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: **«РЕСУРСООЩАДНІ РІШЕННЯ В СИСТЕМІ МІСЬКОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ»**

Виконала: студентка 4 курсу, групи 6.1921-мім спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія освітньо-професійної програми «Міські інженерні мережі»

КОРЕНЬКОВА АЛІСА АРТЕМІВНА

Керівник: доцент кафедри міського будівництва і архітектури, канд. техн. наук О. Г. Добровольська

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

Кореньковій Алісі Артемівні
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи: Ресурсоощадні рішення в системі міського водопостачання
2. Строк подання роботи: 15.06.2025
затверджено наказом ЗНУ від «26» грудня 2024 року № 2028-с
3. Вихідні дані до роботи: *генплан міста (додаток 1), характеристики житлової забудови, підприємств, умов водопостачання (додаток 2 до завдання)*
4. *Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що належить розробити): 1. Аналіз застосування ефективних технологій водопідготовки та вибір напряму дослідження. 1.1. Застосування енергоефективних і ресурсозберігаючих технологій водопідготовки на комунальних об'єктах. 1.2. Розробка технології водопідготовки на основі ресурсозберігаючих принципів очищення питної води. 2. Визначення розрахункових витрат води. 2.1 Визначення господарсько-питних витрат. 2.2 Визначення витрат на полив. 2.3 Розрахунок витрат води на промисловому підприємстві. 3. Розрахунок очисних споруд з урахуванням модернізації відстійників. 3.1 Розрахунок змішувачів. 3.2 Оптимізація процесу відстоювання води. 3.2.1 Розрахунок горизонтального відстійника. 3.2.2 Розрахунок параметрів роботи горизонтального відстійника з урахуванням оптимізації. 3.2.3 Розрахунок допустимого навантаження після реконструкціївідстійника. 3.3 Оптимізація роботи швидких фільтрів 4. Розробка енергоощадної технології повторного використання промивних вод. 4.1 Визначення об'єма промивних вод. 4.2 Розрахунок приймальних камер. 4.3 Розрахунок пісковловлювачів4.4 Розрахунок згущувачів. 4.5 Розрахунок накопичувачів. 4.6 Екологічне обгрунтування проекту. Висновки.*

5. *Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)*

1. Ситуаційний план міста. 2. Висотна схема очищення води. 3. План очистної станції 4. Горізонтальний відстійник 5. Модернізація відстійників 6. Згущувач радіального типу.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 11.03.2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Виконання	Приміт ка
1	Розділ 1. Аналіз застосування ефективних технологій водопідготовки та вибір напряму дослідження.	25.03.25	
2	Листи 1-2.	14.04.25	
3	Розділ 2. Визначення розрахункових витрат води.	25.04.25	
4	Листи 3,4.	11.05.25	
5	Розділ 3. Розрахунок очисних споруд з урахуванням модернізації відстійників.	20.05.25	
6	Розділ 4. Розробка енергоощадної технології повторного використання промивних вод.	01.06.25	
7	Листи 5-6.	08.06.25	
8	Презентація підготовка доповіді.	15.06.25	

Студент _____ А.А. Коренькова
(підпис) (ініціали та прізвище)

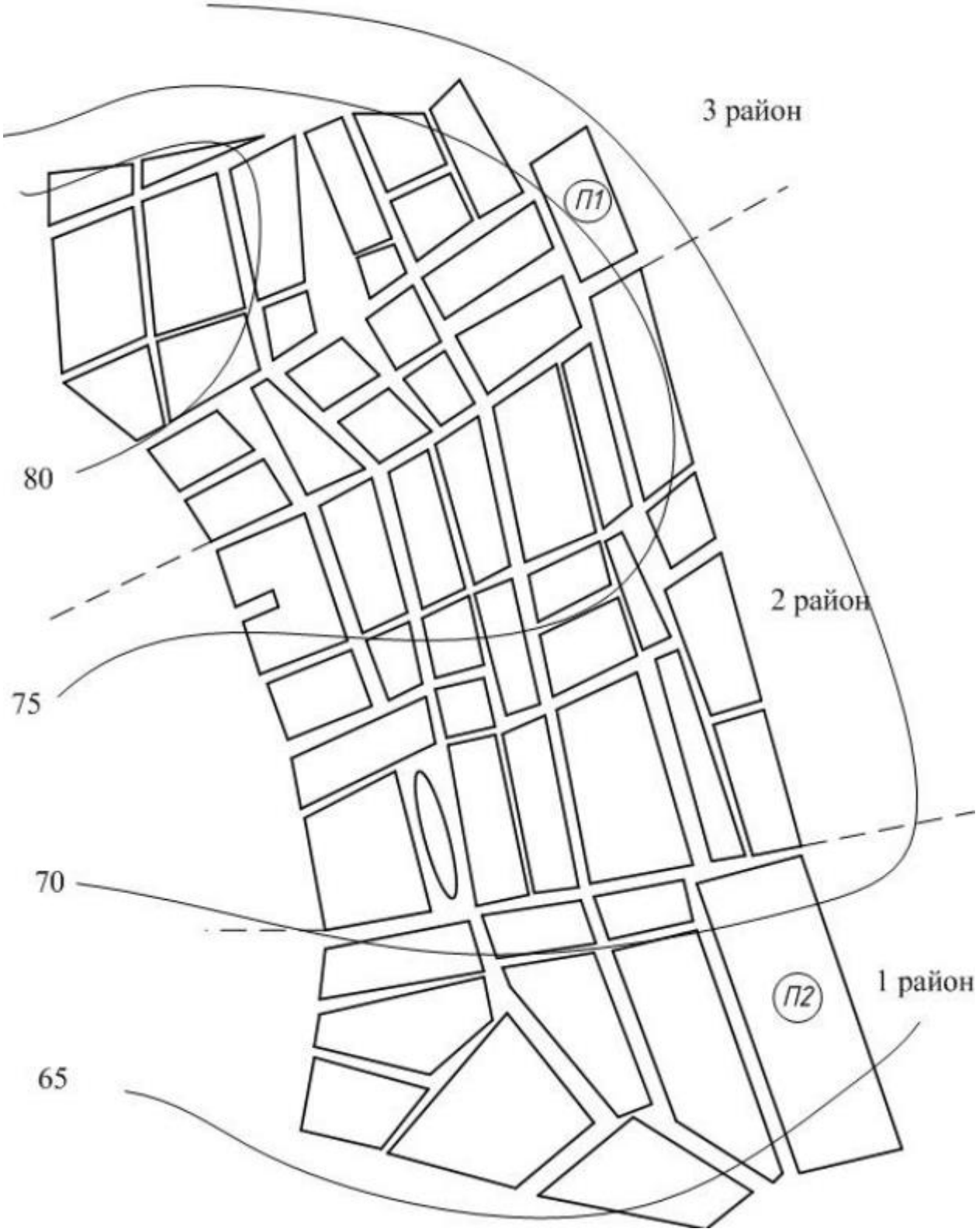
Керівник роботи _____ О.Г. Добровольська
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

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

Додаток 1

Генплан міста М1:20000



Додаток 2

Таблиця 1 – Характеристика забудови

Район міста	Кількість поверхів	Кількість населення, чол/га	Ступінь благоустрою
Перший район	5	20640	внутрішній водопровід, каналізація і ванни з місцевими водонагрівачами
Другий район	9	79200	внутрішній водопровід, каналізація і централізоване гаряче водопостачання
Третій район	5	24200	внутрішній водопровід, каналізація і ванни з місцевими водонагрівачами
Усього			

Таблиця 2 – Характеристика підприємств

Назва підприємства	Витрата води на од. продукції	Продуктивність підприємства	Витрата води на виробництво	Кількість працюючих по змінах			Категорія пожежної безпеки
	$м^3$/од	од/доб	$м^3$/доб	1	2	3	
Підприємство №1(шинний завод)	3,0	3000 шин	9000	700	600	300	I А,В
Підприємство №2 (кондитерська фабрика)	30	100 т	3000	500	400	400	II В

Умови водопостачання

Якість води в джерелі водопостачання: каламутність М=140 мг/л, кольоровість Ц =805 град.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ ……8
ABSTRACT……..…...….9
ВСТУП……...…10
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ ЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВОДОПІДГОТОВКИ ТА ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕННЯ
1.1. Застосування енергоефективних і ресурсозберігаючих технологій водопідготовки на комунальних об'єктах……...12
1.2. Розробка технології водопідготовки на основі ресурсозберігаючих принципів очищення питної води……23
Висновки до розділу 1……...…31
РОЗДІЛ 2. ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ВИТРАТ ВОДИ
2.1 Визначення господарсько-питних витрат……..…32
2.2 Визначення витрат на полив……...……33
2.3 Розрахунок витрат води на промисловому підприємстві……34
Висновки до розділу 2……...37
РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ОЧИСНИХ СПОРУД З УРАХУВАННЯМ МОДЕРНІЗАЦІЇ ВІДСТІЙНИКІВ
3.1 Розрахунок змішувачів……38
3.2 Оптимізація процесу відстоювання води…….…41
3.2.1 Розрахунок горизонтального відстійника…….…42
3.2.2 Розрахунок параметрів роботи горизонтального відстійника з урахуванням оптимізації……..47
3.2.3 Розрахунок допустимого навантаження після реконструкції відстійника……...……..48
3.3 Оптимізація роботи швидких фільтрів……..48
Висновки до розділу 3……...52
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ЕНЕРГООЩАДНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПОВТОРНОГО ВИКОРИСТАННЯ ПРОМИВНИХ ВОД
4.1 Визначення об’єма промивних вод……...…53

4.2 Розрахунок приймальних камер…….....…53
4.3 Розрахунок пісковловлювачів……54
4.4 Розрахунок згущувачів……55
4.5 Розрахунок накопичувачів…….….56
4.6 Екологічне обгрунтування ……..……...…57
Висновки до розділу 4……...58
ВИСНОВКИ……...…59
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ….……...……61

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота бакалавра «Ресурсоощадні рішення в системі міського водопостачання». В кваліфікаційній роботі 64 сторінки, 5 таблиць, 2 рисунка, 29 джерел. Графічна частина роботи представлена 6 листами формату А1.

Ключові слова: РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ; ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ; СИСТЕМА ВОДОПОСТАЧАННЯ; ОЧИСНІ СПОРУДИ; ШВИДКІ ФІЛЬТРИ; ГОРИЗОНТАЛЬНІ ВІДСТІЙНИКИ; ПОВТОРНЕ ВИКОРИСТАННЯ ПРОМИВНИХ ВОД.

Метою роботи є розробка ресурсоощадної технології водопідготовки в системі міського водопостачання, яка забезпечить високу якість води при мінімальних витратах ресурсів.

Об’єкт досліджень – очисні споруди з добовою продуктивністю 61675 $м^3$/добу.

Предмет досліджень – конструктивні та технологічні параметри споруд, які забезпечують оптимізацію процесів відстоювання води в горизонтальних відстійниках, оптимізацію роботи швидких фільтрів, розробку енергоощадної технології повторного використання промивних вод.

ABSTRACT

Bachelor's thesis "Resource-saving solutions in the urban water supply system". The thesis contains 64 pages, 5 tables, 2 images, 29 sources. The graphic part of the work is presented on 6 sheets of A1 format.

Keywords: RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES; ENERGY-SAVING TECHNOLOGIES; WATER SUPPLY SYSTEM; TREATMENT PLANTS; FAST FILTERS; HORIZONTAL SETTLERS; REUSE OF WASH WATER.

The purpose of the work is to develop a resource-saving technology for water treatment in the urban water supply system, which will ensure high water quality with minimal resource consumption.

The object of research is treatment plants with a daily capacity of 61675 m^3/day.

The subject of research is the design and technological parameters of structures that ensure optimization of water settling processes in horizontal settling tanks, optimization of the operation of rapid filters, and development of energy-saving technology for the reuse of washing water.

ВСТУП

Актуальність роботи полягає в тому, що в умовах воєнного стану та післявоєнної відбудови реконструкція та модернізація очисних споруд повинні базуватися на енерго- та ресурсоощадному підходах до раціонального використання фінансових, трудових, енергетичних ресурсів на міських комунальних підприємствах. Крім того, такий підхід не лише дозволить забезпечити високу якість питної води, а також знизить негативний вплив на довкілля. Вдосконалення та модернізація очисних споруд, впровадження ресурсоощадних технологій дає перспективи для економічного розвитку окремого комунального підприємства, що сприяє вагомому внеску у загальний економічний прогрес країни.

Метою роботи є вдосконалення технології очищення питної води шляхом модернізації споруд та застосування ресурсоощадних технологій водопідготовки.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні **завдання**:

- проаналізувати застосування ефективних енергозберігаючих та ресурсозберігаючих технологій водопідготовки та обрати напрямок дослідження;
- визначити розрахункові витрати води на господарсько-питні витрати, полив, а також витрати води на промислових підприємствах;
- провести розрахунок очисних споруд з урахуванням модернізації ~~змішувачів~~, горизонтальних відстійників, ~~швидких фільтрів~~;
- розробити енергоощадну технологію повторного використання промивних вод.

Об'єкт дослідження: процеси і технології водопідготовки, які використовуються для забезпечення питної води.

Предмет дослідження: ефективні методи і технології водопідготовки на основі ресурсозберігаючих принципів очищення питної води.

В роботі досліджується технологічний процес очищення природної води продуктивністю 61675 $м^3$/добу.

Застосовані методи: теоретичні (аналіз, синтез, порівняння, узагальнення) та практичні (методи математичного моделювання, гідравлічних розрахунків).

Практичне значення. Результати дослідження можуть бути корисні в якості прикладу для очисних споруд, на яких планується реконструкція та модернізація горизонтальних відстійників, швидких фільтрів та повторне використання промивних вод, що буде сприяти ресурсозбереженню. Використання споруд для повторного використання промивної води дає можливість уникнути скидання у водойму коагулянта. Застосування системи повторного використання промивної води сприяє значним економічним та екологічним перевагам.

Структура та обсяг роботи. Робота складається із вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел. Робота викладена на 64 сторінках, має 5 таблиць, 2 рисунка, 29 джерел. Графічна частина роботи представлена 6 листами формату А1.

РОЗДІЛ 1
АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ ЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВОДОПІДГОТОВКИ ТА ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Застосування енергоефективних і ресурсозберігаючих технологій водопідготовки на комунальних об'єктах

Водні ресурси становлять важливу складову національного багатства та мають високий рівень динамічності. На відміну від інших природних ресурсів, вони постійно відновлюються і мають істотну варіативність як у часі, так і в просторі. Чисті прісні води є цінним та все більш обмеженим природним ресурсом. На сьогодні більшість регіонів України стикаються з серйозним дефіцитом якісної питної води.

Якість води − характеристика складу і властивостей води, яка визначає її придатність для конкретних цілей використання. Але якість будь-якої води характеризується поєднанням декількох властивостей:

1. Фізичних властивостей (температура, кольоровість, мутність, присмак, запах);
2. Хімічного складу (активна реакція (pH), твердість (жорсткість), окисненість, вміст окремих розчинених солей, сумарний вміст розчинених солей (мінералізація води, у водопровідній практиці - сухий залишок);
3. Бактеріологічного складу (колі-титр, колі-індекс).

Вода питної якості та технічна вода мають різні призначення та вимоги. Відзначимо деякі основні особливості між цими видами води:

- Вода питної якості призначена для вживання людиною та виробництва їжі. Вона має відповідати суворим санітарним та гігієнічним нормам і стандартам. Для цього вона проходить через складні системи очищення та дезінфекції, щоб забезпечити її безпеку та високу якість.

- Технічна вода використовується для технічних потреб, таких як зрошення, промислові процеси, опалення, охолодження та інші, що споживають воду. Вимоги до її якості менш суворі, вона може містити більш високі рівні певних забруднювачів та домішок.

Розглянемо питання водопідготовки на комунальних об’єктах. Комунальні об'єкти водопідготовки — це підприємства або споруди, які є частиною комунальної інфраструктури і виконують функцію підготовки води для споживання населенням, промисловими підприємствами та іншими користувачами. Вони відповідають за очищення, обробку та дезінфекцію води, щоб забезпечити її відповідність санітарним і якісним стандартам, необхідним для безпечного використання. Розглянемо декілька видів комунальних об’єктів, які займаються підготовкою якісної безпечної доступної питної води.

- Водозабори – об'єкти, які добувають воду з природних джерел (рік, озер, підземних вод).
- Водопровідні станції – підприємства, які здійснюють очистку та підготовку води для подачі споживачам. Це можуть бути станції очищення води, що використовують різні технології, такі як фільтрація, коагуляція, хлорування тощо.
- Системи дезінфекції – установки, що застосовують методи, такі як ультрафіолетове опромінення або озонування, для знищення патогенів.
- Насосні станції – об'єкти, що забезпечують підняття та транспортування підготовленої води до споживачів.
- Станції водоочищення – часто використовуються для обробки стічних вод, але деякі з них також можуть забезпечувати відновлення води з можливістю її подальшого використання.

Вищеперераховані комунальні об'єкти забезпечують не тільки підготовку питної води, але й дотримуються санітарних норм та стандартів для забезпечення безпеки води для споживання. Забезпечення якості води допомагає запобігти захворюванням, пов'язаним із вживанням неякісної води,

тому необхідно, аби вода була загальнодоступною, постачалась регулярно та безперебійно для усіх споживачів, включаючи домогосподарства, промисловість та інші організації.

Сьогодні на комунальних об’єктах для очищення води використовуються різноманітні засоби та технології, залежно від рівня забруднення та призначення води:

- Фільтрація:
  - ✓ Механічні фільтри (песок, вугілля, картриджі) для видалення часточок і забруднень.
  - ✓ Зворотний осмос — технологія, що використовує напівпроникну мембрану для видалення розчинених домішок, солей і мікроорганізмів.
- Коагуляція та флокуляція:

Додавання коагулянтів (наприклад, алюміній або залізо) для агрегації дрібних часток у більші, які легше видалити.

- Ультрафіолетове (УФ) очищення:

Використання УФ-світла для знищення патогенів і бактерій у воді, що не потребує додавання хімікатів.

- Хімічне очищення:

Додавання хімічних реагентів, таких як хлор або озон, для дезінфекції та окислення органічних забруднень.

- Біологічне очищення:

Використання мікроорганізмів для розкладання органічних забруднень, зазвичай в системах стічних вод.

- Аерація:

Процес насичення води киснем, що допомагає видалити розчинені гази, такі як сірководень, та знищити деякі забруднення.

- Адсорбція:

Використання активованого вугілля або інших адсорбентів для видалення органічних забруднень і запахів з води.

- Іонний обмін:

Процес, при якому іони у воді замінюються на інші іони з твердої фази, що використовується для видалення жорсткості (кальцій, магній).

Усі перераховані процеси складні та вартісні. В рамках Закону України «Про енергозбереження» [1] визначено ключові напрямки, що безпосередньо належать до вирішення завдань енергоощадження у житлово-комунальному господарстві, в тому числі здешевлення вартості та підвищення якості житлово-комунальних послуг.

Усе вищезазначене свідчить про те, що кожний громадянин має розуміти: високі тарифи на послуги водоспоживання пояснюються ресурсоємністю та енергозатратністю водопідготовки та водопостачання, що потребує розумного та господарського відношення до кожної краплини води:

- ресурсоємність підготовки питної води пояснюється використанням хімічних реагентів (коагулянти, флокулянти, антисептики та ін.) для очищення води від забруднень, що призводить до збільшення витрат на хімікати. Процеси фільтрації та осушування, які потребують великої кількості фільтрів та мембран, які необхідно регулярно замінювати, також потребують ресурсів.
- енергоємність підготовки питної води пояснюється енерговитратами на насосні станції, які використовуються для перекачування та фільтрації води. Це особливо актуально у випадках, коли вода надходить із далеких або високорозташованих джерел. У деяких методах очищення використовується нагрівання води, що потребує значних енергетичних витрат, особливо у процесі дезінфекції (наприклад, у випадку з термічними методами).

Таким чином підкреслимо, що питна вода – це вода для задоволення фізіологічних, санітарно-гігієнічних, побутових та господарських потреб населення, а також виробничих потреб, що вимагають використання питної води, яка повинна бути: безпечною з епідеміологічної точки зору; не шкідливою за хімічним складом; мати сприятливі органолептичні властивості;

відповідати за якістю державним стандартам та санітарним нормам за органолептичними, фізико-хімічними, мікробіологічними, паразитологічними й радіаційними характеристиками.

Згідно зі ст. 58 Водного кодексу України, «у разі невідповідності якісних характеристик цих вод встановленим нормативам екологічної безпеки водокористування і санітарним нормам їх використання припиняється за рішенням центрального органу виконавчої влади. Водокористувачі мають право вимагати від власника вод (водопостачальника) відомості про якість питної води» [2].

В Україні вимоги до безпеки та якості питної води визначаються Державними санітарними нормами та правилами «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4-171-10), які встановлюють правила виробничого контролю та державного санітарно-епідеміологічного нагляду в галузі водопостачання населення [3].

Наказом Міністерством охорони здоров’я в Україні [4] були прийняті уточнені показники гігієнічних вимог до питної води, що є обов’язковим для виконання органами виконавчої влади, місцевого самоврядування, підприємствами, установами, організаціями незалежно від форми власності та підпорядкування, діяльність яких пов’язана з експлуатацією систем питного водопостачання. Вони застосовуються на окремій території протягом визначеного періоду часу за рішенням відповідної регіональної або місцевої комісії з питань техногенно-екологічної безпеки та надзвичайних ситуацій [4].

Контроль за якістю води, першим чином, повинні здійснювати підприємства водопостачання, які ведуть систематичний нагляд за безпечністю та якістю води від місця водозабору до місця її споживання.

Розглянемо питання якості питної води в 2025 році на прикладі централізованої системи водопостачання м. Києва. Показники якості води, проведені головною лабораторією Київводоканалу [5], наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 − Показники якості води на виході з Дніпровської водопровідної станції 07.04.2025 [5]

Показники якості води	Найменування показників	Одиниці вимірювання	Нормативне значення ДСанПіН 2.2.4-171-10	Фактичне значення
Мікробіологічні показники	Загальне мікробне число при t 37° С - 24 год	КУО/см^3	≤ 50	2
	Загальні коліформи	КУО/100 см^3	Відсутність	відсутні
	E.coli	КУО/100 см^3	Відсутність	відсутні
	Ентерококи	КУО/100 см^3	Відсутність	відсутні
Фізико - хімічні показники	Запах: при t 20° С , при t 60° С	Бали	≤ 2 (3)*	1
	Забарвленість	Градуси	≤ 20 (35)*	17
	Каламутність	НОК	≤ 1,0 (3,5)*	0,50
	Смак та присмак	Бали	≤ 2 (3)*	1
	Водневий показник	одиниці pH	6,5 - 8,5 (9)*	7,9
	Загальна жорсткість	ммоль/дм^3	≤ 7 (10,0)*	3,70
	Залізо загальне	мг/дм^3	≤ 0,2 (1,0)*	0,15
	Алюміній	мг/дм^3	≤ 0,50	0,13
	Амоній	мг/дм^3	≤ 0,5 (2,6)*	0,13
	Нітрити	мг/дм^3	≤ 0,5 (3,3)*	0,003
	Діоксид хлору	мг/дм^3	≥ 0,1	0,15
	Нітрати	мг/дм^3	≤ 50	2,60
	Загальна лужність	ммоль/дм^3	не норм.	2,75

*Державних санітарних норм і правил «Показники безпечності та окремі показники якості питної води в умовах воєнного стану та надзвичайних ситуаціях іншого характеру», затверджених наказом Міністерства охорони здоров’я України від 22.04.2022 № 683, зареєстрованим у Міністерстві юстиції України від 25.05.2022 за № 564/37900

На прикладі таблиці 1.1. звернемо увагу, що в умовах воєнного стану нормативні показники питної води погіршились у 1,5-6 разів (значення з *) і те, що за мирних часів вважалося відхиленням, стало новою нормою.

Наведений аналіз якості води відповідає вимогам Державних санітарних норм за основними показниками.

В цілому, якість води в Україні є низькою через дві головні причини.

По-перше, на якість води впливає місце водозабору. В Україні питне водопостачання майже на 80 % забезпечується поверхневими водами [7], які характеризуються відносно великою каламутністю (мутністю) (особливо в період повені), високим вмістом органічних домішок, бактерій, значною кольоровістю води [6].

По-друге, мають значення ефективність технологій очищення води, тому що вони не завжди використовують сучасні безпечні методи. Наприклад, на думку І.В. Мельничука, «застарілі методи дезінфекції води, що використовують хімічні реагенти та активний хлор на станціях водопідготовки, окрім знезараження, призводять до формування небезпечних сполук» [9].

Моніторинг якості води, крім підприємств водопостачання, також проводиться іншими організаціями, наприклад громадською організацією Всеукраїнське водне товариство WaterNet, яка за фінансування Фінського фонду місцевого співробітництва посольства Фінляндії в Україні протягом кількох років реалізує проєкт «Безпечна питна вода в Україні: доступ до інформації про якість води та методи водопідготовки» [6].

Розглянемо результати моніторингу Всеукраїнського водного товариства WaterNet, який проводився в 14 великих містах України в 2021-2022 роках, наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2. – Результати моніторингу якості води в великих містах України [6]

Таблиця 1 — Результати моніторингу якості води в великих містах України.

Населений пункт	Період	Забарвленість, град	Каламутність, мг/дм³	Сухий залишок, мг/дм³	Окиснюваність, мг/дм³	Твердість, мг-екв/дм³	Залізо, мг/дм³	Марганець, мг/дм³	Запах, бали
Черкаси	літо 2021	27,2	0,29	246	5,8	3,75	0,19	0,01	1
	серпень 2022	40,0	1,30	269	8,2	3,38	0,45	0,04	3
Тернопіль	літо 2021	5,7	0,26	390	0,8	6,70	0,08	0,01	1
	серпень 2022	14,0	0,40	429	1,2	6,28	0,12	0,03	0
Суми	літо 2021	7,6	0,49	454	0,5	4,30	0,43	0,01	0
	серпень 2022	7,0	0,20	500	0,6	2,28	0,06	0,01	0
Рівне	літо 2021	7,1	0,28	385	0,9	5,73	0,11	0,01	0
	серпень 2022	8,0	0,10	626	0,8	3,44	0,06	0,01	1
Полтава	літо 2021	10,5	0,28	1040	0,6	0,35	0,07	0,01	0
	серпень 2022	7,7	0,10	1203	1,1	0,42	0,08	0,02	0
Одеса	літо 2021	10,8	0,48	329	2,1	4,35	0,07	0,01	1
	серпень 2022	12,4	0,90	298	2,4	3,90	0,07	0,00	1
Львів	літо 2021	6,4	0,30	339	0,6	6,40	0,21	0,01	1
	серпень 2022	11,0	0,20	542	1,0	5,92	0,09	0,01	
Кропивницький	літо 2021	19,7	0,60	259	4,8	3,53	0,14	0,01	1
	серпень 2022	31,0	1,40	261	8,0	3,12	0,17	0,03	0
Кривий Ріг	літо 2021	19,9	0,69	517	5,4	5,35	0,21	0,01	1
	серпень 2022	20,0	1,00	359	6,8	3,82	0,16	0,03	
Київ	літо 2021	26,5	0,20	282	4,4	4,60	0,24	0,01	1
	серпень 2022	37,0	0,80	271	6,0	3,60	0,25	0,02	2
Житомир	літо 2021	23,7	2,20	266	6,8	3,55	0,57	0,02	1
	серпень 2022	6,0	4,30	872	1,4	11,44	0,96	0,83	1
Дніпро	літо 2021	21,1	0,75	265	6,1	3,50	0,16	0,01	1
	серпень 2022	28,0	0,90	285	7,3	3,17	0,14	0,03	0
Вінниця	літо 2021	14,6	0,73	388	4,2	5,73	0,20	0,01	2
	серпень 2022	18,0	1,40	426	5,1	4,82	0,26	0,03	3
Харків	літо 2021	17,2	0,94	544	4,2	6,1	0,26	0,01	1
	серпень 2022	22,0	0,9	550	4,4	5,7	0,061	0,01	1

Як бачимо в таблиці 1.2., за підсумками дослідження майже у всіх містах України зафіксоване відхилення від норми, позначені червоним кольором.

Згідно з таблицею 2.1., відхилення від норми не зафіксовані в Тернополі та Рівному. В обох містах забір води здійснюється з артезіанських свердловин, тобто використовуються підземні води, які зазвичай не мають завислих речовин, тобто вони прозорі і безкольорові. Ці води мають високі санітарні якості [8].

На практиці, підприємства водопостачання стикаються з тим, що досягнення високої якості води є вартісним енергоємним та ресусоємним процесом, тому завжди присутня необхідність вибору визначального напрямку.

Безумовно, з одного боку, у більшості випадків пріоритетом при водопідготовці є висока якість води, особливо якщо вона призначена для пиття, харчової промисловості або інших критично важливих застосувань. Низька якість води може спричинити загрозу здоров'ю населення та негативні наслідки для навколишнього середовища.

З іншого боку, велике значення має зниження витрат, а саме економія ресурсів та енергії, особливо в умовах їхньої обмеженості. В документі [10] зазначається, що переосмислення регіональних програм з енергоощадження та енергоефективності у житлово-комунальному секторі містить у собі розширення їхнього змісту за допомогою інноваційних заходів, спрямованих на підвищення енергоефективності в цілому.

Таким чином, оптимальний підхід включає баланс між якістю води та ефективністю використання ресурсів та енергії. Важливо знаходити оптимальні технології та методи, які забезпечують необхідні стандарти якості води при розумній економії ресурсів.

Собівартість очищеної природної води становить комплексний якісний показник функціонування комунального підприємства, охоплюючи різні аспекти його діяльності, такі як технологічний рівень, організація та ефективність праці, оптимальне використання виробничих потужностей, а також раціональне використання матеріальних та енергетичних ресурсів [11].

Закордонні фахівці [12] також вважають, що екологічні та фінансові мотиви господарювання впливають на інвестиції в енергоощадні технології.

Запровадження і застосування технологій, що зберігають ресурси та енергію, повинно бути інтегровано в стратегії соціально-економічного розвитку України та враховуватися під час розробки стратегічних планів розвитку регіональних промислових комплексів конкретних підприємств і виробництв, що ми бачимо в розробленій та прийнятій 15 листопада 2024 року «Державній

цільовій економічній програмі енергетичної модернізації підприємств водопостачання та водовідведення» (далі-Програма). Метою Програми є збільшення енергоефективності систем водопостачання та водовідведення шляхом стимулювання модернізації матеріально-технічної бази, підвищення їх ресурсоефективності, підтримки енергозбереження, впровадження інноваційних технічних рішень та створення економічно вигідних умов для реалізації інвестиційних проектів. Одним з основних завдань програми є впровадження енерго та ресурсозберігаючих технологій в сфері водопостачання та водовідведнння.

Згідно з Програмою, до 2030 р. в країні має бути 250 станцій водопідготовки, на яких має бути впроваджено системи повторного використання промивної води. Також на 600 станціях водопідготовки має бути впроваджено 600 систем аерації, біосорбції та гравітаційної фільтрації [13].

Сучасні технології водопідготовки прагнуть мінімізувати енерговитрати, використовувати ефективніші методи та вихідні матеріали, тобто вони мають бути енергоефективними та ресурсоощадними.

Розглянемо, чим відрізняються енергоефективні технології від ресурсоощадних технологій.

- Енергоефективні технології – основний фокус: зниження споживання енергії під час процесів водопідготовки; методи – використання енергозберігаючих насосів та компресорів; оптимізація процесів нагрівання та охолодження води; застосування сучасних систем автоматизації для регулювання енергоспоживання; впровадження відновлювальних джерел енергії (наприклад, сонячних панелей). Основний фокус енергоефективних технологій полягає у зниженні споживання енергії під час процесів водопідготовки.
- Ресурсоощадні технології – основний фокус: економія ресурсів, таких як вода, хімічні реагенти та інші матеріали; методи – використання замкнутого циклу водопостачання для зменшення витрат води; рециклінг і повторне використання хімічних речовин, що застосовуються в

процесах водопідготовки; впровадження технологій, які зменшують відходи та забруднюючі викиди; оптимізація процесів для скорочення витрат матеріалів.

Хоча такі технології, як бачимо, мають різні акценти та цілі, вони можуть перетинатися в певних аспектах, так як обидва типи технологій важливі:

- для забезпечення стійкості водопідготовки;
- для зменшення екологічного впливу;

Кажучи про пріоритети збереження енергії чи ресурсів, можна сказати, що це питання дискусійне. З однієї сторони, українські дослідники В.Р. Купчак, О.М. Павлова, К.В. Павлов, В.В. Лагодієнко вважають, що «На сьогоднішній день енергозбереження є вищим пріоритетом державної енергетичної політики. Високий темп розвитку української економіки вимагає значного приросту енергоресурсів, але вигідніше і екологічніше економно витрачати енергію, ніж будувати нові електростанції» [14]. Процес енергозбереження – складний процес. Способи вирішення проблем енергозбереження можна класифікувати на організаційний, технічний і психологічний, проте найбільш результативними є комплексні заходи [15].

З іншої сторони, В.І. Куцик полягає на тому, що «створення ефективного механізму ресурсозбереження є важливим завданням, оскільки він має забезпечити високу ефективність ресурсоспоживання підприємства як на етапі формування ринкових відносин, так і за умови повноцінного функціонування інститутів економіки» [16].

На практиці вибір між збереженням енергії та ресурсів може залежати від специфічних потреб і умов експлуатації, враховуючи, що:

- цілі енергоефективних технологій зосереджені на зниженні витрат енергії, тоді як ресурсоощадні технології акцентують увагу на заощадженні води та інших матеріалів,
- результати енергоефективних технологій призводять до зменшення витрат на енергетичні ресурси, а ресурсоощадність – до зменшення потреб у воді та хімії.

Вважаємо за необхідне підкреслити, що в практичному використанні понять «ресурсозберігаюча технологія» та «енергоефективна технологія» в контексті технологій водопідготовки ієрархічні: поняття "ресурсозберігаюча технологія" є ширшим, ніж "енергоефективна технологія". Проілюструємо це співвідношення на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1. – Співвідношення понять «ресурсозберігаюча технологія» та «енергоефективна технологія» в сфері водопідготовці

У водопідготовці ресурсозберігаючі технології можуть включати не лише енергоефективні рішення, але й ефективне використання води, хімічних реагентів і інших матеріалів. Наприклад, технології, що сприяють повторному використанню води, зменшенню відходів або оптимізації використання реагентів, потрапляють під визначення ресурсозберігаючих. Енергоефективні технології в цій сфері зосереджені конкретно на зменшенні споживання енергії, але не охоплюють всі аспекти ресурсів у водопідготовці. Отже, в цій специфічній сфері "ресурсозберігаюча технологія" є більш загальним поняттям, тому в нашій роботі ми будемо дотримуватися цього співвідношення.

1.2. Розробка технології водопідготовки на основі ресурсозберігаючих принципів очищення питної води

В нинішньому світі, в умовах обмежених ресурсів та глобальних екологічних викликів, розробка ресурсозберігаючих технологій стає вирішальним чинником.

В основі розробки ресурсозберігаючих технологій водопідготовки лежать ресурсозберігаючі принципи та методи. Взаємозв’язок між принципами, методами та технологіями проілюструємо на рисунку 1.2.

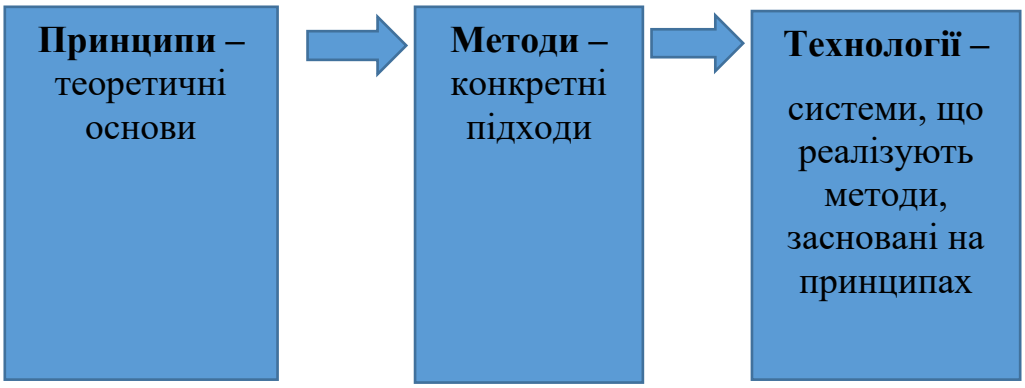


Рисунок 1.2. – Взаємозв’язок між принципами, методами та технологіями

Взаємозв'язок між ресурсозберігаючими принципами, методами та технологіями очищення води є важливою темою для обговорення, тому окремо розглянемо основні аспекти кожної складової цього взаємозв'язку.

1. Принципи ресурсозбереження:

- Використання водних ресурсів з урахуванням їх збереження, зменшення споживання води, підвищення її якості та повторного використання очищеної води.
- Багаторівневе очищення передбачає комбінацію різних методів очищення (фізичних, хімічних, біологічних) для досягнення максимального ефекту з мінімальними витратами ресурсів.
- Замкнуті цикли означає створення систем, у яких очищена вода може повторно використовуватись у різних виробничих процесах, що знижує потребу у нових обсягах прісної води.
- Покращені технології: застосування сучасних технологій, таких як мембранні фільтри, технології зворотного осмосу, ультрафіолетове очищення, які більш ефективні та потребують менше хімічних реагентів.

- Енергоефективність: оптимізація процесів очищення зниження споживання енергії, що, своєю чергою, зменшує як експлуатаційні витрати, і вплив на довкілля.
- Впровадження автоматизації: використання систем моніторингу та управління для більш точного контролю процесів очищення, що дозволяє уникнути перевитрати ресурсів.
- Освіта та просвітництво: навчання співробітників та населення про значення раціонального використання води та методи її очищення для підвищення ефективності.

2. Методи очищення води:

- Фізичні методи (фільтрація, осадження) є енергоефективними і дозволяють зберігати значну кількість води, якщо реалізуються в системах, що містять замкнуті цикли.
- Хімічні методи (коагуляція, хлорування) можуть бути оптимізовані так, щоб зменшити використання реагентів і зменшити утворення відходів, що, у свою чергу, веде до збереження природних ресурсів.
- Біологічні методи (біосистеми, активний мул) сприяють природному очищенню та можуть бути адаптовані для ефективного використання енергії.

3. Технології очистки води:

- Вдосконалені технології, такі як мембранні процеси (осмотичні системи, мембранна фільтрація), можуть знижувати витрати на енергію та матеріали при очищенні води.
- Інноваційні підходи, такі як нано- і біотехнології, можуть зробити процес очищення більш ефективним, зменшуючи використання небезпечних хімікатів та покращуючи якість очищеної води.

Важливо підкреслити, що взаємозв’язок між цими аспектами вимагає дотримання ще двох важливих складових:

- комплексного підходу, де розробка нових технологій очищення води йде в парі з економічними та екологічними вимогами.
- стратегії управління водними ресурсами, які повинні бути інтегрованими, враховуючи як технічні, так і соціально-економічні фактори для підтримки стійкого розвитку.

Таким чином, ресурсозберігаючі принципи, методи і технології очищення води взаємодіють один з одним, впливаючи на ефективність і стійкість систем водопостачання та очищення.

В Україні існує кілька наукових установ і підприємств, які займаються розробкою та впровадженням ресурсозберігаючих технологій водопідготовки:

- Національна академія наук України (НАНУ) – відділи та інститути, зокрема Інститут водних проблем і меліорації;
- Державна служба України з надзвичайних ситуацій, яка веде дослідження і розробки в сфері безпеки водопостачання, зокрема в контексті впровадження нових технологій;
- підприємства водопровідно-каналізаційного господарства (наприклад, «Київводоканал», «Львівводоканал») розроблюють та впроваджують проекти з модернізації ресурсозберігаючих технологій водопідготовки;
- технічні університети України – в багатьох вишах працюють кафедри, які досліджують власні унікальні інженерні рішення для водопостачання та водоочищення.

Передові вчені сьогодні «приділяють значну увагу новим, високоефективним технологіям, які ґрунтуються на застосуванні біосорбентів, які об’єднують переваги сорбційного і біодеструктивного методів ліквідації забруднень. Біодеструктивні сорбенти локалізують забруднення і руйнують адсорбовані продукти за допомогою біологічних об’єктів різного рівня організації (мікроорганізми, водорості, рослини). При цьому досягається ефективне очищення від забруднень» [17].

Наприклад розглянемо роботу вчених Запорізького національного університету (ЗНУ), які розробили нову біотехнологію, яка дозволяє без значних капітальних витрат перетворити після мінімальної модернізації понад 1060 гребель (саме стільки їх сьогодні побудовано на малих річках басейну Дніпра) у локальні очисні споруди. Досліджуючи якість води в річках, на сьогодні вчені констатують:

- катастрофічний рівень їхнього забруднення, зокрема через зливання стічних та каналізаційних вод, відходів виробництв тощо;
- зменшення річного стоку через несанкціонований відбір води з малих річок, випаровування з водного дзеркала водосховищ Дніпра та малих річок, підвищення температури води, пов'язане з припиненням течії або зменшенням швидкості течії, що сприяє також бурхливому розвитку водоростей, масове буріння артезіанських свердловин.

Вчені поставили завдання очистити воду в цих малих річках до рівня питної за допомогою власної розробленої інноваційної технології «Вія», яка заснована на властивості мікроорганізмів-деструкторів, які розкладають органічний матеріал до простих сполук. Професор біологічного факультету ЗНУ Олександр Рильський таким чином пояснює принцип її дії: «У локальному просторі на особливих конструкціях сконцентрована максимальна біомаса мікроорганізмів-деструкторів, на греблях відбувається інтенсивне насичення води киснем. Якщо спрощено, то, коли забруднена вода протікає крізь колонії мікроорганізмів, ті «з'їдають» забруднення, розчинені у воді, у результаті річка очищується» [18]. Такі «Вії» вже показали ефективність у пілотних проєктах при очищенні промислових стоків від залишків нафтопродуктів на підприємствах «Мотор Січ» і «Запоріжсталь». Співробітники кафедри загальної та прикладної екології і зоології ЗНУ продовжили ці дослідження й вже кілька років поспіль проводять вивчення й практично застосовують новітні біотехнології на малих річках Запоріжжя.

Поряд з новими високоефективними технологіями широко використовуються традиційні технології водопідготовки, які можуть бути

адаптовані та модернізовані з урахуванням ресурсозберігаючих принципів та методів. Українські фахівці вважають, що процес модернізації очисних споруд з економічної точки зору є затратним та потребує інноваційних, передових підходів, а також інтеграцію сучасних технологій у вже існуючі об'єкти [19].

З цієї точки зору розглянемо ключові етапи водопідготовки:

- Забір та попереднє очищення.

На першому етапі проводиться забір води із джерела (річки, озера, підземні води). При традиційному способі часто використовуються відкриті джерела, які можуть мати обмежену ємність і підлягають природним коливанням (зміни в рівні води, забруднення).

При застосуванні ресурсозберігаючих технологій можуть використовуватися також дощова вода, що досягається інсталяцією систем для збору дощової води. Це дозволяє ефективно використовувати альтернативні джерела і знижує навантаження на традиційні водозабірні системи.

Для попереднього очищення води від крупних часток забруднення при традиційних технологіях використовуються сітки та решітки. При застосуванні ресурсозберігаючих технологій можуть використовуватися механічні циклонні сепаратори, які дозволяють видаляти та розділяти на різні фракції тверді частки з води.

- Коагуляція та флотація

При традиційному способі для видалення дрібних завислих частинок застосовується коагуляція. В воду додаються коагулянти (наприклад, сіль алюмінію), які сприяють об'єднанню частинок у більші агрегати. Це дозволяє легше видаляти їх надалі за допомогою флотації чи осадження. У ресурсозберігаючих технологіях можуть використовуватися біорозкладні коагулянти або відновлені матеріали.

- Осадження

При традиційних технологіях після коагуляції суміш прямує в осадові резервуари, де великі забруднювачі осідають на дно. У ресурсозберігаючій технології можливо використовувати горизонтальні осадові басейни та системи

повторного використання осаду, що допомагає економити воду та знизити кількість відходів.

- Фільтрація

При традиційних технологіях очищення води від забруднень, що залишилися, проводиться за допомогою фільтрації через піщані і вугільні фільтри. При ресурсозберігаючих технологіях використовуються багаторівневі фільтри з різними матеріалами, а також системи, які можна легко очищати та замінювати, щоб продовжити термін служби систем.

- Дезінфекція

При традиційних технологіях на етапі дезінфекції видаляються патогенні мікроорганізми. Найчастіше використовується хлор, проте для ресурсозбереження можна застосовувати методи, такі як ультрафіолетове опромінення або озонування, які не тільки ефективніші, але й екологічно безпечніші.

- Регулювання та моніторинг

При традиційному способі методика відбору проб проводиться вручну у визначених місцях та у визначений час. При ресурсозберігаючих технологіях автоматизовані системи відбору проб забезпечують безперервний моніторинг без необхідності ручного втручання з використанням сенсорів для безпосереднього вимірювання параметрів якості води.

- Повторне використання та утилізація

Традиційні технології частково застосовують повторне використання очищеної води для різних потреб. А в ресурсозберігаючих технологіях повторне використання очищеної води стає обов’язковим для будь-яких потреб. Закордонні фахівці схильні вважати, що дефіцит водних ресурсів спонукає розглядати питання про можливість використання очищених стічних вод для питних потреб [20]. Таким чином, зменшується навантаження на джерела води та скорочується обсяг стічних вод.

Наведемо ще декілька прикладів, які можуть застосовуватися на практиці:

- забезпечення надійного рівня очищення в умовах погіршення якості води можливе за рахунок підвищення ефективності окремих очисних процесів через впровадження додаткових методів, таких як [21] підвищення ефективності процесів відстоювання та знебарвлення води шляхом використання тонкошарових модулів.
- схеми реконструкції горизонтальних відстійників з їхнім обладнанням тонкошаровими модулями широко застосовуються для підвищення ефективності процесу відстоювання в декілька разів [19].
- українські фахівці [22] також вважають, що застосування сучасних багатоярусних тонкошарових відстійників, де зона відстоювання поділена на кілька шарів, дозволяє здійснювати процес освітлення води швидше.
- дослідження проєктних та експлуатаційних матеріалів [23, 24] свідчать, що найпоширеніші методи очищення води включають схеми з освітлювачами та горизонтальними відстійниками.
- для запобігання забруднення водоймища та для зменшення витрати води для власних потреб станції передбачаються споруди для очищення промивної води. Це дозволяє повторно та багаторазово використовувати очищену скидну воду після промивки швидких фільтрів. Цей метод використовується, наприклад, в цільовій програмі «Питна вода м. Вишневе на 2018-2023 роки» з метою підвищення енергоефективності і забезпечення раціонального використання матеріальних ресурсів [25].

Усе вищезазначене дозволяє зробити висновок, що при розробці технології водопідготовки на основі ресурсозберігаючих принципів очищення питної води разом із впровадженням новітніх високоефективних технологій широко застосовуються традиційні методи водопідготовки, які можуть бути адаптовані та модернізовані з урахуванням принципів та методів ресурсозбереження шляхом оптимізації процесів, використання альтернативних матеріалів та технологій.

Висновки до розділу 1

В результаті аналізу теорії та практики застосування ефективних технологій водопідготовки в нашій роботі ми обираємо наступні напрямки дослідження на основі ресурсозберігаючих принципів очищення питної води:

- використання вертикальних вихрових змішувачів при водопідготовці є ефективним та універсальним обладнанням;
- оптимізація процесу відстоювання води шляхом модернізації горизонтального відстійника за допомогою встановлення тонкошарових блоків у вигляді пакетів;
- оптимізація роботи швидких фільтрів;
- розробка енергоощадної технології повторного використання промивних вод.

Такий підхід не лише дозволить забезпечити високу якість питної води, ресурсозбереження, а й знизити витрати та негативний вплив на довкілля.

РОЗДІЛ 2

ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ВИТРАТ ВОДИ

При докладному розрахунку витрати води міста можуть враховуються такі основні фактори, як населення міста, громадські та комерційні об'єкти, промисловість, сільське господарство, спеціальні об'єкти, стандартний рівень споживання, реальні дані щодо попередніх періодів, динаміка розвитку міста, транспортна й інфраструктурна мережа, втрати води. Враховуючи ці фактори, здійснюється розрахунок загального об’єму води, необхідної для забезпечення потреб міста в межах розрахункового періоду.

В роботі прийнято, що витрата води здійснюється на: господарсько-питні потреби населення, полив вулиць та зелених насаджень, потреби промислових підприємств.

Розрахунок витрати води проведений згідно з [26, п. 6.1].

2.1. Визначення господарсько-питних витрат

Господарсько-питні витрати — це витрати, пов’язані з забезпеченням життєдіяльності підприємства або установи за рахунок використання води та інших ресурсів для господарських і питних потреб. До таких витрат належать витрати на воду, яка використовується для пиття, прибирання, технічних цілей (наприклад, вмивання, миття посуди, санітарні потреби), а також витрати на її підготовку і транспортування.

Для кожного з трьох районів, кількість мешканців яких наведена в таблиці 2.1., об’єм води, що витрачається на господарсько-питні потреби, визначається окремо.

Середньодобова витрата води і-го району розраховується за формулою, м^3/доб:

$$Q_{добі} = N_i \times q_i / 1000 , \qquad (2.1)$$

де q_i – питоме господарсько-питне водоспоживання на одного мешканця, л/доб [26, табл.1].

Розрахункові витрати води для окремих районів у добу найбільшого та найменшого водоспоживання, м^3/доб, визначені за формулами:

$$Q_{доб.максі} = K_{доб.максі} \times Q_{добі} \qquad (2.2)$$

$$Q_{доб.мініі} = K_{доб.міні} \times Q_{доб} \qquad (2.3)$$

де $K_{доб.максі}$ $K_{доб.міні}$ – відповідно максимальний і мінімальний коефіцієнт добової нерівномірності водоспоживання і-го району [26, п. 6.1.2].

Розрахунки по визначенню добових витрат води представлені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1. – Добові витрати води на господарсько-питні потреби населення

№	Кількість мешканців осіб.	q, л/доб люд	$К_{доб.макс.}$	$К_{доб.мін.}$	Qдоб.макс	Qдоб.мін	Qдоб.сер.
1	20640	230	1,2	0,8	5697	3798	4747
2	79200	285	1,18	0,75	26634	16929	22572
3	24200	230	1,2	0,8	6679	4453	5566
Усього	124040				39010	25180	32885

2.2 Визначення витрат на полив

Добова витрата води на полив вулиць і зелених насаджень визначена за питомими витратами води в перерахуванні на одного мешканця [26, табл. А.2.]. Для міста з кількістю населення в межах 50тис. – 250 тис., що знаходиться у II кліматичному районі, питома витрата води на полив на одного жителя прийнята 65 л/доб для всіх районів. Із загальної витрати води 40% використовують двірники, 60% – поливальні машини. У таблиці 2.2. представлено розрахунок витрат води на полив вулиць і зелених насаджень.

Таблиця 2.2. − Добова витрата води на полив вулиць і зелених насаджень

Район міста	Кількість мешканців	Питома витрата на полив, л/меш	Добова витрата води на полив, $м^3$/доб		
			Всього по району	Двірниками, 40%	Машинами, 60%
Перший район	20640	65	1342	537	805
Другий район	79200	65	5148	2059	3089
Третій район	24200	65	1573	629	944
Усього	124040		8063	3225	4838

2.3 Розрахунок витрат води на промисловому підприємстві

На промислових підприємствах витрата води здійснюється на:

- господарсько-питні потреби робітників,
- прийом душу,
- виробничі потреби, які визначені з урахуванням технологічних вимог.

Також слід враховувати аварійні потреби − постачання води для пожежогасіння. Наявність запасу води для пожежогасіння є дуже важливою, тому що вода є одним із найефективніших засобів для гасіння багатьох видів пожеж, особливо коли мова йде про пожежі твердих речовин, деревини, паперу та обладнання.

Питоме водоспоживання для цехів з тепловидаленням більше 80 кдж (20 ккал) на 1 $м^3$/год (гарячі цехи) приймається на одну людину 45 л за зміну, для інших цехів- 25 л за зміну [27, с. 7]. Розрахунок витрат води на промпідприємствах міста (на шинному заводі та на кондитерській фабриці) представлено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3. – Визначення розрахункових витрат на господарсько-питні потреби робітників

Зміна	Кількість робітни Ків	Гарячі цеха			Холодні цеха			Загальна витрата
		Кількість робітників, чол.	Питома витрата, л/зм чол	Витрата води, м^3	Кількість робітників.чол	Питома витрата, л за зміну з людини	Витрата води, м^3	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Підприємство № 1(шинний завод)								
1	*700*	*210*	*45*	*9,5*	*490*	*25*	*12,3*	*21,8*
2	*600*	*180*		*8,1*	*420*		*10,5*	*18,6*
	300	*90*		*4,1*	*210*		*5,3*	*9,4*
				21,7			*28,1*	*49,8*
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Підприємство № 2 (кондитерська фабрика)								
1	*500*	*200*	*45*	*9*	*300*	*25*	*7,5*	*16,5*
2	*400*	*160*		*7,2*	*240*		*6,0*	*13,2*
	400	*160*		*7,2*	*240*		*6,0*	*13,2*
				23,4			*19,5*	*42,9*

Витрата води на користування душем на промпідприємстві:

$$Q = 0{,}5\sum N_i \,/\, n_i \qquad (2.4)$$

де 0.5 – годинна витрата води на одну душову сітку, м^3;

N_i – кількість робітників у цехах з і-ою характеристикою виробничого процесу;

n_i – розрахункова кількість людей на одну душову сітку для і-ої санітарної характеристики виробничого процесу.

Шинний завод використовує 3,0 м^3 води на виготовлення 1 шини, виготовляється 3000 шт. шин за добу, таким чином, добова витрата води складає 9000 м^3.

Кондитерська фабрика використовує 30 м^3 води на 1 т продукції, при 100 т продукції за добу, добова витрата води складає 3000 м^3.

Згідно з [26, п. 6.2.1] «зовнішній протипожежний водопровід слід передбачати на території населених пунктів, на промислових та інших об'єктах. Зовнішній протипожежний водопровід, як правило, об'єднується з питним або виробничим водопроводом».

Населення міста більше100 тис. чол. і площа підприємства менше 150 га [26, п. 6.2.11]. тому загальна витрата на гасіння однієї зовнішньої пожежі дорівнює сумі необхідної витрати в населеному пункті та 50% витрати на підприємстві. Витрата на зовнішнє пожежегасіння в населеному пункті з кількістю населення більше 100 тис. чол. і поверховістю будинків більше 3 поверхів дорівнює 40 л/с з кількістю одночасних пожеж 3 [26, табл.3].

Витрата на зовнішнє пожежегасіння на шинному заводі зі ступенем вогнестійкості будинків I і категорією виробництва за пожежною безпекою А і В при об ємах будинків від 5 до 20 тис. м^3 складає 15 л/с.

На кондитерській фабриці зі ступенем вогнестійкості будинків II і категорією виробництва за пожежною безпекою В при об'ємах будинків від 5 до 20 тис. м^3 – 15 л/с [26, табл.5].

Загальна витрата на пожежегасіння визначається за формулою:

$$Q_п = n(q_{зов} + q_{вн}) + 0.5q_{під}, \quad (2.5)$$

де $n_п$ – кількість одночасних пожеж

$q_{зов}$ – розрахункова витрата води на гасіння зовнішньої пожежі, л/с;

$q_{вн}$ – розрахункова витрата води на внутрішнє пожежегасіння, л/с;

$q_{під}$ – витрата на пожежегасіння на підприємстві

$$Q_п = 3(40+5)+0,5*(15+15)=150 \text{ л/с.}$$

При розрахунковій тривалості гасіння пожежі, що дорівнює 3 годинам, об'єм води на потреби пожежегасіння становить:

$$W_{пож} = 3*3600*150/1000=1620 \text{ м}^3$$

Цей запас води є достатнім та дозволяє швидко реагувати на пожежу, зменшувати її масштаб і запобігати поширенню вогню.

Висновки до розділу 2

Розрахункові витрати води складаються з господарсько-питних витрат, витрат на полив, витрат на промисловому підприємстві, витрат на пожежегасіння.

РОЗДІЛ 3
РОЗРАХУНОК ОЧИСНИХ СПОРУД З УРАХУВАННЯМ МОДЕРНІЗАЦІЇ ВІДСТІЙНИКІВ

3.1. Розрахунок змішувачів

Активне перемішування реагентів з водою відбувається у змішувачах, що забезпечує високий рівень однорідності розчину. Цей процес є ключовим в технологічному процесі обробки води. Інтенсивне перемішування сприяє рівномірному розподілу компонентів, скороченню часу на змішування та покращенню кінцевих характеристик води. Рекомендації до застосування змішувальних пристроїв наведені в [26, п.10.5.].

Для розрахунку використовуються 4 вертикальні змішувачі вихрового типу. Продуктивність одного змішувача визначається за формулою:

$$Q_{зм} = \frac{Q_{доб}}{24 \times n}, \tag{3.1}$$

де n − кількість змішувачів, $n=4$.

$$Q_{çì} = \frac{61675{,}3}{24 \times 3} = 856.6 ì^3 / ãîä = 237.9 ë / ñ = 0{,}238\ м^3/с.$$

Площа горизонтального перерізу в верхній частині змішувача, м^2 визначається за формулою:

$$F_B = \frac{Q_{зм}}{V_B}, \tag{3.2}$$

де V_B – швидкість висхідного потоку в верхній частині, V_B = 30мм/с=108м/год [26, п.10.5.6];

$$F_B = \frac{856.6}{108} = 7.93 ì^2$$

Для квадратного змішувача в плані ширина у верхній частині, м:

$$b_B = \sqrt{F_B}\ ; \tag{3.3}$$

$$b_B = \sqrt{7.93} = 2.81 ì\ .$$

Розміри нижньої частини змішувача прийняті з урахуванням діаметру трубопроводу, що підводить воду. Діаметр приймається виходячи зі швидкості руху 1,2 – 1,5 м/с [26, п.10.5.6]. За [3] приймається трубопровід діаметром 450 мм при швидкості руху води 1,4 м/с.

Висота нижньої, пірамідальної частини змішувача визначається за формулою:

$$h_H = \frac{1}{2}(b_B - b_H)ctg\frac{\alpha}{2}, \quad (3.4)$$

де b_H – ширина нижньої частини змішувача, м;

α – кут між стінками дна.

$$h_H = \frac{1}{2}(2{,}81 - 0{,}45)ctg\frac{40}{2} = 3.24 м .$$

Ємність пірамідальної частини змішувача, м^3:

$$W_H = \frac{1}{3}h_H\left(F_B + F_H + \sqrt{F_B \times F_H}\right) \quad (3.5)$$

$$W_H = \frac{1}{3}\times 3.24 \times \left[7.93 + (0{,}45)^2 + \sqrt{7.93 \times 0{,}45^2}\right] = 10.1 м^3.$$

Повна ємність змішувача визначається за формулою:

$$W = \frac{Q_{зм} \times t}{60}, \quad (3.6)$$

де t – тривалість перебування води в змішувачі (1,5 хвилини), [26, п.10.5.6].

$$W = \frac{856.6 \times 1.5}{60} = 21.4 м^3.$$

Ємність верхньої частини змішувача:

$$W_B = W - W_H.$$

$$W_B = 21{,}4 - 10{,}1 = 11{,}31\ м^3.$$

Висота верхньої частини змішувача визначена за формулою:

$$h_в = \frac{11.31}{7.93} = 1.4 м$$

Висота верхньої чатини відповідає рекомендаціям [26, п.10.5.6].

Повна висота змішувача:

$$h = h_B + h_H; \quad (3.7)$$

$$h = 1.4 + 3.24 = 4.64 м$$

Площа живого перетину водозбірного лотка:

$$w_л = \frac{Q_{зм}}{v \times n}, \qquad (3.8)$$

де v – швидкість руху води у лотку, [1, п.10.5.6];

n – число водозбірних лотків.

$$w_ë = \frac{856.6}{0{,}6 \times 2 \times 3600} = 0{,}20 ì^3$$

При ширині лотка 0,5 м розрахункова висота шару води в лотку:

$$h_л = \frac{w_л}{b_л}, \qquad (3.9)$$

$$h_ë = \frac{0{,}20}{0{,}5} = 0{,}40 ì$$

Ухил дна лотка приймається і = 0,02. Площа всіх затоплених отворів в стінках збірних лотків:

$$F_o = \frac{Q}{v_o \times 3600} \qquad (3.10)$$

де v_o – швидкість руху води через отвори, м/год.

$$F_o = \frac{856.6}{1 \times 3600} = 0.24 ì^2$$

При діаметрі одного отвору рівному d_o = 80 мм, площа одного отвору:

$$f_o = \frac{\pi \times d_0^2}{4} = \frac{3.14 \times 0.08^2}{4} = 0.00503 м^2.$$

Загальна кількість отворів:

$$n = F_0 / f_0 = 0.24 / 0.00503 \approx 48 øò$$

Отвори розміщуються по бічній поверхні лотка на відстані h=110мм від верхньої кромки лотка до осі отворів. Зі збірного лотка вода надходить у бічний карман шириною 0,8 м.

Таким чином, у змішувачах здійснюється процес інтенсивного перемішування реагентів з водою. Зазвичай після вертикального вихрового змішувача вода може подаватися у горизонтальний відстійник.

3.2. Оптимізація процесу відстоювання води

В роботі пропонується використовувати модернізацію горизонтального відстійника шляхом встановлення тонкошарових блоків у вигляді пакетів, яка має кілька важливих переваг:

- Покращення фільтраційних властивостей: Тонкошарові блоки забезпечують більш ефективний розподіл навантаження та оптимальне використання об'єму, що сприяє більш якісному очищенню та фільтрації води.
- Зменшення об'єму та ваги обладнання: Завдяки компактній формі пакетів та меншій товщині шарів зменшується обсяг та вага відстійника, що дозволяє зменшити навантаження на фундамент і конструкції.
- Спрощення монтажу та обслуговування: Тонкошарові пакети легко встановлювати і демонтувати, що скорочує час модернізації та полегшує доступ до внутрішніх елементів для технічного обслуговування та ремонту.
- Підвищення ефективності роботи: За рахунок більш рівномірного розподілу зважених частинок по всій площі відстійника підвищується ступінь очищення і зменшуються затримки, що дозволяє збільшити пропускну здатність.
- Зменшення капітальних витрат: Використання тонкошарових пакетів дозволяє знизити витрати на матеріали та монтаж, а також зменшити час на модернізацію.
- Гнучкість та можливість реконфігурації: Такі пакети можна легко адаптувати під різні технологічні вимоги та змінювати їхній розмір або кількість залежно від потреб соціального об'єкта.

Загалом, встановлення тонкошарових блоків у вигляді пакетів у горизонтальному відстійнику підвищує його ефективність, надійність і

довговічність, що позитивно впливає на функціонування системи очищення води.

3.2.1 Розрахунок горизонтального відстійника

Перед подачею води на другий етап очищення, з метою видалення завислих речовин через фільтрацію, застосовують відстійники.

Загальна площа горизонтальних відстійників обчислюється за допомогою формули [26, п. 10.9.1]:

$$F = \frac{q}{3.6 \cdot U_0} \cdot \alpha, \quad (3.11)$$

де q – розрахункова витрата води, м^3/год ;

U_0 – швидкість осадження зважених частинок, що затримуються у відстійнику, мм/с, [26, табл.16]; з урахуванням підвищення швидкості осадження, пов'язаного з наявністю вбудованої камери для формування пластівців [26, табл.18, та п. 10.7.6], гідравлічна крупність становитиме рівною *0,45+0,45*0,15=0,52* мм/с;

α – коефіцієнт, що враховує вплив вертикальної компоненти швидкості потоку, α = 1,3 [26, п.10.9.1].

На зимовий період:

$$F_з = \frac{2634.52}{3.6 \cdot 0,52} \cdot 1,3 = 1829.5м^2$$

На літній період:

$$F_л = \frac{3338.62}{3.6 \cdot 0,52} \cdot 1,3 = 2318.5м^2$$

Ширина горизонтального відстійника обчислюється за допомогою формули:

$$B = \frac{q}{3.6 \times V_{ср} \times H_{ср} \times N}, \quad (3.12)$$

де $V_{ср}$ – середня горизонтальна швидкість руху води у відстійнику, $V_{ср}$=7мм/с

$H_{ср}$– середня висота зони осадження, м; приймається $H_{ср}$=3,0 м [26, п. 10.9.2];

N – розрахункова кількість відстійників, приймається N =5 шт.

$$B = \frac{3338.62}{3.6 \times 7 \times 3 \times 5} = 8,8м$$

Ширина відстійника визначається як 9 метрів.

Довжина відстійника розраховується за допомогою формули:

$$L = F/B \cdot N, \quad (3.13)$$

$$L = 2318.5/(9 \cdot 5) \approx 51.5м$$

Розміри горизонтального відстійника приймаються на основі конструктивних характеристик:

$$L = 52м; B = 9м.$$

Кожен відстійник розділений на дві самостійні секції з шириною 4,5 м кожна, всього таких секцій 10.

Застосовується гідравлічний метод видалення осаду з відстійника [26, п. 10.9.3].

Об'єм області для накопичення та ущільнення осаду розраховується за формулою:

$$W_{ос.} = \frac{T_р \cdot q \cdot (C_в - M_{осв})}{N \cdot \delta}, \quad (3.14)$$

де $T_р$ – період роботи відстійника між скидами осаду, у годинах; приймається значення $T_р$ = 72 год [26, табл. 17];

$C_в$ – концентрація суспензійних речовин у воді, яка поступає у відстійник, г/м^3;

$M_{осв}$ – кількість суспензійних речовин у воді, що залишає відстійник, $M_{осв}$=8 г/м^3;

δ – середня концентрація твердої фази осаду по всій висоті осаджувальної частини, у г/м^3; значення приймається з урахуванням каламутності води та тривалості міжсикидів осаду і становить 40 000 г/м^3 [26, табл. 17].

Максимальна концентрація суспензійних речовин у воді, яка поступає до горизонтальних відстійників, обчислюється за допомогою формули:

$$C_в = M + K_к \cdot Д_к + 0{,}25 \cdot Ц + B_{вап}, \quad (3.15)$$

де $K_к$ – коефіцієнт, що враховує рівень чистоти коагулянту, і його значення встановлено рівним $K_к$ = 0,5 [26, п.6.65];

$B_{вап}$ – кількість нерозчинених речовин, що додаються разом із вапном [26]:

$$B_{вап} = \frac{Д_в}{К_в} - Д_в \quad (3.16)$$

де $К_в$ – вміст CaO у вапні у долях одиниці

$$B_{вап} = \frac{1.9}{0,67} - 1.9 \approx 1.0мг/л$$

$$C_в = 140 + 0,5 \cdot 36 + 0,25 \cdot 80 + 1.0 = 179мг/л$$

$$W_{ос.} = \frac{72 \cdot 3338.62 \cdot (179-8)}{8 \cdot 40000} = 128.5м^3.$$

Максимальна висота відстійника обчислюється за формулою:

$$H_{від} = H_{ср} + H_н + h_{буд} + i \cdot L, \quad (3.17)$$

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

$h_{буд}$ – величина завищення будівельної висоти над розрахунковим рівнем води, м, приймається $h_{буд}$ = 0,35м згідно із [26, п. 10.9.8];

i – поздовжній ухил дна відстійника, приймається і=0,005 [26, п. 10.9.9].

Висота зони накопичення осаду визначається за формулою:

$$H_н = \frac{W_{ос.ч.}}{F_0} \quad (3.18)$$

де F_0 – площа одного відстійника, м^2.

Площа однієї секції відстійника складає:

$$F_0 = L \times B = 52 \times 4,5 = 234м^2$$

$$H_н = \frac{128.5}{234} \approx 0,55м$$

$$H_{від} = 3 + 0,55 + 0,35 + 0,005 \cdot 52 = 4,2м.$$

Середня глибина води у відстійнику:

$$H_{вод}^{ср} = H_{ср} + H_н + \frac{i \times L}{2}$$

$$H_{вод}^{ср} = 3.0 + 0.55 + \frac{0.005 \times 52}{2} \approx 3.7м.$$

Обсяг води, що виводиться разом із осадом у відсотках від загального обсягу витрат, визначається за допомогою формули:

$$P = \frac{к_р \cdot W_{ос.ч.}}{q \cdot T_р} \cdot 100, \quad (3.19)$$

де $k_р$ – коефіцієнт розведення, приймається $k_р$ = 1,5 [26, п.10.9.9].

$$P = \frac{1.5 \cdot 128.5}{3338.62 \cdot 72} \cdot 100 = 0{,}080\%$$

Для гідравнічного видалення осаду передбачена система із перфорованих труб з отворами діаметром $d_0 = 25мм$.

Дно відстійника між трубами системи збору осаду передбачається призматичної форми з кутом нахилу граней 45°.

Кількість труб, необхідних для виведення осаду з однієї секції відстійника, обчислюється за допомогою формули:

$$n_{тр} = B/l_{тр}, \quad (3.20)$$

де $l_{тр}$ – відстань між вісями труб, м; приймається для призматичного днища $l_{тр}$ = 3,0 м [26, п. 10.9.19].

$$n_{тр} = 4{,}5/3 \approx 2шт.$$

Обсяг осаду, що проходить через кожну трубу, розраховується за формулою:

$$q_{тр.ос.} = \frac{W_{ос.ч.}}{n_{тр} \cdot t_{сб}} \quad (3.21)$$

де $t_{сб}$ – час скиду осаду, год; приймається $t_{сб}$ = 20 хв = 0,33год [26].

$$q_{тр.ос.} = \frac{128.5}{2 \cdot 0{,}33} = 194.7м^3/год \approx 54.1л/с.$$

Для забезпечення швидкості руху осаду в кінці труб не меншої за 1,0 м/с [26] встановлюється наступне значення $Д_{тр.ос.}$ = 200 мм; v = 1,57 м/с; 1000i=20,3].

Обчислення системи відведення очищеної води

Розподіл очищеної води по площі освітлення здійснюється дірчастими трубами, які укладаються з інтервалом не більше 3 м між собою [26, п. 10.10,6].

Довжина розподільчих труб обчислюється за формулою:

$$l = q_{кол}/q_{пит}, \quad (3.22)$$

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

$q_{пит}$ – питома витрата освітленої води на 1 м дірчастих труб, л/с*м [26], приймається $q_{пит}$ = 5,0 л/с*м.

Обсяг освітленої води у колекторі системи:

$$q_{кол} = q/(N_{кол} \cdot 3.6) \quad (3.23)$$

$$q_{кол} = 3338.62/(10 \cdot 3,6) = 92.7л/с.$$

За умови швидкості води в кінці колектора 0,6…0,8м/с [26, п.10.9.10] приймається $Д_{тр.ос.}$ = 400 мм; v = 0,69 1000i = 1,76.

Довжина розподільчих труб розраховується згідно з формулою:

$$l_{р.тр.} = B - 2 \cdot l_{ст} - Д^{вн}_{кол} \quad (3.24)$$

де $l_{ст}$ – відстань від кінця розподільчої труби до стіни відстійника, м; приймається $l_{ст}$ = 0,1 м [26].

$Д^{вн}_{кол}$ – зовнішній діаметр колектора. приймається $Д^{вн}_{кол}$ = 426мм.

$$l_{р.тр.} = 4,5 - 2 \cdot 0,1 - 0,426 = 3,9м.$$

Вибирається 5 розподільчих труб, які розміщуються по обидва боки від колектора.

Обсяг води, що проходить через одну розподільчу трубу, розраховується за формулою:

$$q_{р.тр.} = q_{кол}/(2 \cdot n_{р.тр.}) \quad (3.25)$$

$$q_{р.тр.} = 92.7/2 \cdot 5 = 9.3л/с$$

При швидкості руху в розподільчих трубах 0,6…0,8 м/с [26] приймається $Д_{тр.ос.}$ = 125 мм; v = 0,674; 1000i = 7,22 [26].

Розташування вісях розподільчих труб визначається на відстані:

$$t_{р.тр.} = L_{сист}/n_{р.тр.}, \quad (3.26)$$

де $L_{сист}$ – довжина ділянки, на якій розташована система видалення осаду,м.

Система відведення освітленої води розміщується на ділянці, що становить 2/3 довжини відстійника, тобто

$$L_{сист} = L/4$$

$$L_{сист} = 52 \times \frac{2}{3} = 35 м$$

$$t_{р.тр.} = 35/4 = 8.75м.$$

3.2.2 Розрахунок параметрів роботи горизонтального відстійника з урахуванням оптимізації

Параметри вихідної робочої області горизонтального відстійника, визначені на основі попередніх розрахунків, такі: загальна довжина $L = 52$ *м*, ширина $B = 9$ *м*, робоча глибина H_p =3,0 м. Вода рухається горизонтальним потоком із швидкістю v = 7 мм/с, а гідравлічна крупність речовин складає $u = 0{,}58 \div 0{,}63$ мм/с.

Відстійник модернізують шляхом встановлення тонкошарових блоків у вигляді пакетів, висота яких становить $h_n = H_p$ та сягає пластинами, нахиленими під кутом 60° до горизонту. Висота непотічної зони складає $h_в = 0{,}5$ *м.* Відстань між пластинами становить $в_п = 0{,}04$ *м*, а матеріал пластин — скло з товщиною $в_1 = 0{,}004$ *м*. Монтажні зазори між пакетами та стінками становлять $t = 0{,}2$ *м*.

Навантаження за годину на відстійник перед його модернізацією:

$$Q_{від} = F \times v, \tag{3.27}$$

де F – площа поперечного перерізу.

$$Q_{від} = 4{,}5 \times 3 \times 0{,}007 \times 3600 = 340{,}2\ м^3/год.$$

У відстійнику розміщують два пакети пластин загальною висотою hn = 1,7 м, причому пакети нахилені під кутом 60° до горизонту.

Загальна довжина, зайнята пластинами, становить Ln, яка визначається за формулою:

$$L_n = L - 2h_n \times tg30^0 - 2t. \tag{3.28}$$

L_n =52-2×1,7×0,57735-2×0,2=49,6 приймається 50 м.

Пакети зроблені з віконного скла товщиною $в_1 = 0{,}004$ м. Відстань від верхньої частини пакету до верхньої кромки пластин становить $h_в = 0{,}5$ м. Довжина протічної зони в пластинах дорівнює:

$$L_1 = (h_n - h_в)/cos\,30^0. \tag{3.29}$$

L_1 =(1,7–0,5)/$cos30^0$=*1,39 м.*

Загальна кількість пакетів у відстійнику

$$n = L_n/(e_n + e_1). \quad (3.30)$$

n =50/(0,04+0,0004)=1237 шт.

Тривалість відстоювання у пакеті для літнього періоду становить

$$T = e_n \times 1000/(sin 30^0 \times u). \quad (3.31)$$

T =0,04×1000/(0,5×0,58)=138 с.

Найвища швидкість руху потоку в пакеті

$$v_{макс} = L_1/T. \quad (3.32)$$

$v_{макс}$ =1,39/138=0,010 м/с.

3.2.3 Розрахунок допустимого навантаження після реконструкції відстійника

Після реконструкції розраховується годинне навантаження на відстійник за допомогою формули

$$Q'_{від} = (3600 \times v_{макс}/k) \times 2 \times 0.755 \times n \times B \times e_n, \quad (3.33)$$

$Q_{від}$/=(3600×$v_{макс}$/k×2×0,755×n×h_n×b_n)

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

$$Q'_{від} = (3600 \times 0.008/1.7) \times 2 \times 0.755 \times 1064 \times 1,5 \times 0.04 = 1633 м^3/год$$

$Q'_{від}$ = (3600×0,010/2,5)×2×0,755×1237×1,7×0,04=1829 $м^3$/год

Зміна навантаження на відстійник розраховується за допомогою формули

$Q'_{від}$/ $Q_{від}$=1829/340.2=5,4

Порівняння навантаження на відстійник до та після його реконструкції з використанням тонкошарових модулів показало, що при цьому навантаження значно зростає, а саме у 5,4 рази, що свідчить про підвищену ефективність і здатність відстійника обробляти більші обсяги стоків, але потребуватиме відповідних капітальних вкладень і ретельного проектування.

3.3 Оптимізація роботи швидких фільтрів

Розрахунок швидких фільтрів здійснюється згідно з [26, п. 10.12.]. До розрахунку приймається швидкий фільтр з двохшаровим завантаженням:

верхній шар висотою 0,5 м складається із зерен подрібненого антрациту крупністю 0,8…1,8 мм, а нижній шар висотою 0,8 м- із зерен піску крупністю 0,5…1,2 мм.

Загальна площа швидких фільтрів визначена за формулою [26, п.10.12.4]:

$$F_ф = \frac{Q_{повн}}{T_{ст} \cdot v_н - n_{пр} \cdot q_{пр} - n_{пр} \cdot \tau_{пр} \cdot v_н}, \quad (3.34)$$

де $Q_{повн}$ – корисна продуктивність станції, м^3/доб, $Q_{повн}$=59303,2 м^3/доб;

$T_{ст}$ – тривалість роботи станції на протязі доби, год, $T_{ст}$=24 год;

$v_н$ – розрахункова швидкість фільтрування, м/год, $v_н$=10 м/год [26, табл.19]

$n_{пр}$ – число промивок одного фільтра на добу при нормальному режимі експлуатації, $n_{пр}$ = 2;

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

$\tau_{пр}$ – час простою фільтра у зв'язку з промивкою, год, для фільтрів, що промиваються водою, приймається 0.33 год [26, табл.21].

Питома витрата води на одну промивку одного фільтра визначається за формулою:

$$q_{пр} = W \cdot t_{пр}, \quad (3.35)$$

де W – інтенсивність промивки, л/(с*м^2), приймається 16 л/(с*м^2) [26, табл.21];

$t_{пр}$ – тривалість промивки, с,

$$q_{пр} = 16 \cdot 360 / 1000 = 5{,}76 м^3 / м^2$$

приймається $t_{пр}$= 6хв = 0,1год = 360 с. [26, табл.23]

$$F_ф = \frac{59303.2}{24 \cdot 9 - 2 \cdot 5.76 - 2 \cdot 0.33 \cdot 9} = 299 м^2.$$

Кількість фільтрів визначено за формулою:

$$N = 0.5\sqrt{F_ф}, \quad (3.36)$$

$$N = 0.5\sqrt{F_ф} = 0{,}5\sqrt{299} \approx 9 шт$$

Перевірку швидкості фільтрування для форсованого режиму виконано за формулою:

$$v_ф = v_н \cdot \frac{N}{N-N_1}, \quad (3.37)$$

де N_1- кількість фільтрів, що ремонтуються, приймається N_1=1 [26, п.10.12.1].

$$v_ф = 9 \cdot \frac{9}{9-1} = 10.1 м/год.$$

Швидкість фільтрування при форсованому режиму не повинна перевищувати 12 м/год згідно із [26, табл.19]. Отримане значення швидкості задовольняє цій вимозі.

Площа чарунки фільтра визначена за формулою:

$$F_ф = F_ф/N, \quad (3.38)$$

$$F_ф = 299/9 \approx 33.2 м^2.$$

Приймаються наступні розміри чарунки швидкого фільтру у плані: довжина L = 5,8 м, ширина B = 5,8 м.

Нижня частина фільтру на висоту 0,8 м завантажується підтримуючим шаром гравію із зернами крупністю 10…20 мм [26, табл. 22]. Загальна висота всього завантаження фільтру складає 0,5+0,8+0,8=2,1м. Висота шару води над поверхнею завантаження приймається 2,0 м, перевищення будівельної висоти над рівнем води 0,5 м [26, п.10.12.7].

Для покращення роботи фільтрів пропонується використовувати водоповітряну промивку; основні рекомендації щодо її застосування наведені у [26, п.10.12.20–10.12.22].

Для фільтрів із кварцовим піском рекомендується застосовувати водоповітряне промивання у такому режимі:

- спочатку провести продувку повітрям із інтенсивністю 15–20 л / (с×м²) протягом 1–2 хвилин,
- потім — спільне водоповітряне промивання з подачею повітря з інтенсивністю 15–20 л / (с×м²) і води — 3–4 л / (с×м²) протягом 4–5 хвилин,
- після чого здійснити подачу води без продувки з інтенсивністю 6–8 л / (с×м²) протягом 4–5 хвилин.

При водоповітряному промиванні:

- доцільно застосовувати систему горизонтального зливу промивної води, яка обладнана піскоуловлювальним жолобом, сформованим двома похилими стінками — водозливною та відбійною.
- необхідно подавати воду та повітря за допомогою розподільних систем із спеціальними ковпачками або через трубчасті системи для їх розподілу.

При застосуванні трубчастої системи розподілу для повітря площа поперечного перерізу колектора, каналу або трубопроводу має залишатися незмінною на всій їх довжині.

Повітряну розподільну систему слід розміщувати у центральній частині водяної та безпосередньо біля дна фільтра. У цьому випадку колектор для подачі повітря слід розташовувати вище від системи розподілу. Загальна площа отворів у відгалуженнях має становити від 0,3 до 0,35 від площі поперечного перерізу труби, тоді як сумарна площа поперечного перерізу всіх відгалужень — від 0,4 до 0,6 від площі поперечного перерізу колектора.

Рекомендується підтримувати швидкість руху повітря в трубах в межах 13–17 м/с, а швидкість виходу з отворів системи розподілу — 45–50 м/с. Діаметр отворів має бути в діапазоні від 3 до 5 мм. Тиск повітря на виході з отворів має становити вдвічі більший за висоту стовпа води у фільтрі під час його промивання (рахуючи від дна). Втрати напору у трубопроводі системи розподілу повітря приймаються рівними 1 метру.

Щоб забезпечити оптимальні параметри фільтрування, потрібно обрати таку швидкість, яка найкраще відповідає розмірам частинок і товщині шару фільтраційного матеріалу для води з урахуванням її конкретних фізико-хімічних властивостей. У практиці швидкість фільтрування зазвичай встановлюється відповідно до нормативних вимог із урахуванням проєктних характеристик шару фільтру. Однак на водоочисних станціях нерідко застосовують низькоякісний кварцовий пісок, який перед використанням необхідно попередньо розсіяти до відповідних фракцій. Розсіювання проводиться на стаціонарних грохотах, однак їхня продуктивність є невеликою,

а при вологості піску понад 4-6% ефективність розсіювання на сітках із розміром від 1 мм значно знижується.

Таким чином, засоби оптимізації швидких фільтрів при водопостачанні включають:

- Регулярне планове обслуговування та регулювання режиму промивання — правильне налаштування частоти та тривалості промивання для мінімізації використання води та енергії.
- Модернізація конструкції фільтрів — застосування ефективніших перфорованих або пористих матеріалів для зменшення опору та покращення фільтрації.
- Впровадження систем попередньої обробки — очищення вхідної води перед швидким фільтром для зменшення засмічення й підвищення його ефективності.

Також для оптимізації роботи фільтрів можуть застосовуватися використання автоматичних систем управління та моніторинг якості води.

Висновки до розділу 3

Розрахунок очисних споруд з урахуванням модернізації відстійників дозволяє обґрунтовано, економічно та ефективно реконструювати систему очистки промивних вод, забезпечуючи їх відповідність сучасним стандартам і підвищуючи надійність роботи очисних споруд.

РОЗДІЛ 4
РОЗРОБКА ЕНЕРГООЩАДНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПОВТОРНОГО ВИКОРИСТАННЯ ПРОМИВНИХ ВОД

Енергоощадні технології повторного використання промивних вод — це інноваційні підходи та рішення, спрямовані на зменшення споживання ресурсів та енергетичних витрат у процесах очищення та промивки обладнання. Впровадження таких технологій також сприяє підвищенню екологічної відповідальності підприємств та відповідає сучасним стандартам сталого розвитку.

4.1. Визначення об’єму промивних вод

Питома витрата води для одного промивання одного фільтра розраховується за формулою

$$q_{пр} = 16 \cdot 360 / 1000 = 5{,}76 м^3 / м^2 \quad (4.1)$$

Обсяг води, потрібний для промивання однієї чарунки фільтра, визначається за формулою

$$q_{\text{пром}} = 33.64 \cdot 16 = 538.24 л/с = 0{,}538 м^3/с. \quad (4.2)$$

З урахуванням того, що тривалість однієї промивки фільтра становить 0,1 години (тобто 360 секунд), і кожен фільтр промивається двічі на добу, загальний обсяг води, витрачений на промивання одного швидкого фільтра за добу, становитиме:

$$2 \cdot 0{,}538 \cdot 360 = 387.36 м^3.$$

4.2. Розрахунок приймальних камер

Зазвичай обирається типовий розмір камери з урахуванням її пропускної здатності, а також кількості і діаметру трубопроводів.

Після промивки швидких фільтрів промивна вода у кількості $q_{пром} = 538.24л/с$ подається на станцію водопідготовки через два трубопроводи діаметром 400 мм кожен.

Обирається стандартна приймальна камера ПК-2-60 з розмірами 1600×2000×1600 мм.

4.3. Розрахунок пісковловлювачів

З приймальної камери вода подається у пісковловлювач. Обирається горизонтальний пісковловлювач із прямолінійним рухом води, який має два робочих відділення (одно — резервне) [26].

Площа чистого перерізу кожного відділення становить:

$$w = \frac{q}{V \cdot n}, \quad (4.3)$$

де q – витрата води, що надходить у пісковловлювач, м^3/с;

V – швидкість руху води, м/с [26];

n – число відділень у пісковловлювачі.

$$w = \frac{4*0,538}{0,3 \cdot 2} = 3.57м^2.$$

Глибина проточної частини приймається $h = 0.7м$. Ширина відділення:

$$B = w/h = 3.57/0.7 = 5.1м.$$

Довжина пісковловлювача визначається за формулою:

$$L = \frac{k \cdot h \cdot V \cdot 1000}{U_o}, \quad (4.4)$$

де k – коефіцієнт, k =1,3;

U_o – гідравлічна крупність піску, мм/с, U_o = 24,2 мм/с.

$$L = \frac{1,3 \cdot 0,7 \cdot 0,3 \cdot 1000}{24.2} = 11.3м.$$

Обирається пісковловлювач з довжиною 15 м.

Геометрична глибина пісколовки встановлюється:

$$H_n = h_1 + h_n + 0.7 = 0,7 + 0,2 + 0,7 = 1,6м$$

Об’єм частини пісковловлювача, призначеної для накопичення осаду:

$$W = V \cdot T, \quad (4.5)$$

де V – об’єм піску, що затримується пісковловлювачем за добу:

$$V = W_o/365, \quad (4.6)$$

де W_o річне довантаження піску у швидкі фільтри, м^3/рік.

Річна необхідна додаткова кількість піску (з урахуванням 10%-ного додавання та аварійного перезавантаження одного фільтру):

$$W_o = 0.1 \cdot W_n \cdot + W_n/N, \quad (4.7)$$

де W_n – обєм піску, що завантажується у швидкі фільтри, W_n = 242,2 м^3 / доб:

$$W_o = 0.1 \cdot 242.2 \cdot + 242.2/9 = 51.1м^3.$$

$$V = 51.1/365 = 0{,}14м^3/доб;$$

T –період між чищеннями пісковловлювачів, приймається T –2 доб;

$W = 0{,}14 \cdot 2 = 0{,}28м^3$.

Висота секції пісковловлювача, призначеної для збору осаду:

$$h_{□} = \frac{W}{n \cdot B \cdot L} \quad (4.8)$$

$$h_{ос} = \frac{0.28}{2 \cdot 1.2 \cdot 15} \approx 10см.$$

4.4. Розрахунок згущувачів

Об’єм згущувача, розраховується за формулою:

$$\boldsymbol{W_{зг} = 1.3 \cdot K_{р.о.} \cdot W_{ос.ч}}, \quad (4.9)$$

де $K_{р.о.}$ – коефіцієнт розбавлення осаду, $\boldsymbol{K_{р.о.}}$ = 1,5 [26, п. 10.9.9];

$W_{ос.ч.}$ – об’єм осаду, м^3.

Передбачається, що з загальної кількості промивної води 80 % повертається до повторного використання, а 20 % виводиться разом із осадом.

Таким чином, обсяг відстояної води, що підлягає повторній очистці, становить:

$$Q_1 = q \cdot 0.8 = 538 \cdot 0.8 \approx 430.4м^3$$

Часові межі процесу перекачування $t_1 = 15хв = 0{,}25год$.

Максимальна пропускна здатність насосів:

$$q_1 = Q_1/t_1 = 430.4/0.25 = 1721.6м^3/год$$

Вибрано три насоси марки Д 1000-40, із яких два використовуються в робочому режимі, а один — у резерві.

Осад об'ємом

$$Q_2 = 538 * 0.2 = 107.6 м^3$$

передається до згущувача.

Якщо відома тривалість перекачування $t_2 = 20хв = 0{,}33год$, тоді продуктивність насосу можна визначити як:

$$q_2 = Q_2/t_2 = 107.6/0.33 = 326.1 м^3/год$$

Для перекачування осаду використовуються три насоси марки СД 250/14, із яких два працюють у режимі експлуатації, а один — у резерві.

$$W_{зг} = 1.3 \cdot 1,5 \cdot (128.5 + 51.1) = 350.22 м^3.$$

Вибрано два згущувачі діаметром 9,0 м і глибиною 3,0 м.

4.5. Розрахунок накопичувачів

Розрахунковий період подачі осаду до накопичувачів встановлюється на 5 років [26, Д. 17].

Обсяг накопичувача розраховується згідно з формулою:

$$W_{нак} = 0.876 \cdot q \cdot C_в \cdot [1/(100 - P_{ос1})\rho_1 + 1/(100 - P_{ос2})\rho_2 + \ldots + 1/(100 - P_{осn})\rho_n]$$

де q – розрахункова витрата станції водопідготовки, м^3/год;

$P_{ос1}; P_{ос2} \ldots P_{осn}$ – відповідно середні значення вологості у відсотках першого, другого, …n-го року ущільнення осаду [26, рис. Д.1];

$\rho_1; \rho_2 \ldots \rho_n$ – густина осаду першого; другого, n-го року ущільнення, приймається за [26, рис. Д. 1];

n – період подачі осаду в накопичувач, дорівнює 5 років;

$C_в$ – середньорічна концентрація завислих речовин у початковій воді, г/м^3, визначається по формулі (2.52), $C_в$ =179 мг/л:

$$W_{нак} = \frac{0{,}876 \times 2570 \times 179 \times 10^{-3}}{1/(100-84)\cdot 1{,}1 + 1/(100-78)\cdot 1{,}13 + 1/(100-75)\cdot 1{,}15 + 1/(100-74)\cdot 1{,}16 + 1/(100-72)\cdot 1{,}17}$$

$$W_{нак} = 2061.2 м^3$$

Вибирається чотирьохсекційний накопичувач із обсягом кожної секції 560 м³, при цьому розмір однієї секції у плані становить 20×20×1,4 м.

4.6. Екологічне обгрунтування

З метою запобігання забрудненню водоймища та зменшення витрат води для потреб станції передбачаються споруди для очищення промивних вод. Це дозволяє повторно використовувати очищену воду злива після промивки швидких фільтрів.

Для очищення промивних вод із метою їх повторного використання передбачені наступні споруди: приймальна камера, пісковловлювач, відстійник, згущувач та накопичувач.

Промивні води, що надходять із швидких фільтрів, потрапляють до приймальної камери. Її типовий розмір визначають з урахуванням пропускної здатності, а також кількості і діаметра трубопроводів.

Обсяг забрудненої води після промивки фільтрів за рік становить:

$$Q_{ш.ф.} = W_{пр.доб.} \times 365/1000 \quad (4.10)$$

$W_{пр.доб.}$ – добовий об'єм води після промивки швидких фільтрів, м^3 [26, п.2.3.1]:

$$W_{пр.доб.} = 538 \times 9 = 4842 м^3/доб$$

$$Q_{ш.ф.} = 4842 \times 365/1000 = 1767.3 тис.м^3/доб.$$

Використання споруд для повторного використання промивної води дає можливість уникнути скидання у водойму коагулянта $Al_2(SO_4)_3$ у кількості

$$Q_{коагул.} = Q_{ш.ф.} \times Д_к/1000, \quad (4.11)$$

де $Д_к$ – доза коагулянту $Al_2(SO_4)_3$, Дк = 34 г/м^3.

$$Q_{коагул.} = 1767330 \times 34/1000 = 60088.2 кг \approx 60.16 т.$$

Застосування системи повторного використання промивної води сприяє значним економічним та екологічним перевагам.

$$Q_{ш.ф.} = 4842 \times 365/1000 = 1767.3 тис.м^3/доб.$$

Висновки до розділу 4

Таким чином, застосування системи повторного використання промивної води сприяє кільком важливим аспектам: економія води; зменшення витрат; зменшення забруднення навколишнього середовища; покращення екологічного статусу підприємства; підвищення ефективності виробництва.

ВИСНОВКИ

В умовах воєнного стану та післявоєнної відбудови реконструкція очисних споруд має бути ресурсозберігаючою для покращення якості води, зменшення негативного впливу на довкілля та сприяння економічному розвитку.

В роботі вирішені наступні завдання:

1. Розроблено споруди для очищення питної води з продуктивністю 61 675 м³ на добу, що складаються з чотирьох вертикальних змішувачів розміром 2,8×2,5×5 м, десяти горизонтальних відстійників (планові розміри 50×4,5×3 м) та дев'яти швидких фільтрів розміром 5,8×5,8 м.
2. Розроблені заходи щодо оптимізації процесу водоочищення включають використання тонкошарових модулів у горизонтальних відстійниках: порівняльний аналіз навантаження на відстійник до та після його модернізації з встановленням тонкошарових модулів показав, що навантаження збільшується у 5,4 рази.
3. Енергоефективні рішення включають технологію повторного використання промивних вод після їх очищення — очисні споруди для обробки води після промивання фільтрів, які складаються з:
    a. приймальної камери розміром 1600×2000×1600 мм;
    b. двох секцій пісковловлювачів розмірами 15×0,7×5 м;
    c. двох згущувачів діаметром D=9 м і глибиною h=3,0 м;
    d. чотирьох секцій накопичувачів об'ємом 560 м³ кожна, розміром 20×20×1,4 м.
4. Для зменшення споживання води на власні потреби пропонується впровадити повторне використання промивних вод після фільтрів, що сприяє економії води у розмірі 1 767 300 м³ на рік або 31 457 940 грн на рік.

Загалом, ресурсозберігаючі рішення є ключовим чинником у сталому розвитку системи міського водопостачання, що дозволяє забезпечити її

ефективне функціонування та збереження водних ресурсів для майбутніх поколінь. На перспективу важливо продовжувати дослідження у галузі ресурсозбереження, впроваджувати найкращі світові практики та забезпечувати фінансову підтримку для модернізації систем міського водопостачання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України «Про енергозбереження» URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=63032 (Дата звернення: 29.04.2025).
2. Водний кодекс України. 1995. № 24. URL: https://ips.ligazakon.net/document/view/z950213?ed=2010_12_02. (Дата звернення: 29.04.2025).
3. Про затвердження Державних санітарних норм та правил "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною" (ДСанПіН 2.2.4-171-10). URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=27272 (Дата звернення: 14.04.2025).
4. Показники безпечності та окремі показники якості питної води в умовах воєнного стану та надзвичайних ситуаціях іншого характеру: наказ Міністерства охорони здоров’я України від 22.04.2022 № 683. URL: https://moz.gov.ua/uk/decrees/nakaz-moz-ukraini-vid-22042022--683-pro-zatverdzhennja-derzhavnih-sanitarnih-norm-i-pravil-pokazniki-bezpechnosti-ta-okremi-pokazniki-jakosti-pitnoi-vodi-v-umovah-voennogo-stanu-ta-nadzvichajnih-situacijah-inshogo-harakteru (Дата звернення: 25.04.2025).
5. Київводоканал. Щодо якості питної води. URL: https://www.vodokanal.kiev.ua/shhodo-yakosti-pytnoi-vody. (Дата звернення: 29.04.2025).
6. Хлор. Доступність. Мільярди. Чому в Україні знижується якість води, а тарифи залишаються популістськими // Вчасно. Новини – на часі. Від 01.05.2024. URL: http://vchasno.org.ua/ukraine/khlor-dostupnist-miliardy-chomu-v-ukraini-znyzhuietsia-iakist-vody-a-taryfy-zalyshaiutsia-populistskymy. (Дата звернення: 29.04.2025).
7. Води_поверхневі. URL: https://vue.gov.ua (Дата звернення: 29.04.2025).

8. Тема №1. Загальна характеристика природних джерел водопостачання. URL:https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php/1267417/mod_resource/content/1.pdf. (Дата звернення: 29.04.2025).
9. Мельничук І.В. Проблеми забезпечення якісною питною водою населення міста Івано-Франківська та шляхи їх вирішення // Науковий вісник НЛТУ України. 2011. Вип. 21.10. С. 108-113.
10. Про енергоефективність у житлово-комунальному господарстві: рішення № 37 від 27.06.2013. URL: https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/vr037858-13#Text. (Дата звернення: 29.04.2025).
11. Енергозбереження у водопостачанні та каналізації. URL:https://patriot-nrg.com/uk/content/energozberezhennya-u-vodopostachanni-ta-kanalizaciyi. (Дата звернення: 29.04.2025).
12. Canepa Alessandra, Chersoni Giulia, a Fontana Magd (2023). The role of environmental and financial motivations in the adoption of energy-saving technologies: Evidence from European Union data. *Quarterly Review of Economics and Finance*. Vol. 91. P. 1-14. URL: http://tinyurl.com/bdkn685x.
13. Звіт про стратегічну екологічну оцінку. Об’єкт: Документ державного планування державного державної цільової економічної програми енергетичної модернізації підприємств водопостачання та водовідведення, що перебувають у державній або комунальній власності на період до 2030 року. К., 2024. 90 с.
14. Купчак В.Р., Павлова О.М., Павлов К.В., Лагодієнко В.В. Формування та регулювання регіональних енергетичних систем: теорія, методологія та практика: монографія / В. Р. Купчак, О.М. Павлова, К.В. Павлов, В.В. Лагодієнко. Луцьк: СПД Гадяк Жанна Володимирівна, друкарня «Волиньполіграф», 2019. 346 с.
15. Дудар І. Н. «Енергетична галузь України. Сьогодення і пріоритети розвитку» / Дудар І. Н., Швець В. В.// Екологічний вісник листопад-грудень. 2004. С. 11–12.

16. Управління ресурсозбереженням на підприємстві / Куцик В.І. // Науковий вісник НЛТУ України. 2013. Вип. 23.8. С. 241-245.
17. Мікроорганізми як деструктори та індикатори токсичності гетероциклічних сполук / А.Р. Сушко, О.М. Дуган, Л.Р. Жураховська, Н.Г. Марінцова. Журнал національного університету «Львівська політехніка». Серія хімія, технології матеріалів та їх застосування. 2016. Вип. 841. С. 249-257.
18. Науковці ЗНУ впровадили сучасний та екологічно безпечний метод очищення забрудненої води / від 22.10.2021. URL: https://www.znu.edu.ua. (Дата звернення: 29.04.2025).
19. Л.Ф. Долина, П.Б. Машихіна, В.А. Козачина. Реконструкція систем водопостачання та водовідведення: Монографія: Дніпро: Журфонд, 2021. 220 с.
20. Tony Van Rossum. Water reuse and recycling in Canada — history, current situation and future perspectives (2020). *Water Cycle.* Vol.1. P. 98-103. URL: http://tinyurl.com/3ndue76p.
21. Екологічна безпека та природокористування: Зб. наук. праць / М-во освіти і науки України, Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт., НАН України, Ін-т телекомунікацій і глобал. інформ. простору; редкол.: О.С. Волошкіна, О.М. Трофимчук (голов. ред.) [та ін.]. К., 2014. Вип. 15. 186 с. URL: https://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/14/201415.pdf 1.
22. Шандиба О.Б., Толбатов А.В., Смоляров Г.А., Семерн О.В. Ефективність тонкошарового секціонування внутрішнього простору горизонтальних відстійників. URL: https://tinyurl.com/2s3kznza. (Дата звернення: 29.04.2025).
23. Запольський А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води: підручник. К.: Вища школа, 2005. 672 с. URL: http://files.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi73/772934.pdf. (Дата звернення: 29.04.2025).

24. Тугай А. М., Орлов В. О. Водопостачання: підручник. К.: Знання, 2009. 735 с. URL: http://files.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi71/0051607.pdf.
25. Питна вода м. Вишневе на 2018-2023 роки. https://vyshneve-rada.gov.ua/files/rada/24/27/dobav%20SKAN-%20XXV%D0%86-009.pdf (Дата звернення: 29.04.2025).
26. 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://document.vobu.ua/wp-content/uploads/DBN/101.1.-DBN-V.2.5-742013.-Vodopostachannya.-Zovnishni-merezhi.pdf (Дата звернення: 29.04.2025).
27. Водопостачання. Методичні вказівки до практичних робіт. Для студентів денної та заочної форми навчання за напрямом: 6.100101 «Екологія та охорона навколишнього середовища»: / Укл. Ковальчук Н.В., Руденко Т.В. Кропивницький: ЦНТУ, 2017. 54 с.
28. Тугай А.М., Терновцев В.О., Тугай Я.А. Розрахунок і проектування споруд систем водопостачання. К., 2001. 303 с.
29. Сорокіна К. Б. Технологія очистки природних вод та «Споруди і обладнання водопостачання. Модуль 3»: конспект лекцій (для студентів денної і заочної форм навчання освітнього рівня «бакалавр» за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія, освітні програми «Гідротехніка (водні ресурси)», «Цивільна інженерія (Водопостачання та водовідведення)») / К. Б. Сорокіна; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Х.: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. 110 с.