.доб}}{n}, \qquad (3.7)$$

$$N_{пр} = \frac{25200}{280} \times 1000 = 90000 \text{ чол.}$$

Розрахунковий добовий об'єм осаду становить

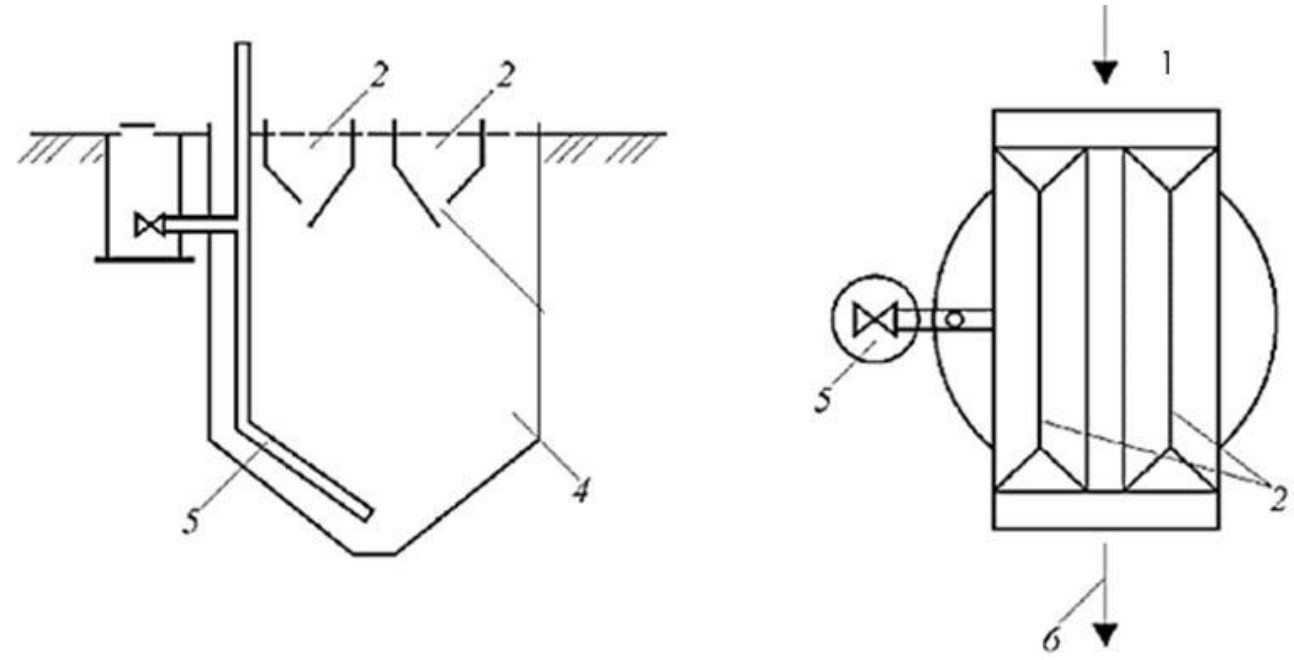
$$\text{V} = \frac{N_{пр} \cdot 0,02}{1000},$$

де 0,02 – питома кількість осаду, яка затримується протягом доби, л/(люд×доб).

$$\text{V} = \frac{90000 \cdot 0,02}{1000} = 1,8 \text{ м}^3 \text{/доб.}$$

3.3. Проєктування первинних відстійників

При реконструкції для первинного відстоювання приймаються двоярусні відстійники [27, п. 10.2.4.3], схема яких представлена на рис. 3.2.



1 - подача стічних вод; 2 - осадові жолоби; 3-поздовжні щілини; 4 - септична частина; 5 - мулова труба; 6 - випуск освітленої води.

Рисунок 3.2 – Схема двоярусного відстійника

Двоярусні відстійники використовуються для очищення стічних вод шляхом їх відстоювання, а також для зброджування та ущільнення осаду. Завдяки простій конструкції ці споруди набули широкого застосування як в Україні, так і за кордоном, особливо на об'єктах невеликої та середньої потужності.

В роботі передбачено встановлення одного двоярусного відстійника, зона відстоювання якого має глибину 7,2 м. З метою забезпечення необхідного ступеня освітлення стічних вод (ефективність очищення — 50%), розрахункова тривалість процесу відстоювання становить 1900 секунд [27, табл. В.1].

Гідравлічна крупність зважених речовин u, м/хв визначена за формулою

$$u = \frac{H}{3,6} \times t, \qquad (3.8)$$

де H – висота осаджувального жолоба, H_{set}=1,2 м

t – тривалість процесу, t=31,6 хв [27, табл. В.1];

$$u = \frac{1{,}200}{3{,}6} \times 31{,}6 = 10{,}53 \frac{\text{м}}{\text{хв}}.$$

Загальний об'єм всіх жолобів $W_{\text{ж}}$ визначається за формулою:

$$W_{\text{ж}} = q \times t, \tag{3.9}$$

де q – розрахункова максимальна витрата, м^3/с, $q = 0{,}45$ м^3/с;

t – тривалість знаходження води в жолобі, год, приймається до 2 годин, $t = 2$ год.

$$W_{\text{ж}} = 0{,}4512 \times 2 = 0{,}9 \text{ м}^3.$$

Тоді площа перерізу одного жолоба становить:

$$\omega = \frac{W_{\text{ж}}}{L} \times n \times n_{\text{жел}}\ , \tag{3.10}$$

L – довжина жолоба, м, L=1,2 м;

n – кількість двоярусних відстійників;

$n_{\text{ж}}$ – число жолобів в відстійнику. $n_{\text{ж}}$=2.

$$\omega = \frac{0{,}9}{1{,}2} \times 1 \times 2 = 1{,}5.$$

Об’єм камери для збридження:

$$W_{\text{заг}} = W_{\text{ил}} \times N_{\text{пр}}\ , \tag{3.11}$$

$W_{\text{ил}}$ – об’єм септичної камери $W_{\text{мул}}$ =65л /на одного жителя [2, с. 128]

$N_{\text{пр}}$ – приведена кількість мешканців. 900 тис.меш.

$W_{\text{заг}}$ =65×900=585500 л=585 м^3.

3.4. Технічний розрахунок біофільтраційного блоку

Біофільтр являє собою місткість, заповнену фільтрувальним завантаженням, поверхня якого вкрита біологічною плівкою, що складається з мікроорганізмів. Ці мікроорганізми здатні поглинати та окиснювати органічні забруднення, присутні в стічних водах.Схема краплинного біофільтра показана на рис. 3.3.

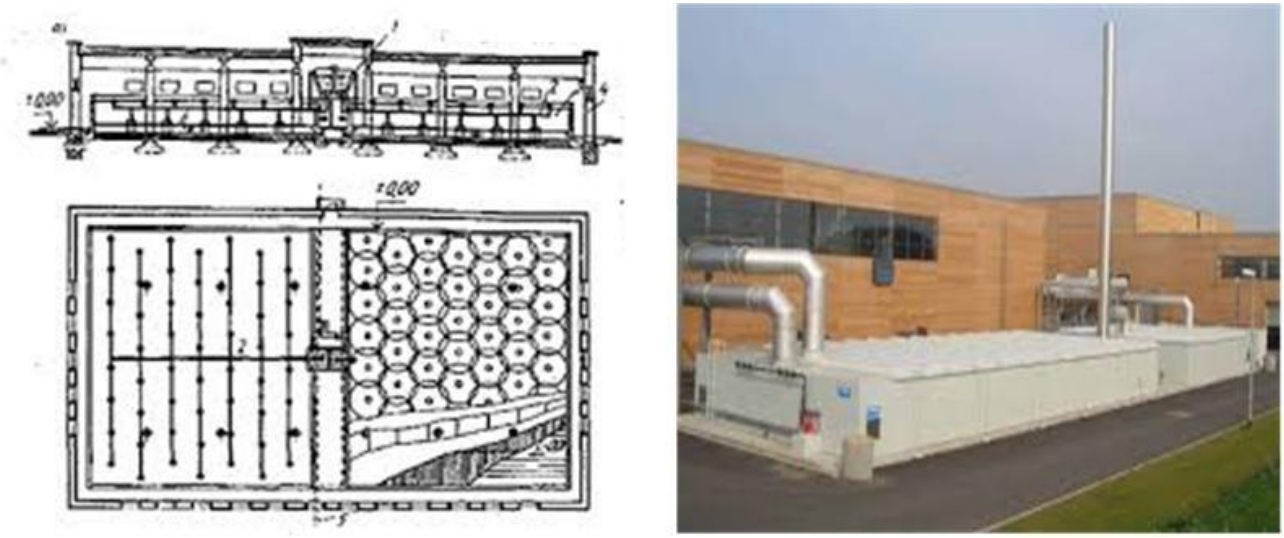


Рисунок 3.3 – Схема краплинного біофільтра

Розміри біофільтрів приймаються відповідно до [27, п. 10.3.1.2]. При визначенні робочих параметрів цих споруд приймається величина гідравлічного навантаження q_{af}, $м^3/(м^2 \times добу)$, з урахуванням $БСК_{повн}$ стічних вод та $БСК_{повн}$ для очищеної води: L_{en} і L_{ex}, $мг/дм^3$, середньозимової температури стічних вод T_W, °С:

$$K_{bf} = \frac{l_{en}}{l_{ex}}, \tag{3.12}$$

$$K_{bf} = \frac{l_{en}}{l_{ex}} = 3{,}11$$

Загальна площа біофільтрів, $м^2$ визначається за формулою

$$F_{bf} = \frac{Q}{q_{af}}, \quad (3.13)$$

де Q – добова витрата стічних вод, м^3/доб;

q_{af} – гідравлічне навантаження [27], q_{af}=20

$$F_{bf} = \frac{25200}{20} = 1260 \text{ м}^2.$$

З урахуванням висоти завантаження H_{af} та площі біофільтра розраховується об'єм фільтрувального матеріалу:

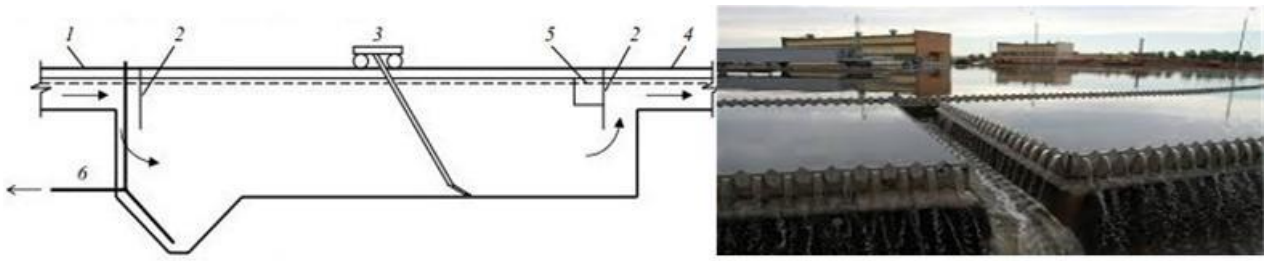
$$V_{af} = H_{af} \times F_{bf}. \quad (3.14)$$

$$V_{af} = 2{,}7 \times 1260 = 3402 \text{ м}^3.$$

Добова кількість біоплівки, яка виводиться з біофільтрів, становить 28 г сухої речовини на одну особу при вологості 96 %. Розміри одного біофільтра прийнято такими: висота – 2,7 м, довжина – 13,85 м, ширина – 10,95м. Загальна кількість секцій – 2 одиниці, причому всі вони перебувають у робочому стані.

3.5. Опрацювання параметрів вторинних відстійників

Для відокремлення стічної води від біоплівки застосовуються вторинні відстійники відповідно до [27, п. 10.3.3.1]. З урахуванням продуктивності станції та компонування споруд для вторинного відстоювання застосовується горизонтальний відстійник [27, п. 10.3.3.2], схема якого показана на рис. 3.4. Горизонтальний відстійник призначений для механічного видалення завислих речовин зі стічної води шляхом гравітаційного осадження. Вода надходить у відстійник через вхідний канал, після чого рівномірно розподіляється по всій ширині споруди.



1 – підвідний лоток; 2 – напівзаглибна дошка; 3 – скребковий візок; 4 – відвідний лоток;
5 – лоток для збору плаваючих забруднень;6 – виведення осаду

Рисунок 3.4 – Схема горизонтального відстійника

У зоні відстоювання швидкість руху потоку знижується, що створює умови для осідання частинок, щільність яких вища за щільність води. Осад поступово накопичується в нижній (муловій) частині відстійника, яка має похиле дно або відповідну геометрію для спрямування осаду до зон його видалення. Освітлена вода відводиться з поверхні за допомогою переливних пристроїв або лотків.

Гідравлічне навантаження на вторинний відстійник розраховується відповідно до [27, п. 10.3.3.3] за формулою

$$q_{ssb} = 3{,}6 \times K_{set} \times U_o \qquad (3.15)$$

де K_{set} – коефіцієнт використання об'єму, для горизонтальних відстійників 0,5 [27, табл. 21];

U_o – гідравлічна крупність, для біоплівки приймається 1,4 мм/с;

$$q_{ssb} = 3{,}6 \times 0{,}5 \times 1{,}4 = 2{,}52 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \times \text{год}).$$

Площа одного відстійника розраховується за формулою

$$F = \frac{Q_{макс.год}}{n \times q_{ssa}}, \qquad (3.16)$$

$$F = \frac{1050}{1 \times 2{,}52} = 417 м^2.$$

Відстійник має прямокутну горизонтальну форму з чітко розділеними зонами:

- вхідна камера забезпечує рівномірне розподілення потоку;
- зона відстоювання (глибиною 3 м) призначена для осідання твердих частинок;
- мулова частина (висотою 0,6 м) розташована в нижній частині споруди та виконує функцію збору осаду;
- переливна система (на виході) виконує функцію відведення очищеної води;
- за потреби передбачена система видалення осаду, яка може бути механізованою (наприклад, з використанням скребків або насосів).

3.6 Оцінка ефективності хлорування та проєктування контактних резервуарів

Відповідно до [27, п.10.6.1] очищені стічні води знезаражуються перед випуском у водойму: застосовуються контактні резервуари та хлораторна установка з приготуванням рідкого хлору, споруди для змішування і контакту води з хлорною водою, розрахункова продуктивність $Q_{сер.доб} = 25200$ м^3 / добу.

В розрахунках враховується максимальна годинна витрата:

$$q_{макс.год} = \frac{Q_{сер.доб}}{24},$$

$$q_{макс.год} = \frac{25200}{24} = 1050 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Для знезараження прийнято дозу хлору - $D_{хл} = 3$ г / м3.

Витрата хлору за 1 годину при максимальній витраті:

$$q_{хл} = \frac{D_{хл} \times q_{макс.год}}{1000}, \quad (3.17)$$

$$q_{хл} = \frac{3 \times 1050}{1000} = 3{,}15 \text{ кг/год}.$$

В хлораторній передбачається улаштування двох хлораторів ЛОНІІ-100 з ротаметром типу РС-5: один робочий та один резервний.

Число балонів для випарювання хлору:

$$n = \frac{q_{хл}}{S_{бал}},$$

де $S_{бал}$ – вихід з одного балона, 0,7 кг / год.

$$n = \frac{3,15}{0,7} = 4,5.$$

Відповідно до результатів розрахунку прийнято балони місткістю 40 л, що містять 50 кг рідкого хлору.

Знезараження здійснюється на двох випарних установках, де здійснюються процеси випаровування та дозування хлору: одна робоча та одна резервна. В установку подається питна вода, з тиском 0,4 МПа і витратою

$$Q = q_{хл} \times q_{в} \quad , \qquad (3.18)$$

$$Q = 6,3 \times 0,4 = 2,52 \text{ м}^3/\text{год}.$$

де $q_в$ – норма витрати води на 1 кг хлору, 0,4 м3 / кг.

Розчин хлору для знезараження подається у стічну воду перед лотком Паршаля, який має горловину діаметром 300 мм, що забезпечує ефективне первинне перемішування реагенту. Подальше змішування та витримування відбувається у спеціально спроєктованих контактних резервуарах, конструктивно подібних до горизонтальних відстійників. Таке рішення гарантує належний контакт хлору з водою для досягнення необхідного знезаражувального ефекту. Об'єм резервуарів

$$V_{к.р.} = \frac{T \times q_{макс.час}}{60}, \qquad (3.19)$$

де Т – тривалість контакту хлору зі стічною водою, Т = 30 хв.

Із врахуванням швидкості руху стічних вод в контактних резервуарах 10 мм/м визначається довжина резервуара

$$L = v \times T \quad , \tag{3.20}$$

$$L = \frac{10 \times 30 \times 60}{1000} = 18 \text{ м.}$$

Площа поперечного перерізу

$$\omega' = \frac{V_{\text{к.р.}}}{L} \ , \tag{3.21}$$

$$\omega' = \frac{525}{18} = 29{,}2 \text{ м}^2$$

Враховуючи глибину H = 2,8 м та ширину відділення b = 6 м, кількість секцій становить

$$n = \frac{\omega'}{b \times H} \quad , \tag{3.22}$$

$$n = \frac{29{,}2}{6 \times 2{,}8} = 1{,}73 = 2 \text{ шт.}$$

Фактична тривалість контакту води з хлором в годину максимального припливу води

$$T = \frac{V_{\text{к.р.}}}{q_{\text{макс.год}}} = \frac{n \times b \times H \times L}{q_{\text{макс.год}}} \ , \tag{3.23}$$

$$T = \frac{2 \times 6 \times 2{,}8 \times 18}{1050} = 0{,}57 \text{ год.}$$

Схема контактного резервуара показана на рис.3.5.

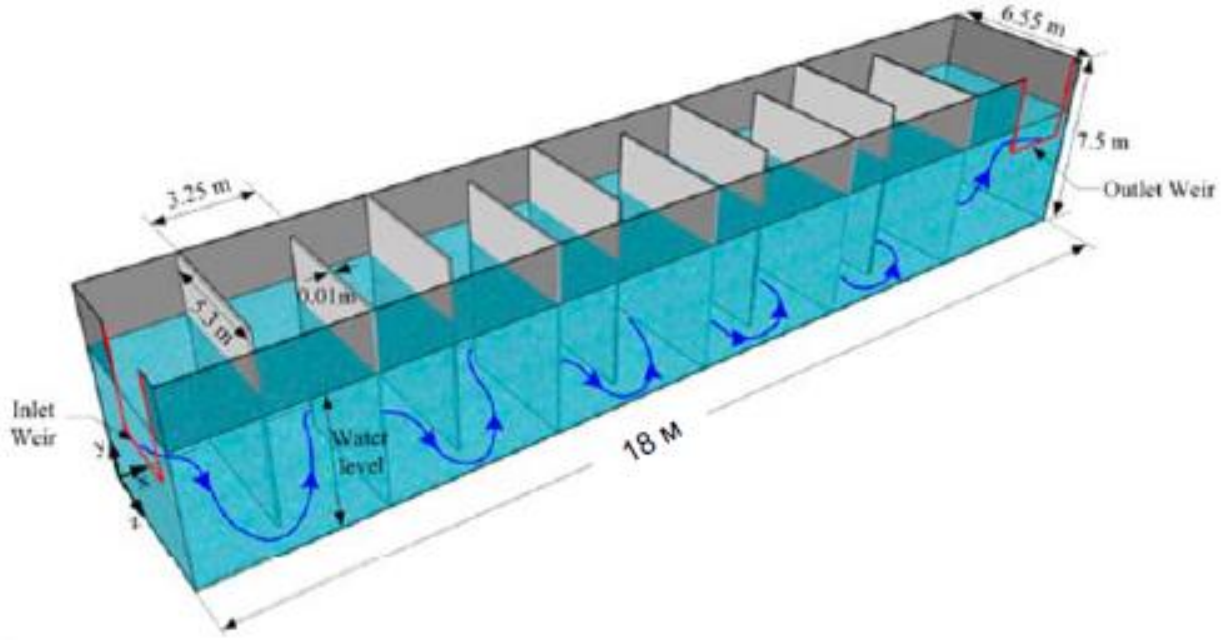


Рисунок 3.5 – Схема контактного резервуара

Розчин хлору для дезінфекції подається в стічну воду перед лотком Паршаля, що має горловину діаметром 300 мм, забезпечуючи рівномірне введення реагенту. Подальше змішування хлору зі стічною водою відбувається у спеціально спроєктованих контактних резервуарах, конструктивно подібних до горизонтальних відстійників. Ці резервуари забезпечують необхідний час контакту хлору з водою для досягнення ефективного знезараження.

РОЗДІЛ 4. ЕКОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ

4.1 Вплив реконструйованих очисних споруд на навколишнє середовище

У кваліфікаційній роботі передбачено реконструкцію очисних споруд каналізації загальною продуктивністю 28 800 м³/добу, що спрямована на підвищення ефективності очищення стічних вод до нормативних показників та зменшення техногенного навантаження на водні об'єкти, які є реципієнтами скидів. Реалізація реконструкції обумовлена необхідністю адаптації технологічної схеми до сучасних вимог природоохоронного законодавства, енергоефективності та раціонального використання простору в межах наявної інфраструктури.

Одним із ключових проєктних рішень є заміна застарілих вертикальних відстійників на двох’ярусну конструкцію, що дозволяє досягти значного підвищення ефективності механічного видалення завислих речовин за рахунок збільшення площі осадження та оптимізації гідравлічних режимів у відстійній зоні. Додатковою перевагою впровадження двох’ярусного типу є зменшення займаної площі земельної ділянки, що є особливо актуальним в межах щільної урбанізованої забудови, а також зниження капітальних і експлуатаційних витрат.

Ще одним технологічним удосконаленням є впровадження біофільтрів замість класичних аеротенків. Такий підхід є екологічно доцільним і енергозберігаючим, оскільки біофільтри забезпечують інтенсивне біологічне розщеплення органічних забруднень за участі фіксованих мікроорганізмів без потреби в постійному аеруванні всього об’єму стічної води. Це, у свою чергу, дозволяє знизити витрати електроенергії на аерацію, скоротити експлуатаційні витрати та зменшити утворення надлишкового активного мулу, що потребує подальшої переробки або утилізації.

У результаті впроваджених рішень досягається стійке зниження ризиків вторинного забруднення водних об’єктів, зменшуються обсяги шкідливих скидів у довкілля. Зокрема, очікується значне зниження концентрацій біохімічної потреби в

кисні ($БСК_5$), завислих речовин, а також сполук азоту (амонійного, нітратного) та фосфору в скидах, що забезпечує відповідність скиду очищених стічних вод до вимог нормативів охорони водних ресурсів.

Отже, модернізована технологічна схема має екологічно обґрунтований характер та сприяє збалансованому розвитку водного господарства з урахуванням вимог сталого природокористування.

4.2 Екологічна ефективність технологічної схеми очищення

Проєктна схема передбачає використання таких основних споруд:

- горизонтальний піскоуловлювач (довжина – 8 м, 2 відділення шириною 0,47 м, робоча глибина – 0,48 м), що забезпечує ефективне вилучення мінеральних домішок на ранньому етапі;
- двоярусний відстійник з глибиною зони відстоювання 7,2 м, який дає змогу інтенсифікувати процеси осадження та підвищити ефективність механічного очищення;
- біофільтри (висота – 2,7 м; довжина – 13,85 м; ширина – 10,95 м), які забезпечують стабільне біологічне розщеплення органічних речовин;
- вторинний горизонтальний відстійник (глибина – 3,6 м; зона відстоювання – 3,0 м; довжина – 42 м; ширина – 15 м; висота мулової зони – 0,6 м), що виконує функцію доочищення та відокремлення біологічного мулу.

Сумарна розрахункова пропускна здатність – 1480 $м^3$/год, при цьому передбачено дві секції, що забезпечують резервування і гнучкість експлуатації.

4.3 Прогноз зміни якості стічних вод та впливу на водні об’єкти

Завдяки впровадженню нової технологічної схеми очікується:

- зменшення навантаження забруднюючих речовин на приймач стоку;
- досягнення показників очищення відповідно до [27];
- зниження ймовірності вторинного забруднення через дифузні джерела або недостатню ефективність застарілих споруд.

Упровадження двоярусних відстійників дає змогу скоротити час затримки стічних вод у системі та підвищити ступінь осадження завислих речовин. Біофільтри забезпечують стабільне біологічне розкладання забруднень, зменшуючи органічне навантаження на водні об'єкти.

Загалом, реконструкція спрямована на зниження антропогенного тиску на довкілля та поліпшення екологічного стану річкових екосистем, які залежать від якості скидів очищених вод.

4. 4 Розрахунок ефективності очищення стічних вод

Оцінка ефективності роботи очисних споруд проводиться шляхом порівняння концентрацій забруднюючих речовин у вхідних і вихідних потоках. Основними контрольованими показниками є:

- біохімічна потреба в кисні ($БПК_5$),
- хімічна потреба в кисні (ХПК),
- завислі речовини,
- сполуки азоту (NH_4^+, NO_3^-),
- фосфати.

Для кожного параметра ефективність очищення розраховується за формулою:

$$\eta=((Свх-Свих)/Свх)\times100\%, \quad (4.1)$$

де η – ефективність очищення, %

Свх – концентрація забруднюючої речовини на вході, мг/л

Свих – концентрація забруднюючої речовини на виході, мг/л

Для очисних споруд із продуктивністю 28 800 м³/добу та впровадженими двох'ярусними відстійниками і біофільтрами типовими є такі значення ефективності:

- $БПК_5$ – до 95÷97 %;
- завислі речовини – 85÷90 %;
- амонійний азот – 75÷85 %;
- фосфати – до 60÷70 %.

Таким чином, модернізована система здатна забезпечити якість очищеної води відповідно до чинних екологічних нормативів [27], що мінімізує вплив скиду на довкілля.

4.5 Оцінка впливу очисних споруд на ґрунтові води

Очисні споруди можуть чинити вплив на підземні води переважно у разі порушення герметичності конструкцій, недотримання режиму експлуатації чи в разі розташування в зоні з високим рівнем ґрунтових вод.

З метою запобігання негативному впливу в проєкті передбачено:

- застосування герметичних бетонних конструкцій піскоуловлювачів, відстійників та біофільтрів;
- облаштування протифільтраційних екранів та гідроізоляції в зонах із можливим просочуванням;
- дистанційне відведення очищеної води у водний об'єкт, без безпосереднього впливу на прилеглі ґрунтові горизонти;
- можливість моніторингу рівня та якості підземних вод через спостережні свердловини.

Розрахункова глибина закладення споруд (від 3,6 до 7,2 м) передбачає мінімальний контакт із водоносними горизонтами, що додатково знижує ризик впливу на якість ґрунтових вод.

З урахуванням вжитих проєктних рішень негативний вплив на підземні води вважається незначним або відсутнім.

ВИСНОВКИ

1. У результаті проведеного аналізу надано характеристику населеного пункту, що включає демографічні дані, особливості географічного положення та санітарно-технічні показники. Встановлено, що наявні системи водовідведення та очищення потребують модернізації з огляду на зростання кількості населення та навантаження на природні водні ресурси.

2. На основі чисельності населення, наявності промислових підприємств і комунально-побутових джерел забруднення виконано розрахунок добового обсягу стічних вод, що підлягають очищенню. Розрахункове навантаження склало 28 800 м³/добу, що було прийнято як проєктна потужність очисних споруд.

3. Виконано розрахунок параметрів основних споруд очисної станції, включаючи: приймальну камеру, горизонтальні пісковловлювачі, двоярусний первинний відстійник, біофільтри, вторинні горизонтальні відстійники, хлораторну установку та контактні резервуари. Розрахункові параметри підтверджують відповідність пропускної спроможності та забезпечують нормативну ефективність очищення.

4. Розроблене екологічне обґрунтування впровадженої технологічної схеми доводить, що запропоновані конструктивні та технологічні рішення дозволяють значно знизити рівень забруднення стічних вод, мінімізувати вплив на поверхневі та підземні води, а також підвищити загальну екологічну безпеку регіону.

5. Впровадження біофільтрів та двоярусних відстійників забезпечує енергоефективність, зменшення обсягів утворення мулу та економію площі забудови, що є важливим у сучасних умовах сталого розвитку і ресурсоощадження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Маленко Я.В., Ворошилова Н.В., Кобрюшко О.О., Перерва В.В. Загальна екологія: навчальний посібник. Кривий Ріг: КДПУ, 2023. 231 с.URL: https://elibrary.kdpu.edu.ua/bitstream/123456789/7093/1/%D0%9F%D0%BE%D1%81%D1%96%D0%B1%D0%BD%D0%B8%D0%BA.pdf

2. Пальченко О.Л. Водні ресурси та їх охорона: тексти лекцій. Харків: ХНУБА, 2021. 84 с. URL: https://surl.li/efamfy

3. Лико С.М., Суходільська І.Л. Гідроекологія : навчальний посібник. Київ : Кондор. 2017, 213 с. URL: https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2019/Liko_2017_212.pdf

4. Державна служба статистики України. *Довкілля України* : статистичний збірник. Київ, 2023, 149 с. URL: *https://surl.li/hrhgmy*

5. Гребеник Г. В., Сахно О. О. Екологічна оцінка ефективності очищення питної води на водопровідних спорудах КП «Житомирводоканал». *Науковий горизонт*. 2018. № 7–8. С. 60–65.
URL: https://sciencehorizon.com.ua/uk/journals/7-8-70-2018/yekologichna-otsinka-yefyektivnosti-ochishchyennya-pitnoyi-vodi-na-vodoprovidnikh-sporudakh-kp-zhitomirvodokanal

6. Редько А. О. Біологічні методи очищення стічних вод: перспективи застосування в Україні. *Електронний репозитарій НАУ*. 2019. URL: https://er.nau.edu.ua/handle/NAU/40889

7. Сігал І. М., Литвиненко І. М. Сучасні підходи до очищення води : порівняльна ефективність технологій. *Наукові вісті КПІ*. 2021. № 3(1131). С. 14–20. URL: https://kpi.ua/1131-3

8. Державне агентство водних ресурсів України : щорічна доповідь про стан водних ресурсів України. 2022.
URL: https://davr.gov.ua/news/shchorichna-dopovid-pro-stan-vodnykh-resursiv-ukrainy

9. Мокін В. І. *Раціональне використання та відновлення водних ресурсів*. ResearchGate. 2016. URL: https://www.researchgate.net/publication/304580971_Rational_Use_and_Restoration_of_Water_Resources

10. Сафранов Т., Берлінський Н., Волков А. *Водні ресурси України: використання, якісний та кількісний аналіз*. *Environmental Problems*. 2016. Т. 1(2). С. 50–56. URL: https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2017/jun/3561/fulltext714.pdf

11. Оскольський В. В. *Раціональне використання водних ресурсів як фактор забезпечення національної безпеки України :* доповідь на Всеукраїнській науково-практичній конференції, 2012.
URL: https://seu.org.ua/wp-content/uploads/2013/12/voda.pdf

12. Державне агентство водних ресурсів України. *Водні ресурси України: офіційна статистика*. 2023.
URL: https://davr.gov.ua/news/shchorichna-dopovid-pro-stan-vodnykh-resursiv-ukrainy

13. Булавенко Р. В., Степова О. В., Рома В. В. Доочищення стічних вод підприємств харчової промисловості за допомогою споруд біоплато. *Scientific Progress & Innovations*. 2012. №4. С. 36–40.
URL: journals.pdau.edu.uajournals.pdau.edu.ua

14. Кузьмінський Є. В. Біотехнологія очищення стічних вод різноманітного походження з одночасним одержанням електрики : завершені науково-дослідні роботи КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2024.
URL: report.kpi.uareport.kpi.ua

15. Єрмак А. В. Денітрифікація стічних вод методом фіторемедіації : кваліфікаційна робота. Київ: КНУТД, 2024.
URL: er.knutd.edu.uaer.knutd.edu.ua

16. Лісовець С. М., Томашевський Д. І. Підвищення ефективності очищення стічних вод за допомогою електролізної установки. *Технології та дизайн*. 2018. №4

(29).
URL: https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/10880
17. Недашковський І. П., Василюк А. В. Вдосконалення технології очищення стічних вод на біофільтрах. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки.* 2017. Вип. 28. С. 236–243.
URL: https://repositary.knuba.edu.ua/items/e8bba30a-00b0-4ca2-a5c2-9353e1494238
18. Кузьмінський Є. В. Біотехнологія очищення стічних вод різноманітного походження з одночасним одержанням електрики : завершені науково-дослідні роботи КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2024.
URL: https://report.kpi.ua/uk/0109V000974
19. Khan, S. A., & Mahanwar, P. A. (2020). Nanotechnology in water treatment: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(3), 103627. URL: https://www.journals.elsevier.com/journal-of-environmental-chemical-engineering
20. Zhang, H., & Huang, Q. (2018). Application of nanomaterials in wastewater treatment: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(2), 1393–-1405. URL: https://www.springer.com/journal/11356
21. Asim Ali Yaqoob, Tabassum Parveen, Khalid Umar. Role of Nanomaterials in the Treatment of Wastewater: A Review. URL: file:///C:/Users/admin/Downloads/water-12-00495-v2.pdf
22. Gude, V. G. (2017). Desalination and water reuse to address global water scarcity. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 16(4), P.591–609. URL: https://www.springer.com/journal/11157
23. Lazarova, V., & Bahri, A. (2005). *Water Reuse for Irrigation: Agriculture, Landscapes, and Turf Grass*. World Bank. URL: https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/13655
24. Rodríguez, C., Van Buynder, P., Lugg, R., Blair, P., Devine, B., Cook, A., & Weinstein, P. (2009). Indirect potable reuse: A sustainable water supply alternative.

International Journal of Environmental Research and Public Health, 6(3), 1174–1209. URL: https://www.mdpi.com/journal/ijerph

25. European URL: from: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32020R0741

26. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Guidelines for Water Reuse. 2012. URL: : https://www.epa.gov/waterreuse

25. ДБН В.2.5 – 74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ : Міністерство регіонального розвитку будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. 172 с. (Інформація та документація). URL: https://dreamdim.ua/wp-content/uploads/2018/08/1084_DBN_V.2.5-74_2013-DREAMDIM.pdf

26. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія. [Чинний від 2011-11-01]. Вид. офіц. Київ : Міністерство регіонального розвитку будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. 127 с. (Інформація та документація). URL: https://surl.li/cikaau

27. ДБН В.2.5-75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ : Міністерство регіонального розвитку будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. 211 с. (Інформація та документація). URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-1045