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 ВДОСКОНАЛЕННЯ МІСЬКОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ»**

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

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

Іванічкіну Олексію Романовичу
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Технологічні рішення вдосконалення міського водопостачання затверджено наказом ЗНУ від «26» грудня 2024 року № 2028-с
2. Строк подання роботи: *15.06.2025*

3. Вихідні дані до роботи: *продуктивність 50105 м³/доб; якісні показники природної води (додаток 1 до завдання).*
4. *Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що належить розробити): 1. Аналіз сучасного стану розвитку технологій водопостачання. 1.1 Сучасні виклики міського водопостачання: світовий та локальний досвід. 1.3 Перспективи та стратегії вдосконалення міського водопостачання. 2. Обґрунтування технології водопідготовки. 2.1 Аналіз вихідної води в джерелі. 2.2 Розрахунок продуктивності очисних споруд. 2.3 Обґрунтування технологічної водопідготовки та складу очисних споруд. 3. Розрахунок споруд для водопідготовки. 3.1 Висотна схема комплексу очисних споруд. 3.2 Визначення конструктивних особливостей змішувачів. 3.3 Інтенсифікація відстоювання води. 3.3.1 Визначення конструктивних особливостей відстійників. 3.3.2 Камера пластівцеутворення. 3.3.3 Конструктивні рішення для освітлення води. 3.4 Розрахунок швидких фільтрів. 3.5 Розрахунок резервуарів чистої води. 3.6 Знезараження води. 4. Екологічні обґрунтування технологічних рішень. 4.1 Розробка очисних споруд для промивних вод після фільтрів. 4.1.1 Розрахунок витрат промивних вод. 4.1.2 Визначення конструктивних розмірів приймальних резервуарів. 4.1.3 Розрахунок пісковловлювачів. 4.1.4 Розрахунок згущувачів. 4.1.5 Розрахунок споруд*

зневоднення осадів. 4.2 Екологічне обґрунтування інженерної системи водопідготовки. Висновки. Список використаної літератури.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
1.Генплан очисних будівель та споруд.2. Висотна схема. 3. Будівля очисних споруд. 4. Будівля очисних споруд: розрізи 1-1; 2-2. 5. Згущувач. 6. Споруди для очищення промивних вод.

6. Консультанти розділів роботи

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 сучасного стану розвитку технологій водопостачання.	20.04.25	
2	Листи 1-2.	05.05.25	
3	Розділ 2. Обґрунтування технології водопідготовки.	15.05.25	
4	Листи 3,4.	20.05.25	
5	Розділ 3. Розрахунок споруд для водопідготовки.	25.05.25	
	Розділ 4. Екологічне обґрунтування технологічних рішень.	31.05.2025	
6	Листи 5-6.	06.06.25	
7	Презентація підготовка доповіді.	10.06.25	
8	Попередній захист	15.06.25	

Студент _____ О.Р. Іванічкін
(підпис) (ініціали та прізвище)

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

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

Додаток 1

Таблиця 2.1 – Основні якісні показники води річки

№ з/п	Показник	Позначення	Одиниці виміру	Значення
1.	Каламутність	М	мг/л	180
2.	Колір	Ц	град.	75
3.	pH води	pH	–	8,4
4.	Температура:			
	Влітку	t	^oC	22
	Взимку	t	^oC	0
5.	Твердість	Ж	мг-екв./л	6,0
6.	Лужність	$Щ_o$	мг-екв./л	2,1
7.	Вміст:			
	- кальцію	$[Ca^{2+}]$	мг-екв./л	4,8
	- магнію	$[Mg^{2+}]$	мг-екв./л	1,2
	-натрію і калію	$[Na^+]+[K^+]$	мг/л	21,0
	-хлоридів	$[Cl^-]$	мг/л	52,0
	-сульфатів	$[SO_4^{2-}]$	мг/л	100,0
8.	Сухий залишок	Р	мг/л	478

ЗМІСТ

ВСТУП……7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ ВОДОПОСТАЧАННЯ…….9
1.1 Сучасні виклики міського водопостачання…….....9
1.2 Інноваційні технології в системах водопостачання: світовий та локальний досвід……..12
1.3 Перспективи та стратегії вдосконалення міського водопостачання….....18
РОЗДІЛ 2 ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВОДОПІДГОТОВКИ……..24
2.1 Аналіз вихідної води в джерелі…….....24
2.2 Розрахунок продуктивності очисних споруд …….24
2.3 Обґрунтування технологічної водопідготовки та складу очисних споруд……25
РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК СПОРУД ДЛЯ ВОДОПІДГОТОВКИ……28
3.1 Висотна схема комплексу очисних споруд……28
3.2 Визначення конструктивних особливостей змішувачів……...……29
3.3 Інтенсифікація відстоювання води…….33
3.3.1 Визначення конструктивних особливостей відстійників……..33
3.3.2 Камера пластівцеутворення……..38
3.3.3 Конструктивні рішення для освітлення води…….....41
3.4 Розрахунок швидких фільтрів…….43
3.5 Розрахунок резервуарів чистої води…….....51
3.6 Знезараження води……...52
4. ЕКОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ…….54
4.1 Розробка очисних споруд для промивних вод після фільтрів……54
4.1.1 Розрахунок витрат промивних вод…… ….54
4.1.2 Визначення конструктивних розмірів приймальних резервуарів..……54
4.1.3 Розрахунок пісковловлювачів……54
4.1.4 Розрахунок згущувачів……56
4.1.5 Розрахунок споруд для зневоднення осадів……...57

4.2 Екологічне обґрунтування інженерної системи водопідготовки……59
ВИСНОВКИ……60
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ……...61

ВСТУП

У сучасних умовах урбанізації, зростання чисельності міського населення та інтенсифікації споживання водних ресурсів, питання ефективного функціонування систем міського водопостачання набуває особливої актуальності. Водопровідно-каналізаційна інфраструктура є ключовим елементом життєзабезпечення міських агломерацій, а її технічний стан та енергоефективність безпосередньо впливають на якість життя населення, екологічну безпеку та сталий розвиток міських територій. Для України важливим питанням є відбудова зруйнованої інфраструктури, тому забезпечення якісного водопостачання має пріоритетне значення. Вдосконалення міського водопостачання є актуальним, комплексним завданням, що потребує ґрунтовного технічного, економічного та нормативного аналізу. Дослідження цієї проблематики дозволить сформувати науково обґрунтовані рекомендації щодо підвищення ефективності функціонування систем водопостачання з урахуванням українських реалій і міжнародного досвіду.

Тема кваліфікаційної роботи відповідає актуальному напрямку вдосконалення систем міського водопостачання, що є пріоритетним завданням у сфері житлово-комунального господарства та сталого розвитку урбанізованих територій. Метою роботи є обґрунтування ефективних технічних та організаційних рішень щодо розробки та модернізації водопровідних об’єктів заданої продуктивності з урахуванням сучасних вимог до якості питної води, енергоефективності та екологічної безпеки.

Завдання кваліфікаційної роботи:

1. Проаналізувати сучасний стан систем міського водопостачання та виявити основні проблеми, пов’язані з якістю питної води та ефективністю її підготовки.
2. Обґрунтувати вибір оптимальної технології водопідготовки для заданих умов, з урахуванням вихідної якості води, санітарно-гігієнічних вимог та чинних нормативних документів.

3. Виконати інженерний розрахунок основних споруд для водопідготовки, зокрема визначити необхідні параметри обладнання, гідравлічні характеристики та технологічну послідовність очищення.
4. Провести екологічне обґрунтування запропонованих технологічних рішень, оцінивши їх вплив на навколишнє природне середовище та можливість інтеграції енергоефективних та ресурсоощадних підходів.
5. Сформулювати висновки та рекомендації щодо практичного впровадження обраної технології в умовах міського середовища.

Технологічні методи очищення води**:** введення реагентів для корекції складу води**,** процеси відстоювання з метою видалення завислих частинок**,** фільтрація, повторне використання промивної води після очищення, що дозволяє зменшити загальний обсяг споживання свіжої води.

Екологічна доцільність застосованих рішень полягає в тому, що застосування системи повторного використання очищеної промивної води дозволяє значно знизити кількість стічних вод**,** що скидаються до відкритих водних об’єктів. Це сприяє не лише раціональному використанню води **та** зниженню експлуатаційних витрат**,** але й підвищенню рівня екологічної безпеки регіону**.**

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ ВОДОПОСТАЧАННЯ

1.4 Сучасні виклики міського водопостачання

У сучасних умовах міське водопостачання стикається з низкою викликів, що обумовлені зростанням урбанізації, зміною клімату, застарілою інфраструктурою, техногенними впливами та зростаючими екологічними вимогами. Забезпечення населення якісною питною водою в достатній кількості є одним із найважливіших завдань муніципального управління та державної політики у сфері житлово-комунального господарства.

Інтенсивне розширення міських територій, збільшення кількості населення, зростання промислового виробництва та сфери послуг призводять до постійного зростання попиту на воду. Це створює додаткове навантаження на джерела водопостачання та системи подачі води, які часто не розраховані на сучасні обсяги споживання. Так у місті Києві за останні 10 років споживання води зросло майже на 20% через активну забудову житлових масивів, зростання кількості новобудов та комерційних об’єктів. Це спричиняє збільшення навантаження на Дніпровську та Деснянську водозабірні станції [1].

У багатьох містах України та світу система водопостачання була збудована ще в середині XX століття і сьогодні потребує капітальної реконструкції. Старі мережі мають високий рівень зношеності, що призводить до частих аварій, втрат води під час транспортування (іноді до 30-40%), а також до погіршення якості води через корозію труб та вторинне забруднення. Наприклад, у Львові, за даними ЛМКП «Львівводоканал» [2], щороку відбувається понад 3 тисячі поривів трубопроводів через зношеність мереж. У деяких районах використовуються сталеві труби, встановлені ще в 1960-х роках.

Очищення води у міських системах не завжди відповідає сучасним стандартам. Забруднення джерел водопостачання сільськогосподарськими стоками, промисловими відходами та побутовими забруднювачами ускладнює

процес очищення. Крім того, недостатній контроль за станом водозаборів та використання застарілих методів очистки не дозволяють гарантувати безпечну якість питної води. У місті Миколаєві сталося забруднення річки Південний Буг, що призвело до погіршення смаку та запаху води з крана. Це викликало обурення серед мешканців і тимчасовий перехід на використання бутильованої води [3].

Кліматичні зміни спричиняють нерівномірність опадів, зниження рівня води у річках і водосховищах, що негативно впливає на стабільність водопостачання. У деяких регіонах спостерігається періодичне виникнення водного дефіциту, що вимагає пошуку альтернативних джерел води та впровадження водозберігаючих технологій. У місті Ужгород у 2020–2021 роках через посуху спостерігалося зниження рівня води у річці Уж, що вплинуло на обсяги забору води для міських потреб. У відповідь міська влада ввела графік подачі води в окремих районах.

Відсутність достатнього фінансування є суттєвою перешкодою для модернізації систем водопостачання. Через обмеженість бюджетних коштів та воєнні події більшість водоканалів не можуть впроваджувати новітні технології, проводити ремонт мереж або покращувати якість послуг. Інвестиції з боку держави та приватного сектору є необхідними для забезпечення сталого розвитку галузі. У місті Чернівці водоканал не мав змоги вчасно модернізувати насосні станції через обмежений бюджет, що призвело до значних втрат води (понад 35% від загального обсягу подачі) [4].

В багатьох містах відсутня ефективна стратегія управління водними ресурсами, яка б включала комплексний підхід до оцінки водного балансу, прогнозування споживання, моніторингу якості та кількості води, а також впровадження цифрових технологій для оптимізації водопостачання. У Харкові лише в 2023 році почали впроваджувати систему дистанційного контролю втрат води, що дозволяє швидко виявляти аварійні ділянки та знижувати втрати. У Запоріжжі більшість водопровідних мереж побудовані з використанням чавунних труб, на цих ділянках найчастіше виникають аварійні ситуації. На рис.1.1 показана

діаграма діаграми об’ємів витоків для трубопроводів на розподільних та магістральних мережах.

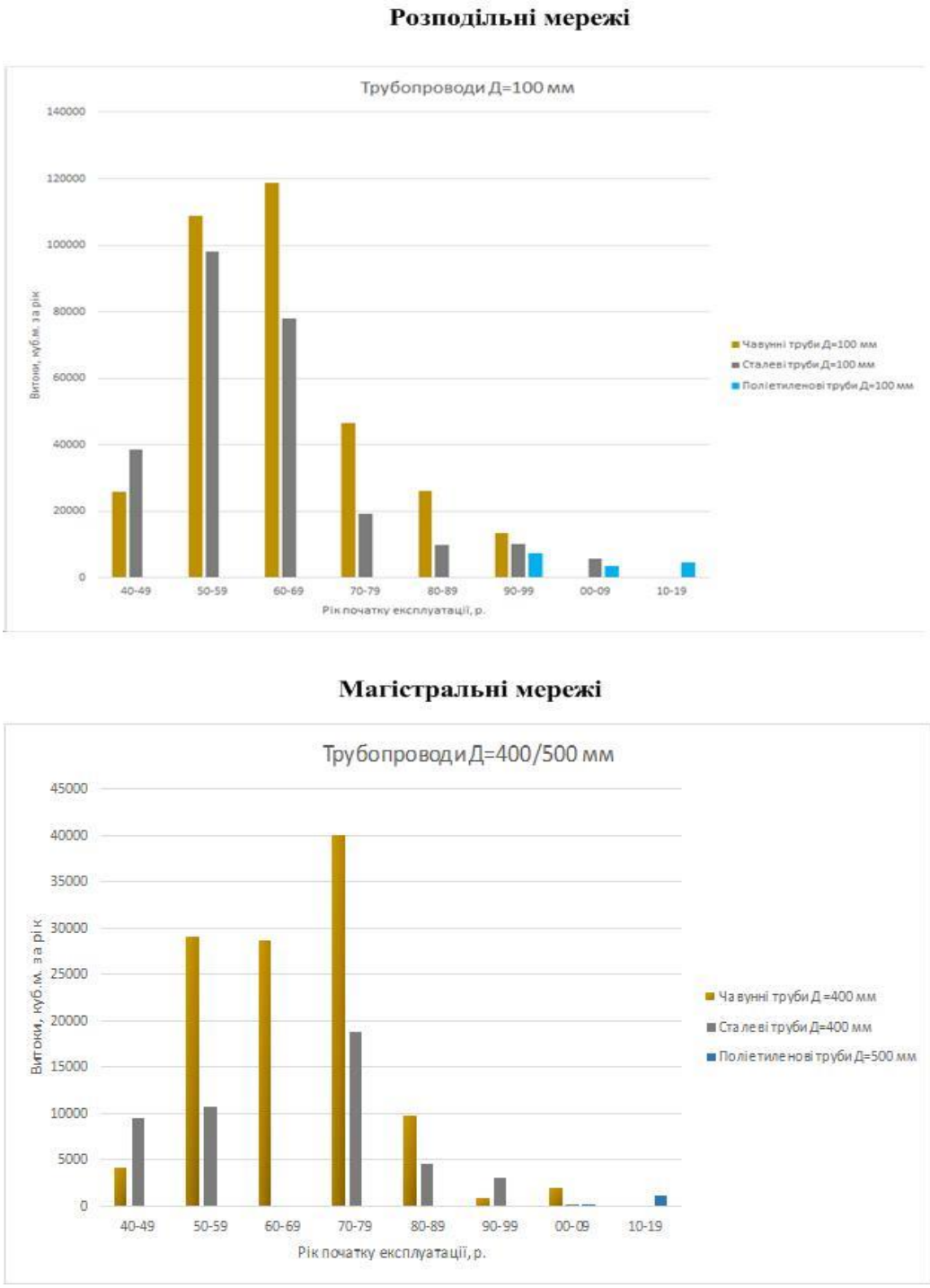


Рисунок 1.1 – Діаграми витоків для труб з різних матеріалів

Найбільші об’єми витоків спостерігаються на мережах із чавунних та сталевих трубопроводів, для ділянок, які експлуатуються з 1970-80 років, що можна

пояснити корозійними процесами у сталевих і чавунних трубах, які також погіршують якість води.

Таким чином, сучасні виклики міського водопостачання потребують комплексного вирішення з урахуванням технічних, екологічних, соціальних та економічних аспектів. Необхідним є реформування систем водопостачання, впровадження інновацій, розвиток інфраструктури та формування культури раціонального споживання води серед населення.

1.5 **Інноваційні технології в системах водопостачання: світовий та локальний досвід**

В умовах зростаючих викликів – таких як кліматичні зміни, воєнні події, урбанізація, обмеженість ресурсів і застаріла інфраструктура – новітні технологічні рішення стають основою модернізації водогосподарського комплексу. Аналіз світового та локального досвіду свідчить про широке застосування інновацій, які підвищують якість послуг, зменшують втрати води, забезпечують контроль якості та оптимізують енергоспоживання.

У країнах Європейського Союзу, США, Сінгапурі та Японії активно впроваджуються «розумні» системи управління водопостачанням [5], що базуються на цифрових технологіях, сенсорах, телеметрії та аналітиці великих даних. Так у місті Барселона (Іспанія) впроваджена система дистанційного моніторингу витрат води з використанням смарт-лічильників та геоаналітики. Це дозволило скоротити втрати води на 25% за 5 років.

В регіонах із дефіцитом прісної води (Саудівська Аравія, Ізраїль, Австралія) масштабно використовуються технології опріснення [7]. Наприклад, у місті Ашдод (Ізраїль) працює одна з найбільших опріснювальних станцій у світі, яка забезпечує до 20% національного споживання води. Станція використовує метод зворотного осмосу, що дозволяє отримувати високоякісну питну воду з мінімальними енергозатратами.

У США (штат Каліфорнія), Сінгапурі та Ізраїлі [8] застосовується практика очищення та повторного використання стічних вод для сільського господарства, промисловості та технічних потреб. У Сінгапурі запроваджено технологію NEWater — високоякісної переробленої води, яку використовують у промисловості та частково для питного водопостачання. Це зменшує залежність країни від імпорту води.

У деяких містах України почали впроваджувати системи автоматичного зчитування показників водоспоживання [9]. Так у Вінниці з 2021 року встановлено понад 5 тисяч смарт-лічильників, які дозволяють комунальному підприємству «Вінницяоблводоканал» віддалено контролювати споживання води, виявляти витоки та покращити облік.

Заміна застарілих насосів на енергоефективні моделі дає змогу зменшити споживання електроенергії. Прикладом може бути той факт, що у місті Житомир реалізовано проєкт за підтримки ЄБРР щодо модернізації насосних станцій, що дозволило зменшити витрати електроенергії на 30% та покращити стабільність водопостачання.

Також впроваджуються системи очищення води на основі мембранних технологій. Так у Черкасах у 2023 році на одній з водоочисних станцій встановлено сучасні фільтраційні установки з ультрафільтрацією. Це дозволило покращити якість води та відповідність її європейським стандартам.

У Львові та Дніпрі реалізуються пілотні проєкти автоматизованого управління водопровідною мережею на основі SCADA-систем (Supervisory Control and Data Acquisition).
Це дозволяє:

- оперативно виявляти аварії;
- регулювати тиск у трубах;
- зменшити втрати води;
- планувати ремонти на основі даних.

На рис. 1.2 показана діаграма, яка ілюструє рівень впровадження інноваційних технологій в системі водопостачання України.

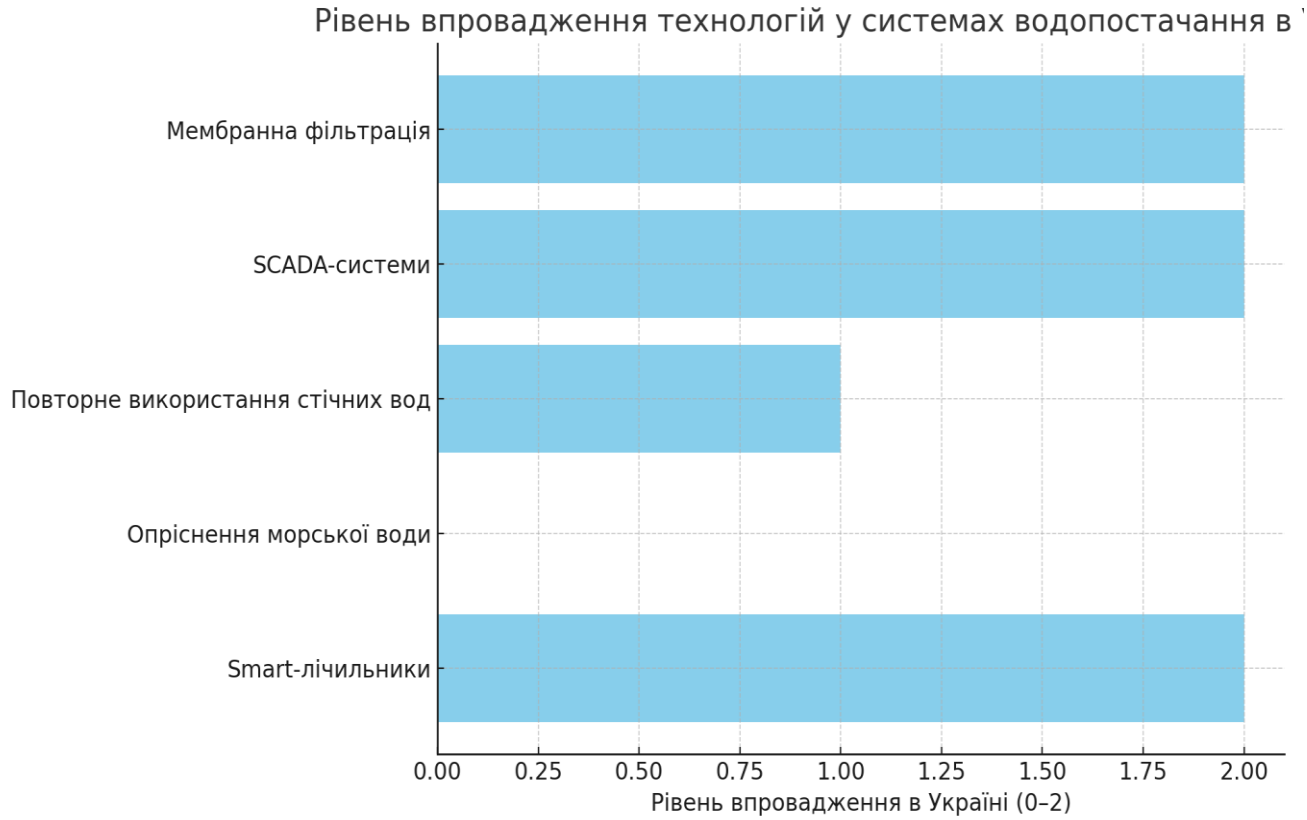


Рисунок 1.2 – Впровадження інноваційних технологій водопідготовки на комунальних підприємствах України

Аналіз переваг та недоліків у застосуванні smart –лічильників, мембранних технологій [10,11], повторного використання стічних вод [12] можна представити у вигляді таблиці на рис. 1.3 та у вигляді таблиці 1.1.



Технологія	Переваги	Недоліки
Smart-лічильники	самостійно веде облік спожитого газу та передає показання оператору	висока вартість у порівнянні зі звичайними приладами обліку
Опріснення морської води	доступ до використання альтернативних джерел	мала кількість очищеної опрісненої води
Повторне використання стічних вод	зменшення тиску на водні ресурси	додаткові витрати на очисні споруди
Мембранна фільтрація	застосування удосконалених матеріалів для нанотехнологій	низька продуктивність процесу

Рисунок – 1.3 Особливості застосування інноваційних технологій в системі водопостачання

Таблиця 1.1 – Порівняльна таблиця технологій

Технологія	Світовий досвід	Локальний досвід (Україна)	Переваги	Недоліки / Обмеження
Smart-лічильники	Іспанія, США, Японія	Вінниця, Київ, Львів	Точний облік, виявлення витоків, зручність для користувачів	Висока вартість встановлення; залежність від цифрової інфраструктури
Опріснення морської води	Ізраїль, Саудівська Аравія, Австралія	Відсутнє	Доступ до нових джерел води в регіонах з дефіцитом	Дуже енергоємне; потребує спеціального обладнання
Повторне використання води	Сінгапур, США, Ізраїль	Пілотні проєкти	Зниження споживання прісної води; зменшення навантаження на екосистему	Потреба у високоякісному очищенні; недовіра населення
Мембранна фільтрація	Японія, Нідерланди, Південна Корея	Черкаси, Львів	Висока якість очищення, мінімізація хімічного впливу	Вартість мембран, потреба у технічному обслуговуванні
SCADA-системи	Німеччина, Канада, Франція	Львів, Дніпро, Житомир	Автоматизація управління, контроль тиску, планування ремонту	Потреба у навчанні персоналу; залежність від надійності сенсорів

Отже, інноваційні технології у сфері водопостачання відіграють ключову роль у підвищенні ефективності, надійності та екологічної безпеки водних систем. На рис. 1.4 показана аналітична таблиця світового та регіонального досвіду у сфері водопостачання.

АНАЛІЗ СВІТОВОГО ТА РЕГІОНАЛЬНОГО ДОСВІДУ У ВОДОПОСТАЧАННІ

Світовий досвід	Україна/регіони
Технології моніторингу та управління	Впровадження SCADA-систем, частково – автоматизований моніторинг
Очищення води	Традиційні методи (хлорування), застосування мембранних фільтрів
Втрати води	Зниження втрат завдяки цифровим системам виявлення витоків
Повторне використання води	Високі втрати (до 40%), відсутність повного контролю витокив
Енергоефективність	Дуже обмежене застосування або відсутність практики
Інвестиції та фінансування	Модернізація насосних станцій, заміна обладнання
Цифровізація	Широке використання цифрових платформ для управління водними ресурсами
Екологічна орієнтованість	У фокусі переважно технічні проблеми, екологічні аспекти недостатньо розвинені
Частина стратегії сталого розвитку „зелена" інфраструктура	У фокусі переважно технічні проблеми, екологічні аспекти недостатньо розвинені

Рисунок 1.4 – Аналітична таблиця світового та регіонального досвіду у сфері водопостачання

Світовий досвід демонструє активне впровадження сучасних рішень, таких як розумні водоміри, автоматизовані системи моніторингу та управління, методи

очищення на основі нанотехнологій і мембранних фільтрів, а також повторне використання води в міському господарстві. Розвинені країни орієнтуються на сталий розвиток, зменшення втрат води, енергоефективність та цифровізацію процесів.

Локальний досвід, хоча й обмежений фінансовими й технічними ресурсами, також демонструє позитивні зрушення – впровадження систем SCADA, оновлення застарілих мереж, використання енергоощадного обладнання, модернізація насосних станцій тощо. Важливим аспектом є адаптація світових практик до місцевих умов, з урахуванням природно-кліматичних, економічних та соціальних особливостей.

Таким чином, гармонійне поєднання світового досвіду та локальних ініціатив дозволяє підвищити якість водопостачання, знизити витрати ресурсів і забезпечити сталий розвиток галузі в цілому.

1.6 **Перспективи та стратегії вдосконалення міського водопостачання**

Міське водопостачання є одним з ключових елементів інфраструктури, що забезпечує життєдіяльність населення, промисловості та об’єктів соціальної сфери. У контексті урбанізації, змін клімату та виснаження природних ресурсів, системи водопостачання стикаються з новими викликами, які потребують впровадження довгострокових стратегій та інноваційних підходів. Удосконалення цих систем є не лише технічним, але й соціальним, економічним та екологічним завданням.

Основними перспективами розвитку є цифровізація водопостачання, тобто використання smart-технологій [13]: інтелектуальні лічильники, датчики тиску та витоку, SCADA-системи; створення цифрових карт водопровідних мереж та аналітичних платформ для моніторингу стану мережі в реальному часі; розробка цифрових двійників (digital twin) міських водних систем.

Так інтелектуальні лічильники води (smart water meters) становлять ключовий елемент цифрової трансформації систем комунального водопостачання,

забезпечуючи підвищену ефективність споживання, своєчасне виявлення витоків, а також сприяючи інтеграції споживача в систему управління ресурсами. Згідно з дослідженнями, впровадження інтелектуальних лічильників сприяє зменшенню споживання води в середньому на 15–20% завдяки зворотному зв'язку, що надається користувачам у режимі реального часу [14].

Інтелектуальні лічильники дозволяють здійснювати дистанційний збір даних, обробку статистичних показників і прогнозування попиту на основі алгоритмів машинного навчання. За даними дослідження [15], використання таких систем у великих містах Китаю дозволило знизити втрати води через нерозраховані витоки на 30%, одночасно оптимізуючи роботу насосного обладнання.

Також важливо зазначити, що інтелектуальні системи водопостачання тісно пов'язані з концепцією «розумного міста» (smart city), яка передбачає цифровізацію усіх елементів міської інфраструктури. У роботі [16] наголошується на важливості комплексного підходу до впровадження інтелектуальних лічильників у поєднанні з інформуванням споживачів і правовим регулюванням доступу до персональних даних.

Водночас, критика даних систем пов'язана із питаннями конфіденційності, енергоспоживання самих пристроїв та вартістю їх впровадження. Дослідники [17] вказують, що попри високу ефективність, розгортання інтелектуальних лічильників є доцільним рішенням переважно для регіонів із високим рівнем витрат або дефіцитом води.

У контексті України, впровадження таких технологій лише набирає обертів. За інформацією Державного агентства з енергоефективності [18], пілотні проєкти з інтелектуального обліку води реалізуються у Києві, Львові та Вінниці, де зафіксовано позитивну динаміку економії та підвищення прозорості розрахунків.

Важливим напрямком також є зниження втрат води через системне виявлення та усунення витоків за допомогою акустичних детекторів, георадарів, планову заміну застарілих трубопроводів; оптимізацію тиску в системі, щоб зменшити навантаження на труби. Дійсно, невиробничі втрати води є однією з

ключових проблем сучасного водопостачання, що призводить до значних економічних і екологічних збитків. Згідно з даними Міжнародної асоціації водопостачання (IWA), у багатьох країнах рівень втрат перевищує 30% від загального об'єму поданої води [19]. Ефективним напрямком мінімізації втрат є впровадження системного моніторингу та виявлення витоків. У цьому контексті важливу роль відіграють акустичні детектори та георадарні системи, які дозволяють оперативно виявляти приховані дефекти трубопроводів без потреби виконання значних земляних робіт [20].

Окрім того, важливим є проведення планової заміни зношених трубопроводів, особливо тих, що експлуатуються понад нормативний термін. Як зазначає Бобров С.М. [21], близько 40% мереж у містах України перебувають у критичному стані, що обумовлює часті аварійні ситуації.

Не менш значущим є регулювання тиску в системі. Оптимізація тиску дозволяє знизити гідравлічне навантаження на трубопровідну мережу, що зменшує ризики мікротріщин та проривів [22]. У деяких муніципальних системах запровадження динамічного керування тиском дало змогу знизити рівень втрат до 15% [23]. Таким чином, зниження втрат води вимагає інтегрованого підходу, що поєднує інноваційні технології діагностики**,** інфраструктурну модернізацію **та** інженерну оптимізацію режимів роботи системи**.** Реалізація таких заходів є запорукою сталого розвитку міського водопостачання.

Впровадження енергоефективних технологій дозволяє знизити енергонавантаження. Це, насамперед, модернізація насосного обладнання з частотними перетворювачами; використання енергії водяного потоку для генерації електроенергії (гідрогенератори); застосування відновлюваних джерел енергії (сонячні панелі для живлення насосних станцій). Про це свідчить і сучасна практика експлуатації водопровідно-каналізаційного господарства: в системі водопостачання спостерігаються значні енергетичні витрати**,** які припадають насамперед на насосне обладнання. У зв'язку з цим енергоефективність стала ключовим критерієм під час модернізації інженерної інфраструктури. За даними

Світового банку, витрати на енергопостачання можуть сягати до 60% загальних операційних витрат підприємств водопостачання в країнах, що розвиваються [24].

Одним із найбільш поширених рішень є модернізація насосного обладнання із застосуванням частотних перетворювачів, що дозволяє гнучко регулювати роботу насосів залежно від споживання води. Згідно з дослідженням Олійника В.Г. [25], така модернізація забезпечує економію електроенергії на 25–35%, одночасно знижуючи зношення обладнання та підвищуючи стабільність тиску в мережі.

Ще одним інноваційним напрямком є використання гідрогенераторів, які дозволяють перетворювати кінетичну енергію водяного потоку на електроенергію в процесі транспортування води по трубопроводах. Такі системи успішно впроваджуються у країнах ЄС, зокрема в Австрії, де на водогінних мережах встановлюються мікрогідротурбіни, що частково компенсують витрати на електропостачання [26].

Не менш перспективним напрямом є застосування відновлюваних джерел енергії**, зокрема** сонячних панелей для живлення насосних станцій**.** У пілотних проєктах в південних регіонах України сонячні установки забезпечують до 40% добового енергоспоживання насосних вузлів [27]. Це особливо актуально для децентралізованих систем водопостачання у сільській місцевості. Впровадження енергоефективних технологій у системах водопостачання не лише знижує енергоспоживання**,** а й підвищує економічну стійкість підприємств, зменшує вуглецевий слід та сприяє інноваційному розвитку сектору комунального господарства**.** Поширення таких практик вимагає нормативної підтримки, залучення інвестицій та кадрового забезпечення процесу.

Завжди актуальним та пріоритетним є покращення якості води, що досягається через інтеграцію сучасних методів очищення: ультрафіолет, озонування, мембранні фільтри; встановлення станцій доочищення води на рівні домогосподарств або мікрорайонів; контроль якості води в реальному часі з використанням сенсорних систем. Тобто проблема забезпечення населення якісною питною водою залишається одним із ключових пріоритетів як на

національному, так і на глобальному рівні. В умовах зростання техногенного навантаження на водні ресурси, змін клімату та зношеності інфраструктури систем централізованого водопостачання, особливої актуальності набуває впровадження інноваційних технологій очищення та контролю якості води [28]. Ультрафіолетове знезараження забезпечує знищення патогенних мікроорганізмів без утворення вторинних продуктів, характерних для хлорування [29]. Озонування, що діє як сильний окисник, здатний ефективно руйнувати органічні забруднювачі, віруси та запахові компоненти, покращуючи органолептичні властивості води [30]. Мембранні технології фільтрації, зокрема ультрафільтрація та зворотний осмос, дозволяють досягати високого ступеня очищення від механічних домішок, бактерій, вірусів, важких металів та солей. З огляду на зношеність міських систем та можливі вторинні забруднення у розподільчих мережах, набуває поширення практика встановлення локальних станцій доочищення води. Такі системи ефективно функціонують на рівні домогосподарств, житлових комплексів або мікрорайонів, що забезпечує підвищену безпеку та індивідуальний контроль якості води [31]. В умовах цифровізації важливого значення набуває контроль якості води в реальному часі з використанням сенсорних систем. Ці технології дозволяють оперативно фіксувати зміни у фізико-хімічних параметрах (pH, температура, мутність, концентрація хлору, наявність нітратів тощо) та своєчасно реагувати на потенційні відхилення [32]. Покращення якості питної води в сучасних умовах вимагає поєднання високоефективних методів очищення, децентралізованих систем доочищення, а також цифрових технологій моніторингу, що дозволяє забезпечити належний санітарно-гігієнічний стан води на всіх етапах транспортування та споживання. Інтеграція зазначених рішень сприяє зростанню екологічної стійкості та суспільного здоров’я в урбанізованому середовищі.

Ресурсоощадним напрямком є повторне використання та рециклінг води : використання сірої води для поливу, миття вулиць, технічних потреб; створення систем локального очищення дощової води та її використання; модульні установки для очищення стічних вод на рівні мікрорайонів.

Головними стратегіями вдосконалення є інституційне реформування: розмежування функцій контролю, управління та обслуговування водопровідних систем; підвищення прозорості тарифної політики та ефективне управління підприємствами водопостачання; інвестиційна політика :залучення міжнародних донорів, державних і приватних інвесторів; розробка фінансових механізмів підтримки муніципалітетів, що впроваджують інноваційні проєкти.

Для впровадження необхідних заходів необхідно урегулювання нормативно-правової бази через оновлення стандартів щодо якості води, витрат, втрат та енергоефективності, підтримку інновацій через зміни до будівельних норм та законодавства стосовно комунальних підприємств.

Для споживачів важливими заходами є інформування населення про важливість ощадного споживання води, навчання працівників підприємств новим технологіям та методам експлуатації мереж.

Таким чином, удосконалення міського водопостачання є багаторівневим процесом, що вимагає злагодженої роботи державних інституцій, комунальних підприємств, науковців та громадськості. Інноваційні технології, стратегічне планування, інвестиції та екологічна відповідальність формують основу сталого водопостачання майбутнього. В умовах відбудови зруйнованої інфраструктури, кліматичних змін та урбанізаційного тиску, своєчасна модернізація водопровідної інфраструктури є критично важливою для сталого розвитку міст. Тому основними задачами виконання кваліфікаційної роботи бакалавра є наступні:

- обґрунтування вибору оптимальної технології водопідготовки для заданих умов;
- виконання інженерних розрахунків очисних споруд;
- екологічне обґрунтування запропонованих технологічних рішень;
- формулювання висновків та рекомендацій стосовно практичного впровадження технології водопідготовки.

РОЗДІЛ 2 ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВОДОПІДГОТОВКИ

2.1 Аналіз вихідної води в джерелі

Метод обробки води, склад і розрахункові параметри споруд водо підготовки встановлюються з урахуванням якості води в джерелі водопостачання, потужності станції і вимог споживача до якості води. Якість води в джерелі характеризується даними приведеними в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні якісні показники води річки

№ з/п	Показник	Позначення	Одиниці виміру	Значення
1.	Каламутність	М	мг/л	180
2.	Колір	Ц	град.	75
3.	pH води	pH	–	8,4
4.	Температура:			
	Влітку	t	°С	22
	Взимку	t	°С	0
5.	Твердість	Ж	мг-екв./л	6,0
6.	Лужність	$Щ_о$	мг-екв./л	2,1
7.	Вміст:			
	- кальцію	$[Ca^{2+}]$	мг-екв./л	4,8
	- магнію	$[Mg^{2+}]$	мг-екв./л	1,2
	-натрію і калію	$[Na^{+}]+[K^{+}]$	мг/л	21,0
	-хлоридів	$[Cl^{-}]$	мг/л	52,0
	-сульфатів	$[SO_4^{2-}]$	мг/л	100,0
8.	Сухий залишок	Р	мг/л	478

2.2 Розрахунок продуктивності очисних споруд

Повна продуктивність станції обробки господарсько-питної води складається з розрахункової витрати води для доби максимального водоспоживання і витрати води на власні потреби очисної станції.

Повна витрата води, що надходить на станцію, визначається за формулою:

$$Q_{пов} = \alpha \times Q_{доб.макс}, \quad (2.1)$$

де α – коефіцієнт витрати води на власні потреби очисної станції, приймається а = 1,04 ;

$Q_{доб.макс}$ – розрахункова витрата води за добу максимального водоспоживання, м^3/доб, за завданням.

$$Q_{доб.макс} = 50104{,}83 \text{ м}^3/\text{доб},$$

$$Q_{пов} = 1{,}04 \times 50104{,}83 = 52109 \text{ м}^3/\text{доб}.$$

2.3 Обґрунтування технологічної водопідготовки та складу очисних споруд

Відповідно до рекомендацій [33, табл.15] з урахуванням вимог споживачів, продуктивності станції та техніко-економічного обґрунтування до розробки прийнято схему очистки із горизонтальними відстійниками та швидкими фільтрами, особливості технологічного процесу зазначені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Засоби обробки води

Показники якості води в джерелі	Засіб обробки води	Реагенти
Каламутність	Коагулювання	Коагулянт $Al_2(SO_4)_3$
	Часткове освітлення	
	Фільтрування	
Колір	Попереднє хлорування	Хлорна вода
	Коагулювання	Коагулянт $Al_2(SO_4)_3$
Бактеріальні забруднення	Хлорування	Хлорна вода

Технологічна схема показана на рис. 2.4, прийнята технологія обробки води реалізує прийнятий до розробки метод водопідготовки наступним чином. Вихідна вода насосною станцією I підйому подається на очисні споруди станції водопідготовки. Вода надходить в змішувач (поз. 1), куди з реагентного господарства дозаторами подаються розчини коагулянту сірчанокислого алюмінію ($Al_2(SO_4)_3$) і вапняного молока. Зі змішувача вода самопливом

направляється в камери пластівцеутворення з шаром завислого осаду (поз. 2), які служать для забезпечення повнішої агломерації мілких пластівців коагулянту в крупні. З камер пластівцеутворення вода через затоплені водозливи відводиться на горизонтальні відстійники (поз. 3), де вона частково очищується від завислих речовин.

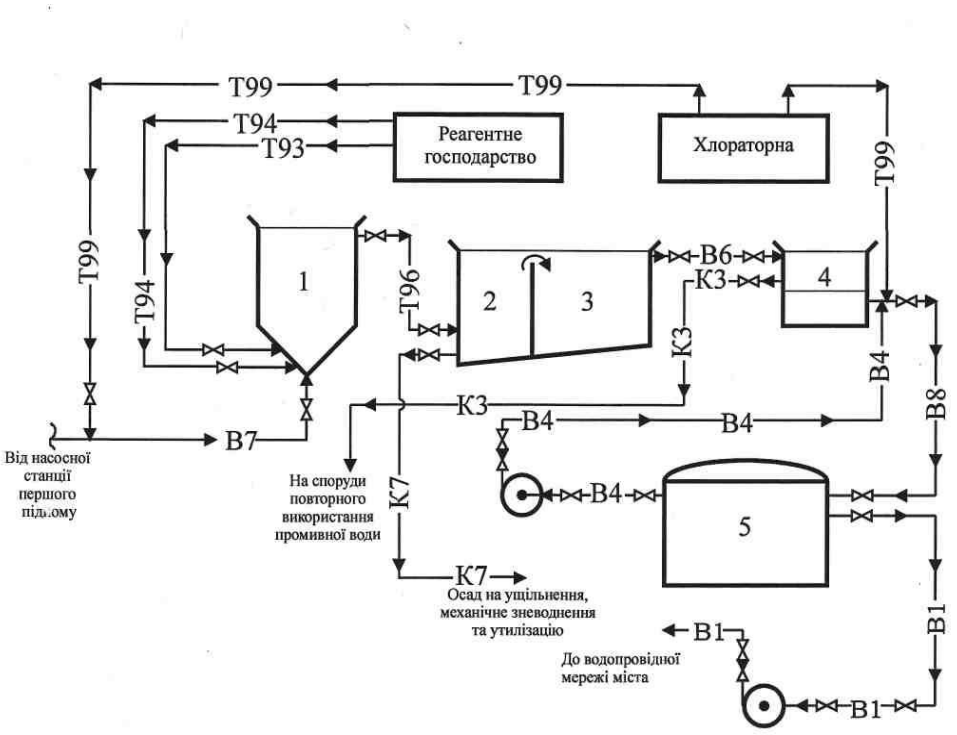


Рис. 2.1 – Технологічна схема очищення природної води

Споруди: 1 – змішувач; 2 – камера пластівцеутворення; 3 – горизонтальний відстійник; 4 – швидкий фільтр; 5 – резервуар чистої води. Трубопроводи :В1 – господарсько-питна вода; В4 – промивна вода; В6 – освітлена вода; В7 – річкова вода; В8 – очищена і знезаражена вода; Т93 – вапняне молоко; Т94 – коагулянт; Т96 – вода, що оброблена коагулянтом і вапном; Т99 – хлорна вода; К3 – забруднена промивна вода; К7 – осад

Потім вода надходить на швидкі фільтри (поз. 4), де проводиться доведення її показників (каламутність, кольоровість) до вимог [33]. Вода питної якості після швидких фільтрів збирається в резервуарах чистої води (поз.5), звідки насосами II підйому направляється до міської водопровідної мережі.

Знезараження води проводиться хлорною водою у дві стадії. Первинна подача хлору здійснюється в трубопровід перед змішувачами, вторинна - в трубопровід очищеної води перед резервуарами (фільтрат після швидких фільтрів).

Для відновлення фільтруючої спроможності швидких фільтрів проводиться промивка завантаження водою. Забруднена промивна вода направляється на споруди повторного використання (пісковловлювачі). Осад з відстійників надходить на ущільнення у згущувачах та зневоднення на фільтрувальних пресах.

РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК СПОРУД ДЛЯ ВОДОПІДГОТОВКИ

3.1 Висотна схема комплексу очисних споруд

Висотна схема представляє собою поздовжній профіль транспортування води, на якому вказані висоти розташування очисних споруд та встановлена залежність між абсолютними відмітками рівнів води в технологічних спорудах. Креслення висотної схеми здійснено з найнижчої споруди – резервуара чистої води. Позначку найвищого рівня води в ньому прийнято з економічних і санітарних міркувань на 0,5 м вище оцінки поверхні землі. Далі з урахуванням втрат напору в спорудах та комунікаціях, визначені позначки рівня води в очисних спорудах.

Висотна схема показана в графічній частині кваліфікаційної роботи.

Орієнтовні втрати напору в спорудах і трубопроводах прийняті з урахуванням рекомендацій [33] та представлені в таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Втрати напору в спорудах та комунікаціях станції водопідготовки

Споруди і комунікації	Втрати напору, м
Споруди:	
Змішувачі	0,5
Камери пластівцеутворення	0,4
Горизонтальні відстійники	0,7
Швидкі фільтри	3,5

3.2 Визначення конструктивних особливостей змішувачів

З урахуванням годинної продуктивності станції водопідготовки, яка становить: 52109 : 24 = 2171,3 м^3/год, прийняті вертикальні (вихрові) змішувачі в кількості $N_{зм}$ = 4.

Продуктивність кожного змішувача становить $q_{зм}$ = 2171,3: 4 = 543 м^3/год.

Розмір горизонтального перерізу для верхньої частини змішувача:

$$f_в = q_{зм} / v_в, \quad (3.1)$$

де $v_в$ – швидкість вертикального руху води на рівні водозбірного улаштування, м/год; приймається $v_в$ = 30 мм/с = 108 м/год [33, п. 6.45].

$$f_в = 543 / 108 = 5{,}1 \text{ м}^2.$$

Верхня частина змішувача прийнята квадратною в плані, тоді розмір її сторони:

$$b_в = \sqrt{f_в}, \quad (3.2)$$

$$b_в = \sqrt{5{,}1} = 2{,}25 \text{ м}.$$

Швидкість входу води в змішувач повинна бути 1,2÷1,5 м/с [33, п.6.45]. Продуктивність одного змішувача становить $q_{зм}$ = 543 м^3/год = 150,8 л/с. Діаметр, швидкість і питомі втрати в трубопроводі, що подає оброблювальну воду в нижню частину змішувача, складають: Д = 350 мм; V = 1,45 м/с; 1000i = 8,39.

Так як зовнішній діаметр трубопроводу, що підводить воду $Д_{зовн}$ = 380 мм, ширина сторони нижньої частини змішувача в місці приєднання цього трубопроводу повинна бути $b_н$ = 0,38 м, а площа нижньої горизонтальної частини зрізаної піраміди:

$$f_н = b_н^2, \quad (3.3)$$

$$f_н = 0{,}38^2 = 0{,}144 \text{ м}^2.$$

Висота нижньої (пірамідальної) частини змішувача:

$$h_н = 0{,}5 \times (b_в - b_н) \times \text{ctg}(\alpha/2), \quad (3.4)$$

де α – центральний кут; приймається a = 40 [33, п.10.5.6].

$$h_н = 0{,}5 \times (2{,}25 - 0{,}38) \times \text{ctg}(40/2) = 2{,}6 \text{ м}.$$

Об'єм пірамідальної частини:

$$W_н = h_н \times (f_в + f_н + \sqrt{f_в + f_н}) / 3, \quad (3.5)$$

$$W_н = 2{,}6 \times \left(5{,}1 + 0{,}144 + \sqrt{5{,}1 + 0{,}144}\right) / 3 = 6{,}78\, м^3.$$

Повний об'єм визначається за формулою:

$$W = q_{зм} \times t / 60, \quad (3.6)$$

де t – тривалість змішування реагенту з водою, хв.; прийнято t = 1,5 хв. [33, п.10.5.7].

$$W = 543 \times 1{,}5 / 60 = 13{,}6 \text{ м}^3.$$

Об'єм верхньої частини:

$$W_в = W - W_н. \quad (3.7)$$

$$W_в = 13{,}6 – 6{,}78 = 6{,}82 \text{ м}^3$$

Висота верхньої частини:

$$h_в = W_в / f_в, \quad (3.8)$$

$$h_в = 6{,}82 / 5{,}1 = 1{,}34.$$

Висота верхньої частини змішувача повинна бути 1,0÷1,5 м [33, п.10.5.6]. Висота верхньої частини, що визначена за формулою (2.9), відповідає цій умові. Повна висота змішувача:

$$h = h_н + h_в + h_{буд}, \quad (3.9)$$

де $h_{буд}$ – будівельний запас, різниця відміток верхньої кромки змішувача та максимального рівня води в ньому, м; прийнято $h_{буд} = 0{,}5$ м.

h = 2,6+ 1,34 + 0,5 = 4,44 м.

Вода збирається у верхній частині змішувача периферійним лотком.

Швидкість руху води в кінці лотку $v_л = 0{,}6$ м/с [33]. Вода, що тече по лоткам в

напрямку бокового карману, розділяється на два потоки. Тому розрахункова витрата кожного потоку $q_л = q_{зм} / 2 = 543 / 2 = 271,5$ м^3 /год.

Площа живого перерізу в кінці збірного лотка:

$$W_л = q_л / (v_л \times 3600), \quad (3.10)$$

$W_л = 271,5 / (0,6 \times 3600) = 0,126$м^2.

Ширина лотка за умови, що його переріз квадратний:

$$b_л = \sqrt{W_л}, \quad (3.11)$$

$$b_л = \sqrt{0,126} = 0,35 \text{ м}.$$

Розрахункова висота шару води в лотку:

$$h_л = W_л / b_л, \quad (3.12)$$

$$h_л = 0,126 / 0,35 = 0,36 \text{ м}$$

Площа всіх затоплених отворів у стінках збірного лотка:

$$F_o = q_{зм} / (v_o \times 3600), \quad (3.13)$$

де v_o – швидкість руху води в отворах лотка, м/с; $v_o = 1$ м/с [33].

$$F_o = 543 / (1 \times 3600) = 0,15\text{м}^2$$

Загальна потрібна кількість отворів:

$$n_o = F_o / f_o, \quad (3.14)$$

де f_o – площа одного отвору, м^2.

Площа одного отвору визначається за формулою:

$$f_o = \pi \times d_o^2 / 4, \quad (3.15)$$

де d_o – діаметр одного отвору, м; приймається d_o = 80 мм = 0,08 м [33].

$$f_o = 3{,}14 \times 0{,}08^2 / 4 = 0{,}005 \text{ м}^2$$

$$n_o = 0{,}15 / 0{,}005 = 30 \text{ шт.}$$

Внутрішній периметр лотка:

$$Рл = 4[bв - 2 \times (bл + 0{,}06)], \quad (3.16)$$

$$Рл = 4 \times [2{,}25 - 2 \times (0{,}35 + 0{,}06)] = 5{,}72 \text{ м} = 5720 \text{ мм.}$$

Крок вісі отворів визначається за формулою:

$$l_o = P_л / n_o, \quad (3.17)$$

$$1_o = 5720 / 30 = 190 \text{ мм.}$$

Відстань між отворами:

$$L = 1_o \times d_o, \quad (3.18)$$

$$L = 190 - 80 = 110 \text{мм.}$$

Зі збірного лотка вода надходить в боковий карман. Розміри карману прийняті такими, щоб у нижній частині розмістилась труба для відводу обробленої води. При швидкості води в трубі, що відводить воду, 0,6... 1,0 м/с [33, п.10.5.11] і $q_{зм}$ = 150,8 л/с прийняті $Д_{від}$ = 500 мм, $v_{від}$ = 0,72 м/с, 1000i =1,41.

3.3 Інтенсифікація відстоювання води

3.3.1 Визначення конструктивних особливостей відстійників

Відстійники використовуються для виділення з води завислих речовин перед подаванням її на другу ступінь освітлення - фільтри. Горизонтальні відстійники - це прямокутні резервуари, які виконано з залізобетону та обладнано водорозподільними і водозбірними пристроями, трубопроводами для підведення води та відведення освітленої води та пристроями для періодичного видалення осаду.

Сумарна площа горизонтальних відстійників:

$$F = q \times \alpha / (3{,}6 \times U_o), \quad (3.19)$$

де q – розрахункова витрата води, м /год; $q = Q_{пов}$ /24 = 52109/24 = 2171,2 м^3/год; U_o –швидкість випадіння часток завислих речовин, які затримуються відстійником (гідравлічна крупність), мм/с; приймається U_o = 0,5 мм/с [33, табл.18]; α – коефіцієнт, який враховує вплив вертикальної складової швидкості потоку, який визначається за формулою:

$$\alpha = U_o / (U_o - v_{сер} / 30), \quad (3.20)$$

де $v_{сер}$ – середня горизонтальна швидкість руху води у відстійнику, мм/с:

$$v_{сер} = k \times U_{o,} \quad (3.21)$$

де k – коефіцієнт, що враховує відношення довжини відстійника L до його глибини H; приймається L/H = 10; k = 7,5 [33].

$v_{сер}$ = 7,5 × 0,5 = 3,75 мм/с;

$$\alpha = 0{,}5 / (0{,}5 - 3{,}75 / 30 = 1{,}33.$$

$$F = 2171{,}2 \times 1{,}33 / (3{,}6 \times 0{,}5) = 1604.3 \text{ м}^2$$

Ширина горизонтального відстійника визначається за формулою:

$$B = q / (3{,}6 \times v_{сер} \times H_{сер} \times N), \quad (3.22)$$

де $H_{сер}$ – середня висота зони осадження, м; прийнята $H_{сер}$ = 3 м [33, п.10.9.2];

N – розрахункова кількість відстійників; приймається N = 6 од.;

$V_{сер}$ – розрахункова швидкість горизонтального руху води на початку відстійника, мм/с; прийнято $v'_{сер}$ = 7 мм/с [33].

$$B = 2171{,}2 / (3{,}6 \times 7 \times 3 \times 6) \approx 6{,}0 \text{ м}.$$

Довжина відстійника визначається за формулою:

$$L = F / (B \times N). \quad (3.23)$$

$$L = 1604{,}3 / (6 \times 6) = 45 \text{ м}.$$

Видалення осаду з відстійника проводиться гідравлічним засобом [33, п.10.9.3].

Об'єм зони накопичування та ущільнення осаду:

$$W_{ос.ч} = T_р \times q \times (C_в - M_{осв}) / (N \times \delta), \quad (3.24)$$

де $T_р$ – період роботи відстійника між скидами осаду, год.; $T_р$ = 24 год. [33];

$C_в$ – концентрація завислих речовин у воді, які потрапляють у відстійник, г/м^3;

$M_{осв}$ – каламутність води, яка виходить з відстійника, г/м ; приймається $M_{осв}$=10,0г/м^3[33];

δ – середня по всій висоті осадової частини концентрація твердої фази осаду, г/м ; приймається залежно від каламутності води і тривалості інтервалів між скидами враховуючи використання коагулянту δ = 40000г/м^3 [33,табл.19].

Максимальна концентрація завислих речовин у воді, яка подається в горизонтальні відстійники, визначається за формулою:

$$C_в = M + K_к \times Д_к + 0{,}25 \times Ц + 0{,}6 \times Д_и, \quad (3.25)$$

де $K_к$ – коефіцієнт чистоти коагулянту; приймається Кк = 0,5 [33].

$C_в$= 180+ 0,5 ×40+ 0,25 × 75+ 0,6 × 37,5 = 241,3г/м^3.

$W_{ос.ч}$ = 24 × 2171,2 × (241,3 – 10) / (4 × 40000) = 75 м^3.

Максимальна висота відстійника визначається за формулою:

$$H_{відс} = H_{сер} + H_н + h_{буд} + i \times .L, \quad (3.26)$$

де $H_н$ – висота зони накопичування осаду, м;

$h_{буд}$ – величина перевищення будівельної висоти над розрахунковим рівнем води, м;

$h_{буд}$ = 0,3 м;

i – поздовжній ухил дна відстійника; $h_{буд}$ = 0,005.

Висота зони накопичування осаду визначається за формулою:

$$H_н = W_{ос.ч} / F_{о,} \quad (3.27)$$

де $F_о$ – площа одного відстійника, м^2.

Площа одного відстійника визначається за формулою:

$$F_о = L \times B, \quad (3.28)$$

$F_о$ = 45 × 6 = 270 м^2

$H_н$ =75 / 270 = 0,28 м

$H_{відс}$ = 3 + 0,28 + 0,3 + 0,005 × 45 = 3,8 м.

Середня глибина води у відстійнику визначається за формулою:

$$H_{сер.вод} = H_{сер} + H_н + i \times L / 2, \quad (3.29)$$

$H_{сер.вод}$ = 3 + 0,28 + 0,005 × 45 / 2 = 3,39 м

Кількість видаленої при видаленні осаду води у % від загальної витрати:

$$P = k_p \times W_{ос.ч.} \times 100/(q \times T_p), \quad (3.30)$$

де k_p – коефіцієнт розбавлення; $k_р$ = 1,5 [2, п.10.9.9].

P = 1,5 ×75 × 100/(2171,2 × 24) = 0,22%.

Для гідравлічного видалення осаду приймається збірна система з перфорованих труб з отворами діаметром $d_о$ = 25 мм. Дно відстійника між трубами збірної системи осаду - призматичне з кутом нахилу 45°.

Кількість труб для видалення осаду з одного відстійника:

$$n_{тр} = B / l_{тр}, \quad (3.31)$$

де $l_{тр}$ – відстань між вісями труб, м; при призматичному днищі $l_{тр}$ = 3,0 м [33, п.10.9.10].

$n_{тр}$ = 6 / 3,0 = 2 од.

Кількість осаду, що проходить через кожну трубу:

$$q_{тр.ос} = W_{ос.ч} / (n_{тр} \times t_{ск}) \quad (3.32)$$

де $t_{ск}$ – тривалість скиду осаду, год; $t_{ск}$ = 20 хв = 0,33 год [33].

$q_{тр.ос}$ = 75 / (2 × 0,33) = 113,6 м^3/год = 32 л/с

При швидкості руху осаду в кінці труб не менше 1,0 м/с приймається $Д_{тр.ос}$ = 175 мм; $v_{тр.ос}$ = 1,41 м/с; 1000i = 21,3.

Збір освітленої води в горизонтальному відстійнику проводиться за допомогою системи горизонтально розташованих дірчастих труб.

Погонна довжина розподільних труб визначається за формулою:

$$l = q_{кол} / q_{пит}, \quad (3.33)$$

де $q_{кол}$ – витрата освітленої води в колекторі системи, л/с;

$q_{пит}$ – питома витрата освітленої води, яка приходиться на 1 м труб системи видалення води, л/с×м; приймається $q_{пит}$ = 4,0 л/с × м.

Витрата освітленої води в колекторі системи:

$$q_{кол} = 2171,2 /(4 \times 3,6) = 100,5 \text{ л/с};$$

$$l = 100,5 / 4,0 = 25,1 \text{ м}.$$

При швидкості руху води в кінці колектора 0,6÷0,8 м/с [33, п.10.9.10] приймається $Д_{кол}$ = 400 мм; $v_{кол}$ = 0,76 м/с; 1000i = 2,12.

Довжина розподільних труб визначається за формулою:

$$l_{р.тр} = B - 2 \times l_{ст} - Д_{зовн.кол}, \quad (3.34)$$

де $Д_{зовн.кол}$ – зовнішній діаметр колектора, м; $Д_{зовн.кол}$ = 430 мм = 0,43 м;

$1_{ст}$ – відстань від кінця розподільної труби до стінки відстійника, м; прийнято $1_{ст}$ = 0,15 м.

$$1_{р.тр} = 6 - 2 \times 0,15 - 0,43 = 5,27 \text{ м}.$$

Кількість розподільних труб:

$$n_{р.тр} = l / l_{р.тр}, \quad (3.35)$$

$n_{р.тр}$ = 25,1 / 5,27 = 5 од.

Труби розташовуються по обидва боки колектора. Витрата однієї розподільної труби:

$$q_{р.тр} = q_{кол} / (2 \times n_{р.тр}), \quad (3.36)$$

$q_{р.тр}$ = 100,5 / (2 × 5) = 10,05 л/с.

При швидкості руху води в розподільних трубах 0,6÷0,8 м/с [33] $Д_{р.тр}$ = 125 мм; $v_{р.тр}$ = 0,72 м/с; 1000i = 8,25.

Відстань між вісями розподільних труб:

$$t_{р.тр} = L_{сист} / n_{р.тр}, \quad (3.37)$$

де $L_{сист}$ – довжина ділянки розташування системи видалення води, м.

Система видалення освітленої води розташовується на ділянці, яка дорівнює 1/3 довжини відстійника [33, п.10.9.10], (рахування від початку), тобто

$$L_{сист} = L / 3, \quad (3.38)$$

$$L_{сист} = 45 / 3 = 15 \text{ м}$$

Відстань між вісями розподільних труб прийнято 3 м, що відповідає умовам [33, п.10.9.10]. Для збору освітленої води в розподільних трубах є затоплені отвори d_o = 25 мм. в графічній частині показано 10 секцій відстійників з урахуванням збільшення продуктивності.

3.3.2 Камера пластівцеутворення

Приймаються вбудовані камери пластівцеутворення з шаром завислого осаду, які розташовані на початку відстійників. Для зручності компонування з відстійниками прийняті типові камери пластівцеутворення в кількості $N_к$ = 6 од. з розмірами однієї камери: ширина $B_к$ = 6 м, довжина $L_к$ = 9 м.

Витрата води в одній камері пластівцеутворення:

$$q_к = q / N_к, \quad (3.39)$$

$q_к$ =2171,2 / 6 = 361,8 м^3/год = 100,5 л/с = 0,1 м^3/с. Швидкість руху води в камері становить:

$$V_к = q_к / (B_к \times L_к \times 3600), \quad (3.40)$$

$$V_к = 361,8 / (6 \times 9 \times 3600) = 0,0019 \text{ м/с} = 1,9 \text{ мм/с}.$$

$V_к$ = 217,12 / (10 × 6 × 3600) = 0,0019 м/с = 1,17 мм/с

Висота води в камері визначається за формулою:

$$h_к = H_{сер} + h, \quad (3.41)$$

де $H_{сер}$ – середня висота зони осадження горизонтального відстійника, м, прийнята $H_{сер} = 3$ м [33, п.10.9.2];

h – втрати напору в камері пластівцеутворення, м; h = 0,4 м.

$$h_к = 3 + 0{,}4 = 3{,}4 \text{ м.}$$

Час перебування води в камері:

$$t = h_к / (V_к \times 60), \quad (3.42)$$

$$t = 3{,}4 / (0{,}0019 \times 60) = 30 \text{ хв.}$$

Розподіл води по площині камери передбачається напірними перфорованими трубами з отворами, які спрямовані вниз під кутом 45° [33, п.10.7.6].

При швидкості руху води на початку розподільної системи 0,5÷0,6 м/с [33, п.10.7.6] для витрати води $q_к$ = 100,5 л/с приймається для трубопроводу, який підводить воду $Д_{під}$ = 500 мм; $v_{під}$ = 0,5 м/с; 1000i = 0,67.

В колекторі розподільної системи вода розділяється на два потоки; витрата води в колекторі:

$$q_{кол} = q_к / 2, \quad (3.43)$$

$q_{кол} = 100{,}5 / 2 = 50{,}25$ л/с.

Для колектора розподільної системи прийняті $Д_{кол}$ = 350 мм; $v_{кол}$ = 0,5 м/с; 1000i =1,16.

Кількість розподільних труб:

$$n_{тр} = B_к / t_{тр}, \quad (3.44)$$

де $t_{тр}$ – відстань між вісями розподільних труб, м; приймається $t_{тр}$ = 2,0 м [2, п.10.7.6].

$n_{пр} = 6{,}0 / 2{,}0 = 3$ од.

Витрата води в одній розподільній трубі:

$$q_{тр} = q_к / n_{пр}, \quad (3.45)$$

$q_{тр}$ = 100,5 / 3 = 33,5 л/с.

Для кожної розподільної труби: $Д_{тр}$ = 300 мм; $у_{тр}$ = 0,44 м/с; 1000i = 1,12. Довжина розподільної труби становить:

$$l_{тр} = L_к – t_{ст} – Д_{зовн.кол}, \quad (3.46)$$

де $t_{ст}$ – відстань від розподільної труби до стінки, м; $t_{ст}$ = 1,0 м [33, п.10.7.6]; $Д_{зовн.кол}$ – зовнішній діаметр колектора, м; $Д_{зовн.кол}$ = 330 мм = 0,33 м.

$l_{тр}$ =9,0 - 1,0 - 0,33 = 7,67 м.

З камери вода у відстійник відводиться через затоплений водозлив. Верх стінки водозливу розташований нижче рівня води на висоту:

$$h_в = q_к / (V_в \times B_к), \quad (3.47)$$

де $V_в$ – швидкість руху води над водозливом, м/с; $V_в$ = 0,1 м/с [33, п.10.7.6].

$h_в$ = 0,1 / (0,1 × 6) = 0,17 м.

На вході у відстійник встановлена підвісна перегородка, яка занурена на 1/4 висоти відстійника. Швидкість руху між стінкою і перегородкою 0,03 м/с. Втрати напору в розподільній системі:

$$h = \xi \times (v^2_{кол} / 2 \times g) + (v^2_{тр} / 2 \times g), \quad (3.48)$$

де ξ – коефіцієнт гідравлічного опору; для колектора з відгалуженнями з круглими отворами:

$$\xi = 2,2 / K^2_п + 1, \quad (3.49)$$

де $K_п$ – коефіцієнт перфорації; $К_п$ = 0,32.

$\xi = 2,2 / 0,32^2 + 1 = 19,3$,

$h = 19,3 \times (0,5^2 / 2 \times 9,81) + (0,44^2 / 2 \times 9,81) = 0,25$.

Втрати напору, визначені за формулою відповідають прийнятому раніше значенню втрат за [33].

Враховуючи можливість майбутнього збільшення продуктивності станції передбачено будівництво 10 секцій горизонтальних відстійників.

3.3.3 Конструктивні рішення для освітлення води

На основі проведених розрахунків визначено основні експлуатаційні параметри горизонтального відстійника: довжина становить 45 метрів, ширина – 6 метрів, а робоча глибина – 3,0 метри. Швидкість горизонтального руху води складає 7 мм/с, а гідравлічна крупність завислих часток – в межах 0,58÷0,63 мм/с. Для підвищення ефективності процесу відстоювання передбачено використання тонкошарових модулів висотою, що дорівнює глибині відстійника, з нахиленими під кутом 60° до горизонта пластинами. Непроточна зона має висоту 0,5 м. Відстань між пластинами дорівнює 0,04 м, при цьому вони виготовлені зі скляного матеріалу завтовшки 0,004 м. Відстань між блоками та стінками конструкції – 0,2 м.

До реконструкції розрахункове навантаження на відстійник становило:

$$Q_{\text{від}} = F \times v, \tag{3.50}$$

де F – площа поперечного перерізу.

$Q_{\text{від}} = 3{,}0 \times 3 \times 0{,}007 \times 3600 = 226{,}8$ м^3/год.

В горизонтальний відстійник встановлюються два пакета пластин загальною висотою $h_п = 1{,}8$ *м,* які мають кут нахилу 60^0 до горизонталі.

Пластини встановлюються на загальній довжині відстійника $L_п$, яка визначається за формулою:

$$L_n = L - 2h_n \times tg30^0 - 2t. \tag{3.51}$$

L_n =45-2×1,8×0,57735-2×0,2=42,5, приймається 43 м.

Пакетні модулі виготовляються з віконного скла завтовшки 0,004 м. Відстань між верхньою межею пакета та крайкою пластин приймається рівною 0,5 м. Довжина ділянки, по якій рухається потік усередині пластин, становить:

$$L_1 = (h_{\text{п}} - h_{\text{в}})/\, cos\, 3\, 0^0, \qquad (3.52)$$

L_1 =(1,8–0,5)/*cos*30^0=*1,50 м.*

Кількість пакетів у відстійнику

$$n = \frac{L_n}{\text{в}_n + \text{в}_1}. \qquad (3.53)$$

n =43/(0,04+0,0004)=1065 шт.

Тривалість відстоювання у пакеті визначається для теплого періоду $T = \text{в}_{\text{п}} \times 1000/(sin\, 3\, 0^0 \times u)$. (2.55)

T =0,04×1000/(0,5×0,55)=160 с.

Максимальна швидкість потоку в пакеті

$$v_{\text{макс}} = L_1/T. \qquad (3.54)$$

$v_{\text{макс}}$ =1,50/160=0,0094 м/с.

Після впровадження зазначених конструктивних рішень визначається допустиме навантаження на відстійник за формулою

$$Q^{/}_{\text{від}} = (3600 \times v_{\text{макс}}/k) \times 2 \times 0.755 \times n \times B \times \text{в}_{\text{п}}, \qquad (3.55)$$

де k – коефіцієнт, $k = 1.5 \div 2.5$.

$$Q^{/}_{\text{від}} = (3600 \times 0.011/1.7) \times 2 \times 0.755 \times 1064 \times 1{,}5 \times 0.04 = 1633\text{м}^3/$$

год $Q^{/}_{від}$*=(3600×0,010/1.7)×2×0,755×1065×1,5×0,04=2043,3 м^3/год.*

Зміна навантаження на відстійник визначена за формулою.

$$\frac{Q^{/}_{\text{від}}}{Q_{\text{від}}} = \frac{2043{,}3}{226{,}8} = 9{,}1.$$

Таким чином, унаслідок реконструкції горизонтальних відстійників із впровадженням тонкошарових елементів спостерігається зростання загального навантаження майже в дев’ять разів.

3.4 Розрахунок швидких фільтрів

Обрано швидкодіючий фільтр із двошаровою фільтрувальною засипкою: верхній шар, заввишки 0,5 м, утворений зернами дробленого антрациту з розміром часток у межах 0,8–1,8 мм, а нижній шар висотою 0,8 м складається з піщаних зерен фракції 0,5–1,2 мм. Вода фільтрується зверху вниз, спочатку проходить більш крупні зерна, а потім більш дрібні. В результаті цього затримані фільтром завислі речовини проникають на більшу глибину, і ступінь використання об'єму фільтруючого завантаження зростає. Вихідна вода подається на фільтр по жолобам, які розташовані над фільтруючим завантаженням. Фільтр промивається зворотнім током очищеної води з подачею її знизу фільтруючого завантаження. Промивна вода під напором подається в дренажний пристрій, а з нього через розподільну систему надходить до завантаження.

Визначення розмірів фільтра

Загальна площа швидких фільтрів визначається за формулою:

$$F_ф = Q / (T_{ст} \times v_н - n_{пр} \times q_{пр} - n_{пр} \times \tau_{пр} \times v_н), \quad (3.56)$$

де Q – корисна продуктивність станції, м /доб.; Q = 52109 м /доб; $T_{ст}$ – тривалість роботи станції протягом доби, год.; $T_{ст}$ = 24 год; $v_н$ – розрахункова швидкість фільтрації при нормальному режимі, м/год; приймається $v_н$ = 7 м/год [33, табл.19];

$n_{пр}$ – кількість промивок одного фільтра за добу при нормальному режимі експлуатації; приймається $n_{пр}$ = 2;

$q_{пр}$ – питома витрата води на одну промивку одного фільтра, $м^3/м^2$;

$\tau_{пр}$ – тривалість простою фільтра у зв'язку з промивкою, год, приймається

для фільтрів, що промиваються водою $\tau_{пр}$ = 0,33 год. [2, табл.21].

Тоді витрата води на одну промивку одного фільтра:

$$q_{пр} = W \times t_{пр,} \quad (3.57)$$

де W – інтенсивність промивки, л/(с × м); W = 15 л/(с × м) [33, табл.21]; $t_{пр}$ – тривалість промивки, с; приймається $t_{пр}$ = 7 хв = 0,13 год = 420 с [33,табл.21].

$$q_{пр} = 15 \times 420/1000 = 6{,}3 \text{ м}^3/\text{м}^2$$

$F_ф$ = 52109 / (24 × 7 – 2 × 6,3 – 2 × 0,33 × 7) = 332 м^2

Наближено кількість фільтрів визначається за формулою:

$$N = 0{,}5\sqrt{F_ô}\ , \quad (3.58)$$

$N = 0{,}5\sqrt{332} = 9{,}2 \approx 10$ штук.

Швидкість фільтрування при виключенні одного фільтра на промивку:

$$v_ф = v_н \times N / (N - N_1), \quad (3.59)$$

де N_1 – число фільтрів, які знаходяться в ремонті; N_1 = 1 [33, п.10.12.5].

$$v_ф = 7 \times 10 /(10 - 1) = 7{,}78 \text{ м/год.}$$

Швидкість фільтрування при форсованому режимі:

$v_ф$ = 7 × 10 /(10 - 2) = 8,75 м/год.

Швидкість фільтрування при форсованому режимі повинна бути не більше 12 м/год [33, табл. 19]. Отримане значення відповідає даній умові. Площа одного фільтра:

$$F_{яч} = F_ф / N, \quad (3.60)$$

$F_{яч}$ = 332 / 10 = 33,2 м^2.

Прийняті наступні розміри одного швидкого фільтра в плані: довжина L = 6 м; ширина B = 6 м, тоді $F_{яч}$ = 6 × 6 = 36 м^2.

Нижня частина фільтра завантажується підтримуючим шаром гравію з зернами крупністю 2÷.40 мм і товщиною 0,6 м. Загальна товщина всього завантаження фільтра

складає: 0,5 + 0,8 + 0,6 = 1,9 м; висота шару води над поверхнею завантаження 2,0 м, перевищення будівельної висоти над розрахунковим рівнем води 0,5 м [33, п.10.12.7].

Розрахунок розподільної системи швидкого фільтра

Витрата води, необхідна для промивки одного фільтра:

$$q_{пром} = F_{яч} \times W, \quad (3.61)$$

$q_{пром}$ = 36 × 15 = 540 л/с.

Рекомендована швидкість руху води під час промивки на початку колектора розподільної системи 0,8÷1,2 м/с [33, п.10.12.12]. Для колектора розподільної системи прийнято $Д_{кол}$ = 800 мм; $v_{кол}$ = 1,06 м/с, 1000i = 1,64.

Площа фільтра, яка приходиться на одне відгалуження:

$$f_{б.в} = l_{віс} \times (B - Д_{зовн.кол}) / 2, \quad (3.62)$$

де $l_{віс}$ – відстань між вісями труб відгалужень, м, $l_{віс}$ = 0,35 м [33, п.10.12.11];

$Д_{зовн.кол}$ – зовнішній діаметр колектора, м, $Д_{зовн.кол}$ = 820 мм = 0,82 м.

$f_{б.в}$ =0,35 × (6 - 0,82) / 2 = 0,9 м^2.

Витрата промивної води, що надходить через одне бокове відгалуження, визначається за формулою:

$$q_{б.в.} = f_{б.в} \times W, \quad (3.63)$$

$$q_{б.в} = 0,9 \times 15 = 13,5 \text{ л/с}$$

Швидкість руху води в трубах відгалужень повинна бути 1,6.. .2,0 м/с [33, п.10.12.12]. Приймається: $d_{б.в}$ = 80 мм; $у_{б.в.}$ = 1,9 м/с; 1000i = 82,8. В нижній частині відгалужень під кутом 45° до вертикалі розташовані отвори діаметром d_o = 10 мм = 0,01 м, загальна площа яких в розподільній системі складає 0,25...0,5% робочої площі фільтра [33, п.10.12.11].

Довжина одного відгалуження:

$$l_{б.в} = (B \times Д_{зовн.кол}) / 2, \quad (3.64)$$

$l_{б.в}$ = (6 ×0,82) / 2 = 2,5 м.

Кількість відгалужень на кожному фільтрі:

$$n_{б.в} = L \times 2 / t_{б.в}, \quad (3.65)$$

де L – довжина швидкого фільтра, м;

$t_{б.в}$ – крок вісі відгалужень, м; приймається $t_{б.в}$ = 0,35 м.

$n_{б.в}$ = 6 × 2 / 0,35 = 35 од.

Забруднена вода при промивці швидких фільтрів збирається та відводиться по жолобам п'ятикутного перерізу, що розташовані над завантаженням. Ширина жолоба визначається за формулою:

$$B_{жол} = K_{жол}\sqrt[5]{q^2_{жол}/(1{,}57 + a_{жол})^3}\ , \tag{3.66}$$

де $q_{ж}$ – витрата води по жолобу, м^3/с;

$a_{ж}$ – відношення висоти прямокутної частини жолоба до половини його ширини; приймається $a_ж$ = 1,0 [33, п.10.12.17];

$K_{ж}$ – коефіцієнт; для п'ятикутних жолобів $K_{ж}$ = 2,1 [33, п.10.12.17]. Кількість жолобів визначається за формулою:

$$n_{ж} = B/t_{ж}, \tag{3.67}$$

де $t_{ж}$ – відстань між вісями жолобів, м; $t_{ж}$ = 1,95 м [2, п.10.12.17].

$$n_{ж} = 6 / 1{,}95 = 3 \text{ од.}$$

$q_{ж}$ = 540 / 3 = 180л/с = 0,18м^3/с

$$B_{æ} = 2{,}1\sqrt[5]{\frac{0{,}18^2}{(1{,}57+1)^3}} = 0{,}59\grave{i}$$

Висота прямокутної частини жолоба:

$$h_{пр} = 0{,}75 \times B_{ж.}, \tag{3.68}$$

$h_{пр}$ = 0,75 × 0,59 = 0,44 м.

Корисна висота жолоба:

$$h = 1{,}25 \times B_{ж}, \tag{3.69}$$

$$h = 1{,}25 \times 0{,}59 = 0{,}74 \text{ м.}$$

Відстань від поверхні фільтруючої загрузки до кромок жолобів:

$$H_{ж}=H_З \times a_З/100 + 0{,}3, \quad (3.70)$$

де $H_З$ – висота фільтруючого шару, м; $H_З$ = 0,5 + 0,8 = 1,3 м [33, табл.19]; $a_З$ – відносне розширення загрузки, %; $a_з$ = 50 % [33, табл.21].

$$H_ж = 1{,}3 \times 50/100 + 0{,}3 = 0{,}95 \text{ м.}$$

Витрата води на промивку фільтра у відсотковому співвідношенні до розрахункової витрати фільтрату визначається за формулою:

$$P_{сер} = W_{пром} \times N \times 100 / (q \times T), \quad (3.71)$$

де $W_{пром}$ – кількість води, що витрачається на одну промивку, м^3;

q – розрахункова витрата, м^3/год; q= 52109 м^3/доб = 2171,2 м^3/год;

N – кількість фільтрів;

T – тривалість роботи фільтра між промивками, год.

Кількість води, що витрачається на одну промивку:

$$W_{пром} = q_{пром} \times t_{пр} \times 60 / 1000, \quad (3.72)$$

$W_{пром}$ = 540 × 7 × 60 / 1000 = 226,8м^3

Тривалість роботи фільтра між промивками:

$$T = T_{ст}/n_{пр} - (t_{пр} + \tau_{пр}). \quad (3.73)$$

T = 24 / 2 - (0,1 + 0,33) = 11,6 год

$P_{ср}$ = 226,8 ×10 × 100 / (2171,2 × 11,6) = 9 %

При відведенні промивної води від фільтра збірний канал повинен запобігати створення підпору на виході води з жолобів. Тому відстань від дна жолоба до дна центрального каналу повинна бути не менше:

$$H_{кан} = 1,73\sqrt[3]{q^2_{кан} / gB^2_{кан}} + 0,2 \quad , \tag{3.74}$$

де $q_{кан}$ – витрата промивної води по збірному каналу, м /с, $q_{кан} = q_{пром}$;

$B_{кан}$ – ширина каналу, м; приймається $B_{кан} = 0,7$ м [33, п.10.12.18].

$H_{кан}=1,73\times(0,54^2/(9,81\times0,7^2)^{1/3}+0,2=0,9$ *м.*

Площа поперечного перерізу каналу:

$$F_{кан} = B_{кан} \times H_{кан}, \tag{3.75}$$

$$F_{кан} = 0,7 \times 0,9 = 0,63 \text{ м}^2.$$

Швидкість руху води в кінці каналу:

$$V_{кан} = q_{кан} / F_{кан}, \tag{3.76}$$

$$V_{кан} = 0,540 / 0,63 = 0,86 \text{ м/с}.$$

Втрати напору при промивці фільтра визначаються за формулою:

$$\sum h = h + h_ф + h_{гр} + h_д + h_м + h_{вс\,д} + h_{вс\,м}, \tag{3.77}$$

де h – втрати у розподільній системі фільтра, м;

$h_ф$ – втрати в фільтруючому шарі, м;

$h_{гр}$ – втрати в підтримуючому гравійному шарі, м;

$h_д$ – втрати в трубопроводі, який підводить промивну воду до розподільної системи фільтра, м;

$h_м$ – втрати на місцеві опори у фасонних частинах і арматурі, м;

$h_{вс\,д}$ – втрати по довжині у всмоктувальній лінії, м;

$h_{вс\,м}$ – втрати на місцеві опори у всмоктувальній лінії, м;

Втрати напору в розподільній системі фільтра:

$$h = \xi \times (v_{кол}^2 / 2 \times g) + (v_{від}^2 / 2 \times g), \quad (3.78)$$

де $v_{кол}$ – швидкість на початку колектора, м/с; прийнята $v_{кол}$ = 1,02 м/с [33, п.10.12.11];

$v_{від}$ – середня швидкість на вході у відгалуження, м/с; $v_{від}$ = 1,83 м/с [33, п.10.12.11]];

ξ – коефіцієнт гідравлічного опору:

$$\xi = 2,2 / К_п^2 + 1, \quad (3.79)$$

де $К_п$ – коефіцієнт перфорації; 0,15 ≤ $К_п$ ≤ 2 [33, п.10.12.11]:

$$K_п = F_о / S_{кол}, \quad (3.80)$$

де $S_{кол}$ – площа поперечного перерізу колектора, м^2;

$F_о$ – сумарна площа отворів, м^2, яка визначається за формулою:

$$F_о = 0,3 \times F_{яч} / 100, \quad (3.81)$$

$$F_о = 0,3 \times 36 / 100 = 0,1 \text{ м}^2.$$

Площа поперечного перерізу колектора визначається за формулою:

$$S_{кол} = \pi \times Д_{кол}^2 / 4. \quad (3.82)$$

$S_{кол}$ = 3,14 × 0,8^2 / 4 = 0,5 м^2; $К_п$ = 0,1 / 0,5 = 0,20; ξ = 2,2 / 0,20^2 + 1 = 56,

h = 56 × (1,02^2 / 2 ×9,81) + (1,83^2 / 2 × 9,81) = 3,13 м.

Втрати напору в фільтруючому шарі за товщиною шару загрузки $h_ф$ = 1,3 м. Втрати напору в підтримуючому гравійному шарі:

$$h_{гр} = 0,022 \times h_{гр.ш} \times W, \quad (3.83)$$

де $h_{гр.ш}$ – товщина підтримуючого гравійного шару, м; $h_{гр.ш}$ = 0,6 м.

$h_{гр}$ = 0,022 × 0,6 × 15 = 0,20 м.

Втрати напору в трубопроводі, що підводить промивну воду до розподільної системи фільтра, визначаються за формулою:

$$h_{дов} = i_{тр} \times l_{тр} \quad (3.84)$$

де $i_{тр}$ – питомі втрати в трубопроводі; $i_{тр}$ = 1,53 / 1000 = 0,00153;

$1_{тр}$ – довжина трубопроводу, м; по генплану очисної станції $l_{тр}$ = 105 м.

$h_{дов}$ = 0,00153 × 105 = 0,16 м.

Втрати напору на місцеві опори визначаються за формулою:

$$h_{м} = 0,3 \times h_{дов,} \quad (3.85)$$

$h_{м}$ = 0,3-0,16 = 0,05 м.

Втрати напору по довжині у всмоктувальній лінії

$$h_{вс.дов} = i_{вс} \times l_{вс} , \quad (3.86)$$

де $i_{вс}$ – питомі втрати у всмоктувальній лінії;

$l_{вс}$ – довжина трубопроводу, м; по генплану очисної станції $l_{вс}$ = 55 м.

При $q_{пром}$ = 540 л/с приймається діаметр всмоктувальної лінії $Д_{вс}$ = 800 мм; $v_{вс}$ = 1,08 м/с; 1000i = 1,69. Тоді $i_{вс}$ = 1,69 / 1000 = 0,00169. $h_{вс.дов}$ = 0,00169 × 55 = 0,09 м.

Втрати напору на місцеві опори у всмоктувальній лінії:

$$h_{вс.м} = \sum\xi_{м} \times (v_{вс} / 2 \times g), \quad (3.87)$$

де $\xi_{м}$ – коефіцієнт місцевих опорів: коліно 90° – ξ_1 = 0,5 – 1 шт.;

засувка – ξ_2 = 0,15 – 1 шт; вхід в трубу – ξ_3 = 0,5 – 1 шт; переходи – ξ_4 = 0,2 – 2 шт.

$$\sum\xi_{м} = \xi_1 \times 1 + \xi_2 \times 1 + \xi_3 \times 1 + \xi_4 \times 2, \quad (3.88)$$

$\sum\xi_{м}$ = 0,5 + 0,15 + 0,5 + 0,2 × 2 = 1,55, $h_{вс.м}$ = 1,55 × (1,02^2 / 2 × 9,81) = 0,08

Сумарні втрати напору при промивці швидких фільтрів:

$\sum h$ = 3,13 + 1,3 + 0,20 + 0,16 + 0,05 + 0,09 + 0,08 = 5,01 м.

3.5 Розрахунок резервуарів чистої води

Повний об'єм резервуара чистої води визначається за формулою:

$$W_{РЧВ} = W_Р + W_Ф + W_{П,} \quad (3.89)$$

де $W_Р$ – регулюючий об'єм РЧВ, м; $W_Ф$ – запас води, необхідний для промивки швидких фільтрів, м^3; $W_П$ – об'єм недоторканого протипожежного запасу води, м^3.

В таблиці 3.2 представлено розрахунок регулювальної місткості резервуарів.

Таблиця 3.2 – Визначення регулювального об’єму резервуарів чистої води

Години доби	Відбір насосами	Надходження зі споруд	Надходження в РЧВ	Витрати з РЧВ	Залишок в РЧВ
0-1	1.76	4.17	2.41		2.41
1-2	1.76	4.17	2.41		4.82
2-3	1.76	4.17	2.41		7.23
3-4	1.76	4.17	2.41		9.64
4-5	1.76	4.17	2.41		12.05
5-6	1.76	4.17	2.41		14.46
6-7	5.37	4.17		1.2	13.26
7-8	5.37	4.17		1.2	12.06
8-9	5.37	4.17		1.2	10.86
9-10	5.37	4.17		1.2	9.66
10-11	5.37	4.17		1.2	8.46
11-12	5.37	4.17		1.2	7.26
12-13	5.37	4.17		1.2	6.06
13-14	5.37	4.17		1.2	4.86
14-15	5.37	4.17		1.2	3.66
15-16	5.37	4.17		1.2	2.46
16-17	5.37	4.16		1.21	1.25
17-18	5.37	4.16		1.21	0.04
18-19	5.37	4.16		1.21	-0.117
19-20	5.37	4.16		1.21	-2.38
20-21	5.37	4.16		1.21	-3.59
21-22	5.37	4.16		1.21	-4.8
22-23	1.76	4.16	2.4		-2.4
23-24	1.76	4.16	2.4		0
	100	100			

$W'_{рег}$ = 14,46 + 4,8 = 19,26 % = 9650 м^3.

$W_ф$ – запас води на промивку фільтрів;

$W_ф$= 4689,8 м^3;

$W_п$ – запас води на пожежогасіння:

$\sum Q_{см}$ – витрата води за t суміжних годин максимального водоспоживання, м^3;

$\sum Q_{см}$ = 3246,69 + 2935,34 + 2895,35 = 9077,38 м^3

$Q_{макс.доб}$ – витрата води в добу максимального водоспоживання, м^3.

$W_п$ = 3,6 × 95 × 3 + 9077,38 – (4,17 × 50104,83 × 3) / 100 = 3835,27 м^3

$$W = 3,6\ Q_н \times t + \sum Q_{см} – (4,17\ Q_{макс.доб} \times t) / 100, \quad (2.91)$$

де $Q_н$ – повна розрахункова витрата води на пожежогасіння, л/с;

t – час гасіння пожежі, год;

$W_{рчв}$ = 9650 + 4689,8 + 3835,27 = 18175,1 м^3.

Приймаються 4 резервуари чистої води об'ємом 4582 м^3 кожний, розміри кожного резервуару в плані 36×36×4,2 м, глибина води в РЧВ – 3,5 м.

3.8 Знезараження води

Знезараження води проводиться хлорною водою в два етапи. Розрахункова погодинна витрата хлору для попереднього хлорування:

$$Q'_{хл} = Q_{сут} \times Д'_{хл} / (1000 \times 24), \quad (3.92)$$

де $Д'_{хл}$ – доза хлору для попереднього хлорування, мг/л; $Д_{хл}$ = 3 мг/л [33].

$$Q'_{хл} = 52109 \times 3 / (1000 \times 24) = 6,5 \text{ кг/год.}$$

Розрахункова погодинна витрата хлору для вторинного хлорування:

$$Q^{//}_{хл} = Q_{сут} \times Д^{//}_{хл} / (1000 \times 24), \quad (3.93)$$

де $Д^{//}_{хл}$ – доза хлору для вторинного хлорування, мг/л; $Д^{//}_{хл}$ = 1 мг/л [33].

$$Q^{//}_{хл} = 52109 \times 1 / (1000 \times 24) = 2,17 \text{ кг/год.}$$

Загальна витрата хлору складає:

$$Q_{хл} = Q^{/}_{хл} + Q^{//}_{хл}, \quad (3.94)$$

$Q_{хл}$ = 6,5 + 2,17 = 8,67кг/год або 208 кг/доб.

РОЗДІЛ 4. ЕКОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ

4.1 Розробка очисних споруд для промивних вод після фільтрів

4.1.1 Розрахунок витрат промивних вод

Розрахункова витрата промивної води, що поступає в пісколовки:

$$Q_{піс} = q_{пром} \times t_{пр} \times n_{пр} \times N / 1000 , \quad (4.1)$$

де $q_{пром}$ – кількість води для промивки одного швидкого фільтра, л/с;

$q_{пром}$ = 540 л/с;

$t_{пр}$ – тривалість промивки, с; прийнята $t_{пр}$ = 7 хв. = 420 с [33];

$n_{пр}$ – кількість промивок одного швидкого фільтра за добу; $n_{пр}$ = 2;

N – кількість швидких фільтрів; за формулою (3.53) N = 10 шт.

$$Q_{піс} = 540 \times 420 \times 2 \times 10 / 1000 = 4536 \text{ м}^3\text{/доб.} = 189 \text{ м}^3\text{/год.}$$

4.1.2 Визначення конструктивних розмірів приймальних резервуарів

Для прийому води від промивки швидких фільтрів на очисній станції розміщені резервуари промивних вод в кількості $N_{пр.в.}$ = 2 од. [33]. Об'єм кожного резервуара дорівнює об'єму води від однієї промивки швидкого фільтра та складає $W_{пром}$ = 234 м^3. Приймаються 2 резервуари об'ємом 234 м^3 кожний з розмірами в плані 9×9 м, глибина води 2,9 м.

4.1.3 Розрахунок пісковловлювачів

Для відокремлення піску, що виноситься під час промивки швидких фільтрів, передбачаються пісковловлювачі [33, п.10.25.4].

Приймаються до розрахунку пісковловлювачі з круговим підводом води.

Площа одного відділення пісковловлювача в плані:

$$F_n = Q_{nic}/(n \times q_o), \quad (4.2)$$

де n – кількість відділень; приймається n = 2;

q_o – навантаження на пісковловлювач по воді, м^3 /(м^2 × год).

Навантаження на пісковловлювач чисельно дорівнює гідравлічній крупності піску розрахункового діаметру U_o яка виражена в м/год:

$$q_o = U_o \times 3600 / 1000, \quad (4.3)$$

При діаметрі часток, що осаджуються, d= 0,15 мм, гідравлічна крупність U_o = 13,2 мм/с [33].

$$q_o = 13{,}2 \times 3600 / 1000 = 47{,}52 \text{ м}^3/(\text{м}^2/\text{тод});$$

$$F_n = 189 / (2 \times 47{,}52) = 2 \text{ м}^2.$$

Діаметр кожного відділення пісковловлювача:

$$D = \sqrt{\frac{4 \times F}{\pi}}, \quad (4.4)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 1{,}8}{3{,}14}} = 1{,}5 \text{ м}.$$

Для накопичування осаду служить конусна основа пісковловлювача. Висота конусної основи визначається за формулою:

$$h_2 = \sqrt{Ä_i^2 - h_1^2}, \quad (4.5)$$

де h_1 – глибина пісковловлювача, м; приймається $h_1 = Д_п / 2 = 1{,}4 / 2 = 0{,}75$ м [9].

$$h_2 = \sqrt{1,5_i^2 - 0,75_1^2} = 1,3 \text{ м}$$

Прийнято кут нахилу стінок конусної частини до горизонту α = 60°. Тоді об'єм конусної частини визначається за формулою:

$$V_{кон} = \pi \times Д_п^2 \times h_2 / (3 \times 4), \quad (4.6)$$

$$V_{кон} = 3,14 \times 1,5^2 \times 1,3 / 12 = 0,76 \text{ м}^3.$$

Пісок видаляється з пісковловлювачів за допомогою гідроелеватора та вивозиться на пісковий майданчик. З пісковловлювачів вода повертається до горизонтальних відстійників.

4.1.4 Розрахунок згущувачів

Осад з горизонтальних відстійників надходить на згущувачі. В якості згущувачів передбачається використання радіальнихх відстійників. Площа зони осадження одного згущувача:

$$F_{зг} = \beta_{об} \times q_{зг} / (3,6 \times v_{зг} \times N_{зг}), \quad (4.7)$$

де $\beta_{об}$ – коефіцієнт що враховує об'ємне використання згущувача;

приймається $\beta_{об}$ = 1,3 [33, п.6.63].

$q_{зг}$ – розрахункова витрата осаду, м^3/год;

$v_{зг}$ – швидкість висхідного потоку, мм/с; $v_{зг}$ = 0,5 мм/с [2, табл.18];

$N_{зг}$ – кількість згущувачів; приймається $N_{зг}$ = 4 шт.

Розрахункова витрата осаду визначається за формулою:

$$q_{зг} = W^{від}_{ос} / T_{ск}\,, \qquad (4.8)$$

де $W^{від}_{ос}$ – об'єм зони накопичування та ущільнення осаду відстійника, м^3;

$W^{від}_{ос}$ = 76 м^3;

$T_{ск}$ – тривалість скиду осаду з відстійника, год; $T_{ск}$ = 20 хв. = 0,33 год. [33,дод.9,п.10].

$$q_{зг} = 76 / 0{,}33 = 230{,}3 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$F_{зг} = 1{,}3 \times 230{,}3 / (3{,}6 \times 0{,}5 \times 4) = 41{,}6 \text{ м}^2$$

Діаметр згущувача визначається за формулою (4.4):

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 41{,}6}{3{,}14}} = 7{,}2 \sim 9 \text{ м.}$$

Кут між стінками конусної частини приймається рівним 80°. Тоді кут нахилу стінок до горизонту становить 50° і висота конусної частини:

$$H_к = R_{зг} \times tg50°\,, \qquad (4.9)$$

де $R_{зг}$ – радіус згущувача, м; $R_{зг}$ = 9 / 2 = 4,5 м.

$$H_к = 4{,}5 \times 1{,}19 = 5{,}4 \text{ м.}$$

4.1.5 Розрахунок споруд для зневоднення осадів

Для зневоднення осаду передбачаються фільтр-преси ФПАКМ-2,5У. Продуктивність фільтр-пресів визначається за формулою:

$$G = m_т / (F \times \tau_ц), \qquad (4.10)$$

де $m_т$ – маса сухих речовин, що утворюються на фільтрувальній перегородці за 1 фільтроцикл, кг;

F – площа фільтрування, м^2; приймається F = 2,5 м^2;

$\tau_ц$ – тривалість зневоднення, год.

Тривалість зневоднення осаду складається з тривалості окремих операцій і визначається за формулою:

$$\tau_ц = \tau_{зап} + \tau_ф + \tau_{пр} + \tau_{доп}, \quad (4.11)$$

де $\tau_{зап}$ – тривалість заповнення камер, с; приймається $\tau_{зап}$ = 540 с;

$\tau_ф$ – тривалість фільтрування, с; приймається $\tau_ф$ = 720 с;

$\tau_{пр}$ – тривалість продувки, с; приймається $\tau_{пр}$ = 180 с [35];

$\tau_{доп}$ – допоміжні роботи, с; приймається $\tau_{доп}$ = 360 с [35].

$$\tau_ц = 540 + 720 + 180 + 360 = 1800с = 0,5 год.$$

Маса сухих речовин визначається за формулою:

$$m_т = V_{кам} \times C_{вих}, \quad (4.12)$$

де $V_{кам}$ – об'єм робочих камер фільтр-пресу, м,; прийнятий $V_{кам}$ = 0,11 м [35];

$C_{вих}$ – концентрація сухих речовин вихідного осаду, кг/м^3:

$$C_{вих} = (100 - W_{вих}) \times \rho_{ос} / 100, \quad (4.13)$$

де $W_{вих}$ – вологість вихідного осаду, %; приймається $W_{вих}$ = 97% [35];

$\rho_{ос}$ – щільність осаду, кг/м, приймається $\rho_{ос}$ = 1100 кг/м [35].

$$C_{вих} = (100 - 97) \times 1100 / 100 = 33 кг/м^3;$$

$$m_т = 0,11 \times 33 = 3,63 кг.$$

$$G = 3,63 / (2,5 \times 0,5) = 2,9 кг / (м^2 \times год)$$

Приймається 1 робочий та 1 резервний фільтр-прес.

4.2 **Екологічне обґрунтування інженерної системи водопідготовки**

У кваліфікаційній роботі розроблено технологію очищення забруднених вод після промивання швидких фільтрів. Після промивки фільтрів забруднена вода надходить у резервуар, з якого подається на очищення на пісковловлювачах з круговим підводом води, пісок із пісковловлювачів направляється на пісковий майданчик.

Кількість води, що не буде скидатися у водойму визначена за формулою:

$$Q=q_{пром}\times t_{пр} \times n_{пр} \times N / 1000, \quad (4.14)$$

де $n_{пр}$ – число промивань одного швидкого фільтра за добу; прийнято $n_{пр}$ = 2[33]; N – кількість швидких фільтрів; N = 10.

$$Q=540 \times 420 \times 2 \times 10/1000=4536 \text{ м}^3/\text{доб}.$$

Очищена промивна вода повторно використовується підприємством на власні потреби. Враховуючи вартість чистої води, яка складає 17 грн/м^3 заощадження протягом року становить

$$4536 \text{ м}^3 \times 17\text{грн/м}^3 \times 365=28145880 \text{ грн/рік}.$$

ВИСНОВКИ

У процесі виконання кваліфікаційної роботи було досягнуто поставлену мету щодо вдосконалення технологічних рішень системи міського водопостачання шляхом підвищення ефективності підготовки питної води та зниження негативного впливу на навколишнє середовище. Основні висновки наведено нижче:

1. Аналіз сучасного стану систем водопостачання показав, що однією з головних проблем є низька якість вихідної води та недостатня ефективність застарілих технологій водоочищення.
2. Обґрунтовано вибір оптимальної технології водопідготовки**,** яка включає використання вертикальних вихрових змішувачів, горизонтальних відстійників та швидких фільтрів. Така комбінація споруд дозволяє забезпечити необхідну якість очищення води при мінімальних витратах енергії та з урахуванням санітарно-гігієнічних нормативів.
3. Розроблено інженерну схему водопідготовки, яка включає: 4 вертикальні змішувачі (висота – 4,44 м), 6 горизонтальних відстійників (довжина – 45 м, середня глибина – 3 м), 10 швидких фільтрів (6×6 м кожен). Проведено розрахунки, які підтверджують доцільність обраної конфігурації та забезпечують ефективну очистку за проєктної витрати.
4. Оцінено екологічний вплив запропонованих технологій: застосування тонкошарових модулей дозволяє збільшити навантаження на відстійники в 9 раз. Передбачено обробку промивних вод з використанням 2 резервуарів (234 м³, 9×9 м, глибина 2,9 м), 2 пісковловлювачів (D = 1,5 м), 4 згущувачів (D = 8 м), 2 фільтр-пресів типу ФПАКМ-2,5У (1 робочий, 1 резервний). Це дозволяє зменшити обсяг забруднень, що потрапляють у навколишнє середовище, та забезпечити повторне використання ресурсів. Економія за рік становить 28145880 грн/рік.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Все про якість водопровідної води. URL: https://vodokanal.kiev.ua/news/vse-pro-yakist-vodoprovidnoi-vody

2. ЛМКП «Львівводоканал». URL: https://city-adm.lviv.ua/lmr/utilities/lkp-lvivvodokanal/

3. Уллianодт Г., І. В. Васильківський І.В. Знищення іхтіофауни Південного Бугу в результаті будівництва малих ГЕС. URL: https://surl.li/sxkcqx

4. ЄС допомагає Чернівцям вирішити проблеми з водопостачанням. URL: https://vodokanal.cv.ua/news/yes-dopomagaye-chernivtsyam-vyrishyty-problemy-z-vodopostachannyam.html

5. Інтелектуальна система управління водопостачанням і моніторингу. URL: https://www.proxis.ua/uk/solution/intelligent-water-management-and-monitoring-system/

6. Інноваційна опріснювальна установка від ІХФ. URL: https://kpi.ua/1534-3

7. Ізраїль: Як одна з найбільш посушливих країн світу тепер має вдосталь води. URL: https://uk.globalvoices.org/2019/12/22/548/

8. Досвід Ізраїлю: як стічні води перетворюються на водний ресурс, який розвиває країну. URL: https://ukraine-oss.com/dosvid-izrayilyu-yak-stichni-vody-peretvoryuyutsya-na-vodnyj-resurs-yakyj-rozvyvaye-krayinu/

9. SMART лічильник води. URL: https://btk-center.com.ua/post/smart-lichilnik-vodi-id34.html

10. Брик М. Т. Питна вода і мембранні технології (огляд). URL: https://ekmair.ukma.edu.ua/server/api/core/bitstreams/f678d5b8-c97f-48a9-ad2c-641144f93636/content

11. Байдур К., Стецюк А., Коломацький М. Технологія очищення води мембранними методами. Матеріали XXIV Міжнародної науково-практичної

конференції «Екологія. Людина. Суспільство», 5 червня 2024 р., м. Київ, Україна. URL: https://ecoconference.kpi.ua/article/view/304089

12. Про затвердження Порядку повторного використання очищених стічних вод та осаду стічних вод за умови дотримання нормативів гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин : наказ № 341 від 12.12.2018. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0075-19#Text

13. Економія води за допомогою розумних технологій: оглядрішень. URL: https://smartdim.com.ua/ekonomiya-vody-za-dopomogoyu-rozumnyh-tehnologij-oglyad-rishen/

14. Boyle, T., Giurco, D., Mukheibir, P., Liu, A., Moy, C., White, S., & Stewart, R. (2013). *Intelligent metering for urban water: A review*. *Water*, 5(3), 1052–1081. URL:https://doi.org/10.3390/w5031052. URL: https://www.mdpi.com/2073-4441/5/3/1052

15. Zhong, L., Steffelbauer, D., & He, B. (2020). *Data-driven leakage detection in smart water grids: A survey*. *Sensors*, 20(3), 908. URL: URL: https://doi.org/10.3390/s20030908

16. Bakker, K., Kooy, M., Shofiani, N. E., & Martijn, E. J. (2014). *Governance failure: Rethinking the institutional dimensions of urban water supply to poor households*. *World Development*, 32(8), 123–135. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0305750X08001861

17.European Water Tech Institute. (2019). *Smart water metering: Benefits, costs, and implementation strategies*. Internal Report. URL: https://surl.li/eamzjt

18.Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. (2023). *Звіт щодо пілотних проєктів з цифрового обліку води в містах України*. URL:https://saee.gov.ua

19. International Water Association (IWA). (2018). *Water Loss Specialist Group Report*. Retrieved from: URL: https://iwa-network.org

20. Григор'єв В. І. *Методи виявлення витоків у системах водопостачання*. Київ: Наукова думка. 2021.

21. Бобров С. М. Стан та модернізація водопровідних мереж в Україні. *Комунальне господарство міст*, № 156,2020. С. 45–52.

22. Zhang, Y., Li, Z., & Wang, Q. (2019). Pressure Management in Urban Water Distribution Systems. *Water Resources Management*, 33(5), P. 1675–1690.

23. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2020). *Water Audits and Water Loss Control for Public Water Systems*. EPA 816-R-20-001. URL: https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-04/documents/epa816f13002.pdf

24. World Bank. (2021). World Bank Group Support to Energy Efficiency: An Independent Evaluation of Demand-Side Approaches. Washington, DC: World Bank Group. URL: https://ieg.worldbankgroup.org/sites/default/files/Data/reports/ap_supporttoenergyefficiency.pdf

25. Олійник В. Г. Впровадження частотних перетворювачів у насосних станціях як засіб підвищення енергоефективності. *Вісник НТУУ КПІ*, № 12, 2020. с. 55–61.

26. International Energy Agency (IEA). (2022). *Hydropower Technology Brief*. Paris: IEA Publications. URL: https://www.iea.org/energy-system/renewables/hydroelectricity

27. Савчук І. П. Використання сонячної енергії в системах водопостачання: технічний аналіз пілотних проектів, *Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит.* № 3, 2021. С. 22–28.

28. World Health Organization (WHO). (2022). *Drinking-water*. Retrieved from. URL: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water

29. Bolton, J. R., & Cotton, C. A. (2011). *The Ultraviolet Disinfection Handbook*. American Water Works Association. URL: https://books.google.com.ua/books/about/The_Ultraviolet_Disinfection_Handbook.html?id=1-Aw1BVoJVgC&redir_esc=y

30. Rice, R. G. (2013). *Applications of Ozone for Industrial Wastewater Treatment: A Review*. Ozone: Science & Engineering, 35(2), P. 138–152. URL:

https://www.academia.edu/1939620/Applications_of_ozone_for_industrial_wastewater_treatment_a_review

31. Kostylev, V., Davydenko, S., & Shabliy, A. Implementation of Decentralized Water Treatment Systems in Ukrainian Urban Settlements. *Municipal Economy of Cities*, № 161, 2020. P. 34–40.

32. Md.Mahbubur Rahman. Internet of Things (IoT) Based Water Quality Monitoring System. URL: https://www.researchgate.net/publication/344167317_Internet_of_Things_IoT_Based_Water_Quality_Monitoring_System

33. 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

34. Тугай А. М., Орлов В. О. Водопостачання : підручник. Київ : Знання, 2008. 735 с.URL: http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2016/Tugaj_2009_735.pdf

35. Айрапетян Т.С. Процеси та обладнання для обробки осадів : методичні рекомендації до проведення практичних занять. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2022. 73 с. URL: https://eprints.kname.edu.ua/62958/1/%D0%90%D0%B9%D1%80%D0%B0%D0%BF%D0%B5%D1%82%D1%8F%D0%BD%2C%20470%D0%9C%2C%202022%2C%20pdf.pdf