

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Факультет інженерних систем та екології
Кафедра водопостачання та водовідведення

“ Допустити до захисту в
АЕК”

Завідувач кафедри

„___” _____ 2025 року

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО АТЕСТАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА ЗА ОПП/ОНП

Водопостачання міста і заводу санітарно-технічного обладнання
(назва)

Виконав студент групи ВВМН-23

Рибак Павло Сергійович

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

Спеціальність: 192. Будівництво та цивільна
інженерія

Спеціалізація: Водопостачання та водовідведення

Керівник: Терновцев О.В.

(прізвище, ініціали.)

к.т.н., доц.

науковий ступінь, вчене звання

(прізвище, ініціали.)

науковий ступінь, вчене звання

Рецензент: _____

(прізвище, ініціали.)

науковий ступінь, вчене звання

Київ 2025 р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет інженерних систем та екології
Кафедра водопостачання та водовідведення
Освітній рівень: магістр за освітньо-професійною програмою/ освітньо-науковою програмою
Галузь знань: 19 – Архітектура та будівництво
Спеціальність: 192 – Будівництво та цивільна інженерія
Спеціалізація: «Водопостачання та водовідведення»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

„____” _____ 2025 року

**З А В Д А Н Н Я
ДО ВИКОНАННЯ АТЕСТАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

Рибак Павло Сергійович

(прізвище, ім'я та по батькові студента)

1. Тема роботи Водопостачання міста і заводу санітарно-технічного обладнання
затверджена наказом ректора КНУБА №377 від 07.03.2025 року

2. Керівник роботи к.т.н., доц. Терновцев О.В.;
(прізвище, ім'я та по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання студентом роботи до захисту _____

4. Вихідні дані та зміст роботи за розділами:

Інженерна частина

Розрахунок станції очищення води продуктивністю 73172,7 м³/добу у складі реагентного господарства.

Спеціальна частина

Проведено розробку енергоощадних технологій повторного використання промивних вод після їх очищення – очисні споруди для обробки води після промивання фільтрів

Додаткові дані

1. Календарний план виконання роботи:

Види робіт та їх зміст	Дата виконання
Використання сучасних енергоощадних технологій для водопідготовки	
Розрахунок продуктивності станції водопідготовки міста	
Розрахунки енергоощадної технології водопідготовки	
Порівняння економічної складової запропонованих технічних рішень	
Перевірка на плагіат	
Попередній захист	
Рецензування	

2. Дата видачі завдання _____

Керівник проекту _____

(підпис)

(прізвище та ініціали)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Студент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Анотація

Однією з найважливіших глобальних проблем останніх десятиліть була та залишається якість і доступність питної води. Запаси доброї прісної води у всьому світі скорочуються, тоді як чисельність населення та, відповідно, споживання води неухильно зростають

Метою роботи є вдосконалення системи водопостачання населеного пункту та заводу санітарно-технічного обладнання шляхом застосування енергозберігаючих технологій водопідготовки

Об'єкт досліджень – очисні споруди продуктивністю 74032 м³/добу.

Предмет досліджень – технологічна схема очищення природної води та технічні параметри очисних споруд.

Ключові слова: *система водопостачання; водопровідна мережа; очисні споруди; енергозберігаючі технології; екологічне обґрунтування; економічні показники.*

Abstract

One of the most important global issues of recent decades has been and remains the quality and availability of drinking water. The reserves of good fresh water worldwide are declining, while the population and, consequently, water consumption are steadily increasing

The aim of the work is to improve the water supply system of the settlement and the sanitary equipment plant by applying energy-saving water treatment technologies

Object of research - treatment facilities with a capacity of 74032 m³/day.

The subject of research is the technological scheme of natural water treatment and technical parameters of treatment facilities.

Key words: *water supply system; water supply network; treatment facilities; energy-saving technologies; environmental justification; economic indicators.*

ЗМІСТ

	Вступ	7
Розділ 1	Використання сучасних енергоощадних технологій для водопідготовки	9
1.1.	Вимоги до якості вод в Україні та за кордоном	9
1.2.	Вплив якості питної води на здоров'я людини	14
1.3.	Сучасні методи підготовки питної води	18
1.3.1.	Механічні методи водопідготовки природних вод	19
1.3.2.	Фізико-хімічні методи	20
1.3.3.	Мембранні методи	22
1.4.	Передумови розвитку водних енергоощадних технологій в Україні	25
Розділ 2	Розрахунок продуктивності станції водопідготовки міста	33
2.1.	Вихідні дані для розрахунку станції водопідготовки	33
2.1.1.	Характеристика забудови населеного пункту	33
2.1.2.	Характеристика джерела водопостачання та умов водозабору	35
2.1.3.	Розрахунок добових витрат води для населеного пункту	36
2.2.	Аналіз режиму водоспоживання населеного пункту	40
2.3.	Створення принципової схеми системи водопостачання	45
Розділ 3	Розрахунки енергоощадної технології водопідготовки	46
3.1.	Розробка водозабірних споруд	46
3.2.	Вибір методу обробки води та визначення прогнозованих витрат	53
3.3.	Розробка технології реагентної обробки води	54
3.4.	Розрахунок обладнання для реагентного господарства	56
3.5.	Визначення розрахункових параметрів змішувачів	60

3.6.	Розробка споруд для відстоювання води	63
3.7.	Розрахунок робочих та конструкційних параметрів камер пластівцеутворення	68
3.8.	Розробка споруд для фільтрування води	70
3.9.	Визначення діаметрів трубопроводів станції водо підготовки	80
3.10.	Розробка енергоощадної технології повторного використання промивних вод	81
3.11.	Екологічне обґрунтування	85
3.12.	Розрахунок споруд для дезінфекції води	85
3.13.	Розробка вертикальної схеми очисних споруд	86
3.14.	Розрахунок резервуарів чистої води	88
Розділ 4	Порівняння економічної складової запропонованих технічних рішень	91
	Висновки	95
	Список використаної літератури	96

ВСТУП

Актуальність теми. Однією з найважливіших глобальних проблем останніх десятиліть була та залишається якість і доступність питної води. Запаси доброї прісної води у всьому світі скорочуються, тоді як чисельність населення та, відповідно, споживання води неухильно зростають. Світові запаси води складають головню солоні води – 97,5 %, і тільки 2,5 % – це запаси прісної води, з яких лише 0,3% легкодоступні для людини, оскільки інші запаси зосереджені у льодах і глибоко під землею [1].

У зв'язку з цим Генеральна Асамблея ООН проголосила період з 2010 по 2020 рік Міжнародним десятиліттям дій «Вода заради життя» та ухвалила, що цілі Десятиліття повинні полягати у наданні підвищеної уваги до втілення програм та проектів, що стосуються водних ресурсів [2]. А досягнення цілі 6 сталого розвитку «Чиста вода та належні санітарні умови» вимагає забезпечення загального доступу до безпечної питної води для всіх людей до 2030 року та інвестування у відповідну інфраструктуру й забезпечення ефективного очищення води, призначеної для питного споживання.

Розвиток місцевих комунальних підприємств, їхнє ефективне функціонування та досягнення стратегічних цілей мають базуватися на енергоощадливому підході до господарювання. Цей підхід спрямований на раціональне використання фінансових, трудових, енергетичних та інших ресурсів з метою збільшення їх потенціалу. Дослідження економічних процесів реалізації енергетичного потенціалу на підприємстві дозволяють підвищити його прибутковість, укріпити позиції на ринку та зменшити фінансові й операційні ризики. Такий економічний розвиток окремого комунального підприємства внесе вагомий внесок у загальний економічний прогрес країни.

В Україні проблема дефіциту води постає не так гостро, як у багатьох інших країнах, але, зважаючи на це, забезпечення високої якості питної води лишається нагальним завданням.

Вимоги до безпечності та якості питної води, призначеної для споживання людиною, а також правила виробничого контролю та державного санітарно-епідеміологічного нагляду у сфері питного водопостачання населення встановлюються за ДержСанПіН 2.2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. Вимоги Санітарних норм не поширюються на води мінеральні лікувальні, лікувально-столові, природні столові. У світовій практиці застосовуються нормативи ВООЗ.

Зазвичай, на станціях водопідготовки поверхневі води проходять звичне очищення, яке включає: відстоювання, фільтрування, знезараження та деякі додаткові операції, залежно від складу води у певному регіоні. Підземні ж води, хоч і в меншій мірі, але також піддаються антропогенному забрудненню, наприклад, при потраплянні стічних та/або виробничих вод у підземні горизонти.

Метою роботи є вдосконалення системи водопостачання населеного пункту та заводу санітарно-технічного обладнання шляхом застосування енергозберігаючих технологій водопідготовки

Об'єкт досліджень – очисні споруди продуктивністю 74032 м³/добу.

Предмет досліджень – технологічна схема очищення природної води та технічні параметри очисних споруд.

Методи досліджень. Застосовані методи математичного моделювання, методи гідравлічних розрахунків.

Практичне значення отриманих результатів. Результати удосконалення системи водопостачання населеного пункту та заводу санітарно-технічного обладнання можуть служити основою для відновлення та реконструкції пошкодженої інфраструктури міст, яка постраждала внаслідок воєнних дій.

Розділ 1

Аналіз науково-технічної літератури з досліджуваної теми

1.1. Вимоги до якості вод в Україні та за кордоном

Підземні води, як джерело водозабезпечення, мають низку переваг у порівнянні з поверхневими водами. Найперше, підземні води значно надійніше захищені від забруднення і, як правило, вирізняються ліпшою якістю, менше схильні до сезонних змін, не потребують дороговартісних заходів стосовно водоочищення. Зростання забруднення поверхневих вод промисловими, сільськогосподарськими та комунальними стоками в багатьох країнах світу спричинило значне зростання об'ємів використання підземних вод для питного водопостачання. На сьогодні приблизно 1/3 світового населення забезпечуються водою із підземних джерел [5].

У більшості розвинених держав світу (і в багатьох країнах, що розвиваються) основним, а інколи й єдиним джерелом питної води є підземні води: в Австрії та Данії вся вода, що застосовується в питних цілях, видобувається з підземних джерел (100%), Італії – до 90%, Угорщині – 88%. Загалом для держав Європейського Союзу ця величина складає 79%. В Україні на частку підземних вод припадає близько 30%. Приблизно 60% міст мають централізоване водопостачання та приблизно в 1/3 міст воно базується на застосуванні лише підземних вод, інші використовують і поверхневі, і підземні води [5, 6].

Сільське населення здебільшого використовує воду з криниць або поверхневих водних джерел.

У складних природних та техногенних обставинах, коли на якість підземних вод одночасно впливають природні (безпосередньо у підземній частині гідросфери та опосередковано через інші чинники довкілля) та антропогенні чинники забруднення, очищення підземних вод має бути комплексним, що враховує увесь спектр факторів, які впливають [12].

Нормативні документи насамперед підрозділяють за цілями нормування, які мають визначати:

- а) якість вихідної води для різних споживачів;
- б) вимоги водоспоживачів щодо якості води після відповідної обробки.

Є декілька категорій водовикористання [6]: поверхневі води, що використовуються для господарсько-питних та комунально-побутових потреб; постачання води харчових виробництв; потреби рибного промислу; рекреаційного водокористування; водовикористання інших виробництв; підземні води, що використовуються для таких самих цілей, як і поверхневі води, за винятком рибного промислу та рекреаційного водокористування.

Суттєво, що одні й ті ж показники якості води в нормативних актах різних країн можуть помітно різнитися один від одного. Для деяких показників визначені гранично допустимі концентрації (ГДК), що знаходяться або за межами чутливості сучасних методів аналізу, або за межами технологій, які використовуються для очищення води [7].

Нормативи Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) поділяються за групами забруднень: органолептичні, неорганічні, органічні, радіоактивні, пестициди, речовини, що застосовуються при дезінфекції води та домішки, що не впливають на здоров'я людей при їх нормальних концентраціях у воді (табл. 1.1).

Нормативи США. У США нормативи якості питної води поділяють на дві групи: національні первинні нормативи (NPDWP), обов'язкові для громадських водопровідних мереж та національні вторинні нормативи (NSDWP), які можуть бути прийняті як обов'язковими рішеннями влади штату чи населеного пункту [9].

Таблиця 1.1 – Норми якості питної води в Європейському Союзі та США, рекомендації Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) (розроблено автором)

Найменування	ДСанПіН 2.2.4-171-10	ДСанПіН 2.2.4-171-10	Федеральні норми в США (NPDWP)		ВОО (Керівництво з контролю якості питної води)
			1 MCLG	2 MCL	
Запах, бал	2	Прийнятний для споживача	-	-	-
Смак та присмак, бал	2	Прийнятний для споживача	-	-	-
Кольоровість, градус платино-кобальтової шкали	20	Прийнятний для споживача	-	-	15
Мутність, мг/л	2,6	Прийнятний для споживача	-	5	5
Водневий показник (рН)	6,0 – 9,0	≥ 4,5 (6,5 – 9,5 для сулій)	-	-	6,5 – 9,5
Загальна мінералізація (сухий залишок), мг/л	1000	-	-	-	-
Жорсткість загальна, ммоль/л	7,0	-	-	-	-
Окислюваність перманганатна, мгО ₂ /л	5,0	5,0	-	-	-
Нафтопродукти, мг/л	0,10	-	-	-	-
Поверхнево-активні речовини (ПАР), мг/л	0,50	-	-	-	-
Фенол, мг/л	0,01	-	-	-	-
Загальні коліформні бактерії (100 мл)	Відсутність	Відсутність (для ємностей до 250 мл)	Відсутність	5 %	-
Алюміній (Al ³⁺), мг/л	0,50	0,20	-	-	0,20
Барій (Ba ²⁺), мг/л	0,1	-	2,0	2,0	0,7
Берилій (Be ²⁺), мг/л	0,0002	-	0,004	0,004	-
Бор (В, сумарно), мг/л	0,50	1,0	-	-	0,50
Залізо (Fe, сумарно), мг/л	0,30	0,20	-	-	0,30

Кадмій (Cd, сумарно), мг/л	0,001	0,005	0,005	0,005	0,003
Марганець (Mn, сумарно), мг/л	0,1	0,05	-	-	0,50
Молібден (Mo, сумарно), мг/л	0,25	-	-	-	0,007
Мідь (Cu, сумарно), мг/л	1,0	2,0	1,3	1,3	2,0
Миш'як (As, сумарно), мг/л	0,05	0,01	-	0,05	0,01
Нікель (Ni, сумарно), мг/л	0,1	0,02	-	-	0,02
Нітрати (за NO ₃ ⁻), мг/л	45,0	50,0	44,3	44,3	50,0
Ртуть (Hg, сумарно), мг/л	0,0005	0,0010	0,0020	0,0020	0,0010
Свинець (Pb, сумарно), мг/л	0,03	0,01	0,0020	0,0020	0,0010
Селен (Se, сумарно), мг/л	0,01	0,01	0,05	0,05	0,01
Сульфати (SO ₄ ²⁻), мг/л	500	250	-	5	250
Фториди (F ⁻), мг/л	1,5	1,5	4,0	4,0	1,5
Хлориди (Cl ⁻), мг/л	350	250	-	-	250
Хром (Cr ⁶⁺), мг/л	0,05	0,05	0,10	0,10	0,05
Хром (Cr ³⁺), мг/л	0,5	0,05	0,10	0,10	0,05
Ціаніди (CN ⁻), мг/л	0,035	0,05	0,20	0,20	0,07
Цинк (Zn ²⁺), мг/л	1,0	5,0	-	-	3,0
ДДТ (сума ізомерів), мг/л	0,002	-	-	-	0,002
2,4-дихлорфенокси-оцтова кислота, мг/л	0,03	-	0,07	0,07	0,03
Хлор, мг/л: залиш. вільний, залиш. пов'язаний.	0,3-0,5 0,8-1,2	-	-	-	0,6-1,0 (5,0)
Озон залишковий, мг/л	0,3	-	-	-	-
Поліакриламід, мг/л	2,0	-	-	-	-
Акриламід, мг/л	0,01	0,0001	Відсутня.	-	0,0005
Поліфосфати (по РО), мг/л	3,5	-	-	-	-

Бенз(а)пірен, мг/л	0,000-0,005	0,000010	Відсутня	0,0002	0,0007
Натрій (Na ⁺), мг/л	200,0	200,0	–	–	200,0
Пестициди (загальн. вміст), мг/л	–	0,0005	–	–	–
Бензол, мг/л	0,01	0,001	Відсутня	0,0002	0,0007
Сурма (Sb), мг/л	0,05	0,005	0,006	0,006	0,005
Залишкові кількості Al ⁺ і Fe ⁻ містять коагулянтів, мг/л:					
алюміній (Al ³⁺)	0,50	–	–	–	–
залізо (Fe)	0,30	–	–	–	–
Аміак (N), мг/л	2,0	0,50 (по NH ₄ ⁺)	–	–	1,5 (по NH ₄ ⁺)
Нітрити (по NO ₂ ⁻), мг/л	3,0	0,5	1,0	1,0	3,0
Тетрахлоретилен та трихлоретилен, мг/л	-	0,010	-	-	0,040
Вінілхлорид (хлоретилен), мг/л	0,05	0,0005	Відсутня	0,0020	0,0100
1,2-дихлоретан, мг/л	0,01	0,003	Відсутня	0,005	0,030
Етилбензол, мг/л	0,01	-	0,7	0,7	0,0024-0,2
Чотирьоххлористий вуглець (CCl ₄), мг/л	0,006	-	Відсутня	0,005	-
Сіроводень, H ₂ S, мг/л	0,003	-	-	-	-

MCLG – визначає максимальний рівень забруднення питної води, при якому не відбувається жодного несприятливого на здоров'я людей (не обов'язковий). 2 MCL – регламентує максимально допустимий рівень забруднення питної води, що постачається будь-якого користувача водопровідної мережі (є обов'язковим)

Національні вторинні стандарти питної води США (NSDWP) включають ГДК, мг/л: алюміній (Al) - 0,05-0,20; залізо (Fe) – 0,30; хлориди (Cl⁻) - 250,0; сульфати (SO₄²⁻) - 250,0; фториди (F⁻) – 2,0; мідь (Cu) - 1,0; марганець (Mn) - 0,05; срібло (Ag) – 0,10; цинк (Zn) – 5,0; загальна мінералізація – 500,0; запах – 3 бали; кольоровість – 15 градусів. У таблицю 1.1 включені нормовані США основні неорганічні домішки та лише деякі (з 54-х) органічні компоненти.

1.2. Вплив якості питної води на здоров'я людини

Склад води джерел, з котрих відбувається водопостачання, безпосередньо впливає на здоров'я людей. В ідеалі вода не мусить містити жодних домішок, котрі негативно впливають на здоров'я людини. Разом з тим природні води мусять містити достатню кількість мікроелементів, що беруть участь в обмінних процесах живих організмів. Приміром, знижений вміст фтору в питній воді призводить до руйнування зубної емалі, нестача йоду викликає захворювання щитоподібної залози.

Бактеріальне забруднення питної води є окремою проблемою через небезпеку виникнення та поширення масових інфекцій. Серед паразитарних хвороб особливе місце посідає лямбліоз – захворювання, спричинене збудником – представником найпростіших, які уражають кишечник та печінку людини. Відповідно до останніх епідеміологічних даних, питна вода складає основний шлях поширення цього збудника недуги [10].

Небезпека інфікування водних джерел пов'язана з тим, що життєві цикли організмів-збудників недуг протікають за участю різних організмів, які виконують проміжну роль переносників паразитів (риби, молюски, ракоподібні, комарі і т.д.).

Вміст у природних водах нафтопродуктів та інших органічних речовин може спричинити хронічні патології в роботі організму, онкологічні захворювання, порушити репродуктивну функцію організму, аж до тератогенного впливу на ембріон.

Одними з найнебезпечніших складників питної води є важкі метали. Потрапляючи в довкілля, вони не лише забруднюють її, а й невідворотно надходять у живі організми. Важкі метали здатні накопичуватися в тканинах, спричиняючи гострі отруєння та тяжкі хронічні захворювання. Наприклад, сполуки кадмію уражають центральну нервову систему, печінку та нирки, а тривале отруєння призводить до анемії та руйнування кісток. Крім того, практично всі важкі метали, в тих чи інших концентраціях, є канцерогенними речовинами, а також можуть стати причиною генетичних відхилень.

Основними джерелами надходження важких металів до навколишнього середовища є підприємства чорної та кольорової металургії, автомобільний транспорт, заводи з переробки акумуляторних батарей, а також побутові хімічні джерела струму (ХДС). Оскільки збирання із наступною переробкою ХДС у нашій країні не проводиться, вони разом із побутовими відходами потрапляють на полігони, звалища і, частково, на сміттєспалювальні заводи, де з цієї причини щорічно виявляються сотні та тисячі тонн кольорових металів [11, 12].

Навести більш точні дані неможливо через відсутність, як уже було сказано, збору відпрацьованих хімічних джерел струму та обліку масштабів їх споживання. При такому споживанні щорічні втрати металів із відпрацьованими джерелами струму становлять 3,3–4,0 тис. т.

В основному це марганець (1-1,5 тис. т), цинк (до 1 тис. т), нікель (до 200 т), кадмій (до 100 т), залізо (до 1,5 тис. т), а також мідь, кобальт, рідкісноземельні та інші елементи.

Результати чимало досліджень засвідчують, що поховання використаних джерел струму на полігонах твердих побутових відходів призводить до вилуговування металів і, внаслідок цього, до збільшення вмісту високотоксичних важких металів у фільтраті полігону [14,16].

Таблиця 1.2 – Вплив на здоров'я людини надмірного надходження в організм компонентів питної води (розроблено автором)

Компонент питної води	Норматив (ГДК), не більше мг/л	Вплив на організм
Алюміній	0,5	Порушення структури та функцій нервової системи
Барій	0,1	Вплив на серцево-судинну систему
Бензапірен	0,000005	Онкологічні захворювання
Бензол	0,5	Ураження печінки, нирок, серцеві розлади
Бор	0,5	Порушення функцій харчової, серцево-судинної та нервової систем організму, тератогенний ефект
Залізо	0,3	Алергічні реакції, хвороби крові
Кадмій	0,001	Ушкодження центральної нервової системи, печінки та нирок, порушення фосфорно-кальцієвого обміну
Кальцій	3,5	Гіперкальцемія, сечокам'яна хвороба, уповільнення росту у дітей
Кобальт	0,1	Кардіоміопатія, захворювання щитовидної залози
Магній	20	Розвиток захворювань шлунково-кишкового тракту і дихальних шляхів
Марганець	0,1	Порушення центральної нервової системи, легенів, алергічні реакції
Мідь	10	Захворювання шлунково-кишкового тракту, тератогенний ефект
Молібден	0,25	Ураження дихальних шляхів, подагра
Миш'як	0,05	Пригнічення центральної нервової системи, ураження шкіри, захворювання щитовидної залози
Натрій	200	Захворювання нирок, набряки
Нікель	0,1	Алергічні реакції, ураження серця і печінки, онкологічні захворювання
Нітрати, нітроти	45 33	Метгемоглобінемія
Ртуть	0,0005	Ураження нервової системи, печінки, нирок, шлунково-кишкового тракту, тератогенний ефект

Свинець	0,03	Руйнування кісток, захворювання мозку і розумова відсталість, онкологічні захворювання
Селен	-	Карієс, онкологічні захворювання
Фтор	1,5	Карієс, флюороз, остеосаркома
Хром	0,5	Алергічні реакції, онкологічні захворювання
Ціаніди	0,1	Ураження дихальної та нервової систем

Так, Агуракіс Д. та Камарго І. у своїй роботі, вивчаючи процес вилуговування металів з лужних марганцево-цинкових хімічних джерел струму, при їх похованні показали, що концентрації цинку і марганцю в ґрунті, порівняно з початковими, збільшилися у 70 та 11 разів, відповідно. Крім того, електроліт (KOH), що міститься в джерелах струму, підвищує рН ґрунту.

Підвищення рН певною мірою сприяє утриманню металів у поверхневому шарі ґрунту, але виявляється недостатнім для припинення їх міграції.

Таким чином, відпрацьовані джерела струму, тим чи іншим шляхом, стають причиною забруднення поверхневих та підземних вод важкими металами – вкрай небезпечними компонентами вод, призначених для питних потреб.

Компонентний склад води складний та різноманітний і кожен компонент може різний вплив на стан здоров'я людини при надмірному та недостатньому його надходженні в організм. У таблиці 1.2 представлені основні компоненти питної води та їх вплив на людину.

Виявлення та усунення можливого несприятливого впливу хімічного складу питної води на організм є важливими факторами збереження здоров'я.

1.3. Сучасні методи підготовки питної води

Взаємодія підземної частини гідросфери з іншими складниками навколишнього середовища та можливість її забруднення через ці компоненти визначається ступенем захищеності та вразливості підземних вод до забруднення та відбивається на відповідних мапах, складених на основі модельних розрахунків руху забруднювальних речовин через захисну зону – літосферу. Захисна зона, що відділяє ґрунтові води від поверхневого забруднення, називається зоною аерації. У випадку потрапляння шкідливих забруднювальних речовин на поверхню землі, захисною зоною (буфером) вищого порядку є ґрунти, здатні пов'язати чимало забруднювальних речовин.

Зона, що захищає підземні води від забруднення, має дворівневу структуру: перший рівень – ґрунти, другий – породи зони аерації.

Отже, забруднення підземних вод може траплятися як завдяки природним чинникам, пов'язаним зі специфікою геохімічного складу водоносних порід, так і антропогенним. В районах інтенсивного вилучення та використання підземних вод відбувається погіршення їх властивостей (збільшення мінералізації та жорсткості, вмісту сульфатів, марганцю, літію, бору та ін.), як внаслідок підтягування до водозабору вод із суміжних горизонтів, так і завдяки проникненню поверхневого забруднення в водоносні горизонти.

Сучасні способи очищення води концептуально в себе включають три завдання:

- 1) очищення води за хімічними та токсикологічними показниками,
- 2) гарантування мікробіологічної безпеки,
- 3) забезпечення сприятливих органолептичних властивостей (смак, присмак, запах).

Тобто, згідно з ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» питна вода, призначена для споживання людиною, мусить відповідати таким вимогам: бути безпечною в епідемічному та радіаційному відношенні, мати сприятливі органолептичні властивості та нешкідливий хімічний склад. Найбільш ефективні методи очищення води – це пом'якшення води, знезалізнення, ультрафільтрація.

1.3.1. Механічні методи водопідготовки природних вод

В основі класифікації методів водопідготовки покладено принцип фазово-дисперсного стану домішок води, відповідно до якого всі домішки розподілені на чотири групи.

Початковим етапом водопідготовки, як правило, є видалення зважених домішок – освітлення води, що класифікується як попередня обробка [11].

Розрізняють кілька типів механічного очищення: проціджування, відстоювання, плівкове та об'ємне фільтрування.

Ефективність процесу фільтрації залежить від фізико-хімічних властивостей домішок, завантаження та ряду гідродинамічних факторів. Якщо кількість завислих домішок у воді не перевищує 50 мг/л застосовують одношарові фільтри, 100 мг/л – двошарові. При значенні перманганатної окислюваності у вихідній воді вище 15 мгО₂/л (або кольоровості більше 30 градусів) проводять попереднє коагулювання [22].

1.3.2. Фізико-хімічні методи

Натрій-катіонування – найпоширеніший метод пом'якшення води. Він заснований на здатності іонообмінних матеріалів замінювати іони кальцію та магнію на іони інших речовин, що не утворюють накип на поверхні [13, 14].

Процеси іонного обміну оборотні. Тому якщо у воді іонів натрію стає дедалі більше порівняно з кількістю іонів кальцію та магнію, то процес заміщення іонів Ca²⁺ та Mg²⁺ уповільнюється.

Натрій-хлор-іонування застосовується, коли потрібно зменшити загальну жорсткість, загальну та відносну лужність, а також мінералізацію вихідної води [44]. При регенерації катіоніту застосовується розчин хлориду натрію, і на відміну від натрій-катіонування, тут «використовуються» іони і Na⁺, і Cl⁻.

Для зменшення сумарної твердості, загальної лужності та мінералізації води застосовується водень – натрій – катіонування. При Н-катіонуванні води суттєво знижується її рН через кислоти, що виникають у фільтраті. Поряд із пом'якшенням води та зниженням твердості води, зменшується мінералізація води.

Амоній – натрій – катіонування (обмінний катіон – іон амонію – NH₄⁺) використовується для досягнення тих же цілей, що й при натрій-хлоріонуванні [44]. Особливість цього методу в тому, що його не можна застосовувати для обробки води системи гарячого водопостачання, для відкритих систем

теплопостачання, а також при небезпеці аміачної корозії міді та її сплавів, оскільки у парі утворюється аміак.

Аніонування, як впливає з назви, застосовується для вилучення розчинених аніонів із води. Аніонуванню піддається вода, що вже пройшла попереднє катіонування. Після вичерпання робочої обмінної ємності аніоніту він регенерується. Регенерацію аніонітного фільтра проводять лугом (NaOH). Як регенеруючий агент, крім їдкого натру, зрідка застосовують NH_4OH , Na_2CO_3 , NaHCO_3 .

Декарбонізація води – це видалення оксиду вуглецю (IV), що виділяється в процесах водень-катіонування та аніонування. Видалення його з води перед сильноосновними аніонітними фільтрами необхідне, так як у присутності CO_2 у воді частина робочої обмінної ємності аніоніту витрачається на поглинання CO_2 .

Традиційно для видалення з води вуглекислого газу використовують декарбонізатори – апарати, заповнені різними насадками (частіше – насипними, наприклад, кільцями Рашига, Палля та ін), або без наповнювачів, і повітря, що продувається назустріч водному потоку [25, 26].

Очищення води від сполук заліза – знезалізнення води – широко поширена проблема, особливо при використанні води зі свердловин. Вода з високим вмістом заліза має неприємний смак. Крім того, залізо – джерело утворення залізо-накипних відкладень на поверхнях нагріву. Це пов'язано, в першу чергу, з великою різноманітністю форм заліза, що існують у природних водах [17].

Зазвичай для знезалізнення поверхневих вод застосовуються реагентна обробка води з наступною фільтрацією. При очищенні від заліза підземних вод застосовують фільтрування у поєднанні з одним із способів попередньої обробки води:

- аерація;
- коагуляція;

– введення реагентів-окислювачів (хлор, гіпохлорит натрію, озон, перманганат калію).

Рідше для знезалізнення води застосовують флотацію, електрокоагуляцію та інші методи. При видаленні з води заліза, що знаходиться у вигляді колоїду гідроксиду заліза ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) або у вигляді колоїдних органічних сполук, як наповнювачі для фільтрів застосовують спеціальні фільтруючі матеріали, оброблені каталізатором, що прискорює процес окислення двовалентного заліза в тривалентне [18].

1.3.3. Мембранні методи

Методи іонного обміну та дистиляції дозволяють майже повністю знесолити воду, проте ці методи мають низку недоліків: необхідність регенерації іонітів, дороге громіздке обладнання, висока вартість іоннообмінних смол та нано-фільтрація [19, 30].

Зворотний осмос застосовують для демінералізації води. Метод може включати одну, дві і більше ступінчасту систему очищення, залежно від цілей, і дозволяє затримувати практично до 99% іонів.

Ультрафільтрація багато в чому подібна до зворотного осмосу за способом отримання мембран і апаратного виконання, і тому є проміжною ланкою між фільтруванням і зворотним осмосом. Основна відмінність цих методів полягає в тому, що ультрафільтрацію використовують для поділу систем, у яких молекулярна маса розчинених компонентів більша за молекулярну масу розчинника.

Мікро-, ультра- та нанофільтрацію використовують для поділу водо-олійних емульсій, відділення барвників, пестицидів та гербіцидів, деяких органічних речовин, вірусів, пилу та ін.

Чим більші пори в мембрані, тим ближче процес фільтрації наближається до механічного фільтрування, за фізичним змістом.

Окрему групу займають трекові мембрани, котрі отримують опроміненням плівок потоком важких іонів. Після обробки плівки

ультрафіолетовим випромінюванням та травленням лугом у плівці утворюються пори діаметром 0,2–0,4 мкм [11].

Зворотний осмос нині широко застосовується для знесолення води, зокрема морської. Метод було відкрито у 1953 р. Перші мембрани промислового виготовлення були виконані з ацетату (і триацетату) целюлози. Надалі були виготовлені мембрани, які можна тривалий час зберігати у сухому вигляді, а також мембрани у вигляді порожнистих волокон та композитні мембрани.

Зворотний осмос застосовується для знесолення вод із вмістом солі до 40 г/л, але межі використання даного методу постійно розширюються [22, 33].

Мембранні апарати та установки. До апаратів для здійснення баромембранних процесів у промислових масштабах висувуються вимоги, що визначаються можливістю їх виготовлення та умовами експлуатації [44].

Існує чотири головні види апаратів за способом укладання мембран: «фільтр-прес» з плоскокамерними фільтрувальними елементами; з трубчастими фільтрувальними елементами; з рулонними чи спіральними елементами, що фільтрують, а також з мембранами у вигляді порожнистих волокон.

Слід зауважити, що установки складаються з великої кількості уніфікованих фільтрувальних елементів чи модулів, які з'єднуються за певною схемою [35]. Тому їх можна легко збільшувати до потрібної (будь-якої) продуктивності.

Електрохімічні методи знаходять широке застосування, коли традиційні способи механічної, біологічної та фізико-хімічної обробки води виявляються недостатньо ефективними або не можуть застосовуватися, наприклад, через дефіцит виробничих площ, складність доставки та використання реагентів та з інших причин. Крім того, у багатьох випадках електрохімічні методи унеможливають вторинне забруднення води аніонними та катіонними залишками, характерними для реагентних методів [26].

Електро-хімічне очищення води базується на електролізі, суть котрого полягає у застосуванні електричної енергії для здійснення процесів окислення та відновлення. Процес електролізу відбувається на поверхні електродів у електропровідному розчині – електроліті. Заряджені під впливом електричного струму іони рухаються у двох протилежних напрямках: катіони (позитивні іони) до катоду, аніони (негативні іони) – до аноду. На електродах аніони віддають свої зайві електрони, а катіони здобувають свої відсутні. Отже, ті та інші стають нейтральними атомами чи молекулами.

Незважаючи на те, що при електролізі протікають окислювально-відновні процеси, механізм електрохімічних реакцій дуже відрізняється від звичайних хімічних перетворень. Відмінною особливістю електрохімічних реакцій є їхній просторовий поділ на два супутні один одному процесу: розкладання речовин та отримання нових продуктів, що відбуваються на межі електрод-розчин під дією електричного струму [37].

Крім того, водночас з електродними реакціями, при електролізі відбувається зміна рН розчину та окисно-відновного потенціалу системи, фазово-дисперсні перетворення домішок води.

Описані способи є найпоширенішими методами очищення води та використовуються на централізованих станціях водопідготовки.

Окрім класичної схеми, застосовують нові технології готування води. Це передусім озонсорбція – обробка води озоном з додатковим фільтруванням крізь шар гранульованого активованого вугілля. Завдяки озонсорбції вода усуваються погані запахи та присмаки, відбувається знезараження води.

Якість питної води, котра подається споживачам, багато в чому залежить від стану міської водопровідної мережі. Перш ніж вода дійде до споживача, вона проходить багатокілометровий шлях водогоном, де в неї потрапляють солі важких металів і неорганічне залізо (іржа). Окрім того, хлор, що часом залишається у воді після очищення, в трубах починає вступати у численні реакції, утворюючи хлорорганічні сполуки. Таку воду небезпечно і пити, і

кип'ятити, оскільки хлорорганічні сполуки при нагріванні можуть утворювати дуже отруйні речовини, через те водопровідну воду радиться доочищати.

Методи підготовки води обираються відповідно до складу та якості вихідної води, які регламентуються нормативними документами. Після попереднього вибору способів очищення води аналізуються можливості та умови їх застосування, виходячи з конкретної задачі. Найчастіше результат досягається поетапним виконанням кількох методів. Таким чином, важливими є як вибір методів обробки води, так і їх послідовність.

1.4. Передумови розвитку водних енергоощадних технологій в Україні

Економічний поступ України значною мірою залежить від успішного розв'язання завдань, пов'язаних із забезпеченням енергетичними ресурсами. Невисокий рівень нафтогазової самодостатності змушує український уряд звертатися до імпорту, але у зв'язку зі зменшенням світових резервів вуглеводнів та зростанням їхньої вартості, вирішення енергетичних проблем тільки шляхом імпорту виявляється неадекватним.

Сучасний світ активно розвиває нові стратегії вирішення проблеми енергетичних ресурсів, спираючись на інноваційні методи. Ці підходи включають вдосконалення технологічних процесів для збільшення енергоефективності виробництва, розвиток систем енергозбереження та розширення виробництва енергії шляхом використання відновлюваних джерел.

У розвинутих економіках спостерігається збільшення частки енергії, виробленої з використанням поновлюваних джерел. На відміну від цього, Україна, яка є енергодефіцитною державою, має велику залежність від імпорту, а саме 75% природного газу та 85% нафти та нафтопродуктів. Така структура паливно-енергетичного балансу являє серйозну загрозу для енергетичної безпеки.

У цьому контексті одним з головних завдань України є значне зменшення неефективного використання енергоресурсів. Вирішення цієї проблеми неможливе без розробки цілеспрямованої енергетичної політики, що враховує можливості країни в області власного видобутку енергоресурсів, розвитку відновлюваної енергетики та енергозбереження, а також переходу до інновацій у виробництві.

Для досягнення цієї мети важливо аналізувати ключові аспекти задачі та розробляти ефективні стратегії, використовуючи досвід країн Європейського Союзу у сфері енергетичної політики та енергозбереження, застосування енергоощадних технологій на комунальних підприємствах.

Висока енергоємність валового внутрішнього продукту України, що майже втричі перевищує середній рівень енергоємності держав світу, виникає внаслідок значного відставання галузей економіки від міжнародних стандартів. Водночас Україна має один з найбільших потенціалів у світі щодо енергоощадження. Умови сучасного розвитку ринкової економіки ставлять перед кожним промисловим підприємством завдання щодо раціонального використання енергетичних ресурсів, зменшення екологічного впливу на навколишнє середовище, досягнення прибутковості та виконання поставлених цілей.

Рівень конкурентоспроможності підприємств на внутрішньому та зовнішньому ринках, їх ступінь незалежності й рівень розвитку визначаються показниками споживання енергії на одиницю виробленої продукції, а на рівні країни – енергоємністю ВВП. В умовах енергетичної кризи наукові зусилля зосереджені на розробці нових форм та методів, спрямованих на формування енергоефективності та реалізацію стратегій енергоощадження в промислових підприємствах.

Ефективне використання енергії є ключовим чинником для визначення рівня розвитку економіки, науки та соціокультурного поступу нації. Україна, оцінюючи цей показник, належить до групи країн, де відставання в розвитку здатне викликати серйозну економічну кризу з подальшими суттєвими

соціальними негараздами. Національна енергоємність валового внутрішнього продукту загалом перевищує ту, яка є властивою для розвинених заходів країн у 3-5 разів. Це свідчить, що виготовлені в Україні товари мають значно вищі витрати порівняно з аналогічними зарубіжними виробами.

Енергетична інтенсивність валового внутрішнього продукту (ВВП) в Україні та в окремих регіонах і країнах світу оцінюється за допомогою показників нафтового еквівалента (н.е.) та обсягу виробництва ВВП на одну особу населення (таблиця 1.3).

Таблиця 1.3 – Енергетична інтенсивність ВВП

Країна	Енергоємність ВВП (кг н.е./дол. США)	Енергоємність ВВП (кг н.е./дол. США)
Загалом світова тенденція	0,31	-
Європейський Союз	0,27	-
Японія	0,20	29,96
Франція	0,24	27,74
Німеччина	0,25	26,18
США	0,34	31,75
Польща	0,47	4,10

Отже, наразі збільшення енергоефективності у промисловому виробництві та скорочення енерговитрат в житлово-комунальному секторі України не є питанням економічної вигоди, але стає важливим чинником виживання. Розв'язання цієї проблеми дасть змогу забезпечити збалансоване платоспроможне внутрішнє споживання та імпорт енергоресурсів.

У тих державах, де є достатні власні запаси вуглеводнів, ймовірно вирішення проблеми енерговитратного виробництва і чималих витрат у житлово-комунальному секторі шляхом здешевлення цін на вуглеводні продукти. Але застосування енерговитратних методів управління є неприйнятним, оскільки видобувні галузі не одержують потрібних коштів для сталого розвитку, а навпаки, зазнають стагнації та починають занепадати. Отримання довгострокових позик для розрахунків за імпорт вуглеводнів є неможливим.

Розв'язання задачі ймовірно способом поетапного та послідовного впровадження енергоощадження, що здатне викликати економію до 1/3 енергоресурсів. Заощаджені гроші здатні бути спрямовані на оновлення застарілої технічної бази, впровадження нових технологій та поліпшення рівня життя населення.

Україна здійснила певних кроків для сприяння енергоощадженню. У 1994 році був прийнятий Закон України «Про енергозбереження» [3], котрий визначав систему організаційних, регулятивних та заохочувальних заходів для підтримки ефективного використання енергії. Для організаційного забезпечення були створені відповідні органи державного управління, такі як Державний комітет з енергозбереження (1995 р.) та Державна інспекція з енергозбереження та її територіальні підрозділи (1996 р.).

У період 1997-2000 рр. було розроблено концепцію та програму енергозбереження, враховуючи бюджетну сферу. У 2001 році у державному бюджеті було виділено кошти на втілення енергоощадних заходів у бюджетній сфері на суму 25 млн гривень. З урахуванням додаткових коштів, залучених місцевими бюджетами (24 млн грн), передбачуване скорочення бюджетних видатків на енергоресурси у закладах бюджетної сфери складало 66 млн гривень, а термін окупності цих витрат не перевищував одного року.

Беручи до уваги інтеграційний курс на європейську спільноту в нашій країні є актуальним розвиток енергоощадних технологій у всіх сферах економіки, що відповідає концепції «Зеленої книги» [4], яка розглядає основні засади нової енергетичної політики, визначає ключові завдання та методи їх вирішення. Також в ній наголошується на необхідності стабільного забезпечення країн ЄС енергією від експортерів енергоносіїв, важливості лібералізації ринку, ефективному використанні енергоресурсів і розвитку передових технологій у сфері енергетики, а також посиленні екологічних стандартів для споживання енергії.

Ситуація з ефективним застосуванням енергії є непростюю в житлово-комунальному комплексі, де застосовуються старі теплові та водопостачальні

станції із низьким коефіцієнтом корисної дії (ККД), що обслуговують зношені мережі. Це призводить до втрат енергії на рівні 45–50%. Для порівняння можна зазначити, що українські теплові електростанції із паровими турбінами мають ККД 35% (інколи навіть 25%), в той час, як у світі активно впроваджуються парогазові установки (ПГУ) з ККД від 50% до 60%.

Розбудова місцевих комунальних підприємств, дієве їхнє поточне функціонування та досягнення стратегічних завдань мають ґрунтуватися на енергоощадному способі господарювання, спрямованому на управління фінансовими, трудовими, енергетичними та іншими ресурсами для максимального використання виявлених потенціалів. Дослідження економічних процесів реалізації енергетичного потенціалу на підприємстві дозволяють збільшити рентабельність його функціонування, затвердити його позиції на ринку, знизити фінансові та операційні ризики. Такий економічний розвиток окремого комунального підприємства робить свій внесок у спільний економічний прогрес країни.

Нещодавно велика увага науковців приділяється питанням енергоощадження та підвищення енергоефективності підприємства.

У монографії Джеджули В.В. [10] запропоновано встановлювати етапи побудови енергоощадного механізму на підприємстві за такою схемою (рисунок 1.1).

Першим етапом будівництва механізму є утворення на підприємстві енергетичного менеджменту, який візьме на себе впровадження та підтримку цього проєкту. Лідером цієї групи обирається головний інженер або головний енергетик. На регулярних засіданнях обговорюються актуальні питання енергоощадження, визначається компанія, яка проведе економіко-енергетичне обстеження.

Другий етап включає утворення групи експертів, які будуть забезпечувати інформаційну підтримку обстеження. Експертні висловлення підприємства завжди враховуються енергетичними аудитором під час обстеження та в економіко-математичному моделюванні.



Рисунок 1.1 – Етапи формування механізму ресурсоощадження та енергоощадження на підприємстві

Третій етап передбачає активне впровадження енергоощадного механізму. Значну частину організаційно-економічних заходів здійснює енергоаудиторська група на підприємстві за повної підтримки від керівництва. Проводяться необхідні обстеження, заміри, розрахунки, використовуються наявні статистичні дані, фінансова звітність, результати вимірювань споживання енергоносіїв, а також порівнюються показники енергоспоживання з аналогічними підприємствами та інші аспекти.

Четвертий етап впровадження енергоощадних заходів включає реорганізацію структури підприємства та призначення відповідальних осіб за кожну групу впроваджуваних заходів. Важливо провести роз'яснювальну політику та визначити систему мотиваційних заохочень та стягнень.

П'ятий етап передбачає коригування механізму залежно від змін внутрішніх і зовнішніх умов.

Ці загальні етапи впровадження енергоощадного господарювання для комунальних підприємств більш конкретизовані у законі «Про комерційний облік теплової енергії та водопостачання» [11].

В рамках Закону України «Про енергозбереження»[] визначено ключові напрямки, що безпосередньо належать до вирішення завдань енергоощадження у житлово-комунальному господарстві:

1. Здешевлення вартості та підвищення якості житлово-комунальних послуг.
2. Забезпечення прозорості встановлення тарифів на ці послуги.
3. Збільшення джерел їх фінансування з наданням гарантій для соціально незахищених верств населення.
4. Розробка фінансових механізмів впровадження ресурсощадних технологій з метою здешевлення вартості житлово-комунальних послуг та відповідного зниження тарифів.
5. Сприяння залученню інвестицій для розвитку організацій, що обслуговують і ремонтують об'єкти житлово-комунального господарства.
6. Удосконалення механізму фінансування та кредитування житлово-комунального господарства для забезпечення виконання цільових програм енергоощадження, впровадження передової техніки та технологій.

Слід зауважити, що темпи зменшення енергоємності валового внутрішнього продукту залишаються повільними через млявість у впровадженні енергоощадних заходів. Зокрема, це стосується комунального сектора економіки України - водопровідно-каналізаційних підприємств. Значний фізичний знос основних фондів (65-70%) та зростання питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів на одиницю продукції та послуги є причиною цього низького темпу зменшення енергоємності [13].

Житлово-комунальне господарство посідає третє місце в Україні за обсягами споживання ресурсів та енергоносіїв, стоячи позаду металургійної та хімічної промисловості, і посідає перше місце за споживанням тепла. Однак через технічні негаразди та застарілі технології, до 30-40% спожитих ресурсів витрачається даремно. Стимулів до раціонального використання енергії наразі не досить.

У сфері ресурсоощадження та енергоощадження для успішного ведення господарювання необхідно враховувати різні технічні, організаційні та економічні особливості. Кожне підприємство, зокрема у сфері водопостачання та водовідведення, повинно вирішувати завдання щодо ефективного використання внутрішніх ресурсів та залучення зовнішніх інвестицій у сферу енергоощадження. Цей процес базується на системній роботі, яка включає глибокий енергоаудит, розробку та докладне економічне обґрунтування проєктів для модернізації технологій та впровадження інноваційної техніки.

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 [17]. Тому технології водопідготовки з повторним використанням промивних вод є вагомим внеском для ресурсоощадження та енергоощадження у водопровідному господарстві.

На рівні виконавців проєктів також існує невпевненість в адекватному винагородженні за їхню роботу. Однією з основних проблем у розвитку енергозбереження у житлово-комунальній сфері є відсутність законодавчого регулювання щодо взаємної відповідальності місцевих органів влади, керівників комунальних підприємств та виконавців на всіх етапах впровадження енергоощадних заходів. В рамках Спільної програми «Сприяння стратегічному плануванню та фінансуванню сталого розвитку на національному та регіональному рівнях в Україні» передбачені комплексні заходи, спрямовані на підтримку уряду України у формуванні спільних підходів до управління фінансовими потоками та впровадження реформ, пов'язаних із фінансуванням Порядку денного у сфері сталого розвитку до 2030 року [19]. Воєнні події внесли негативні корективи у цей процес. Для подолання цих труднощів і досягнення значного підвищення енергоефективності важливо вдосконалювати законодавство з

енергозбереження, встановити ефективну систему тарифів на воду і водовідведення, що сприятиме реальному впровадженню ресурсоощадних заходів та енергозбереження, розробити механізми впровадження ресурсозберігаючих технологій та впровадити систему енергетичного менеджменту, енергетичні паспорти та системні енергоаудити на підприємствах. Екологічна складова також є важливим стимулом впровадження енергоощадних технологій, зокрема застосування промивних вод для власних потреб станцій водопідготовки. Закордонні фахівці [20] також вважають, що екологічні та фінансові мотиви господарювання впливають на інвестиції в енергоощадні технології. Дефіцит водних ресурсів спонукає розглядати питання про можливість використання очищених стічних вод для питних потреб [21, 22] Важливо відзначити, що ресурсоощадження та енергозбереження в кінцевому підсумку може значно поліпшити економічний стан як окремих підприємств, так і національної економіки в цілому.

Розділ 2

Розрахунок продуктивності станції водопідготовки міста

2.1. Вихідні дані для розрахунку станції водопідготовки

2.1.1. Характеристика забудови населеного пункту

За рівнем інфраструктури та типом забудови територія міста може бути поділена на два райони. Перший район включає в себе 5-поверхові будинки з внутрішнім водопроводом, каналізацією та ваннами з місцевими водонагрівачами. Другий район характеризується переважно наявністю 9-поверхової забудови, де будинки мають внутрішній водопровід, каналізацію і централізоване гаряче водопостачання. У місті функціонують два промислових підприємства, їх характеристики наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1–Характеристика підприємств

Назва підприємства	Витрата води на од. продукції	Продуктивність	Витрата води на виробництво	Кількість працюючих по змінах			Категорія пожежної безпеки
	м ³ /т			т/доб	м ³ /доб	1	
№1(завод санітарно-технічного обладнання)	3,5	1000	3500	600	400	-	ПА,Б
№2 (рибообробний комбінат)		521	12000	600	500	-	Ш В

Кількість населення в кожному районі міста обчислено по формулі:

$$N_i = P_i \times F_i \quad (2.1)$$

де P_i – густина населення, чол/га;

F_i – площа і-го району.

$$N_1 = 179.36 \times 210 = 37665 \text{ чоловік}$$

$$N_2 = 261.35 \times 450 = 117608 \text{ чоловік}$$

2.1.2. Характеристика джерела водопостачання та умов водозабору

Джерелом водопостачання є природний водотік – річка, характеристика води в якому представлена у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Характеристика джерела водопостачання

Показник	Одиниця виміру	Значення показника
Мутність	мг/л	140
Кольоровість	град	75
pH		7,8
Вміст:		
- кальцію Ca^{2+}	мг-екв/л	5,2
- магнію Mg^{2+}	мг-екв/л	1,7
- хлору Cl^-	мг/л	75,8
- сульфатів SO_4^{2-}	мг/л	98,6
- натрію, калію Na^+, K^+	мг/л	26
- сухий залишок	мг/л	550
- фтор F^-	мг/л	0,75
Твердість	мг-екв/л	4,0
Лужність	мг-екв/л	4,0
Температура	С	20

Умови забору води визначені відповідно до [24] з урахуванням наступних показників:

Витрата води:

- максимальна $18 \text{ м}^3/\text{с}$

- мінімальна $12 \text{ м}^3/\text{с}$

Швидкість води в річці

- максимальна $0,5 \text{ м/с}$

- мінімальна $0,3 \text{ м/с}$

Рівень води в річці

- зимовий $47,6 \text{ м}$

- літній 45,1м

- в паводок 49м

Гідравлічна крупність наносів 6,9 мм/с

Товщина льоду 0,7 м

Висота хвилі 0,5 м

Ґрунти, що складають берег річки:

-до 3 м пісок

-до 6 м супісок

-більше 6 м суглинок

Якісний склад води:

- каламутність 140 мг/л

- кольоровість 75 град

- лужність 4 мг-екв/л

Враховуючи каламутність води 140 мг/л, що менше зазначених 500 мг/л [24, табл.11], відсутність внутрішньоводного льодоутворення, льодостав помірної потужності (до 0,8 м) - умови забору води можна віднести до легких.

2.1.3. Розрахунок добових витрат води для населеного пункту

У місті воду використовують для господарсько-питних потреб населення, поливу вулиць та зелених насаджень, а також для задоволення потреб промислових підприємств. Для обох районів визначається окрема кількість води, що витрачається на господарсько-питні потреби та полив. Середньодобова витрата води для і-го району розраховується за наступною формулою, вираженою в метрах кубічних на добу:

$$Q_{\text{добі}} = N_i \times q_i / 1000 \quad (2.2)$$

де q_i - питоме водоспоживання на одну людину, л/доб

Розрахункові витрати води для окремих районів у добу найбільшого та найменшого водоспоживання, м³/доб, визначені за формулами:

$$Q_{\text{доб.максі}} = K_{\text{доб.максі}} \times Q_{\text{доб}} \quad (2.3)$$

$$Q_{\text{доб.міні}} = K_{\text{доб.міні}} \times Q_{\text{доб}} \quad (2.4)$$

де $K_{\text{доб.максі}}$, $K_{\text{доб.міні}}$ – відповідно максимальний і мінімальний коефіцієнт добової нерівномірності водоспоживання і-го району

Результати розрахунків добових витрат води представлені у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Добові витрати води на господарсько-питні потреби населення

№	Кількість мешканців чол.	q, л/доб люд	$K_{\text{доб.макс}}$	$K_{\text{доб.мін}}$	$Q_{\text{доб.макс}}$	$Q_{\text{доб.мін}}$	$Q_{\text{доб.сер.}}$
1	37665	230	1,2	0,8	10395	6930	8663
2	117608	285	1,18	0,75	39549	25137	33516
Усього	155273				49944	32067	42179

Добова кількість води, яка використовується для поливу вулиць та зелених насаджень, визначається на основі питомих витрат води на одного мешканця [24, табл. А2], які застосовуються для міст з населенням в діапазоні від 50 тис. до 250 тис. осіб, знаходячись у II кліматичному районі. Для всіх районів приймається, що питома витрата води на полив одного мешканця становить 65 літрів на добу. Загальна кількість використаної води розподіляється так: 40% використовують двірники, а 60% – поливальні машини. Розрахунок витрат води на полив вулиць і зелених насаджень представлено в таблиці 2.4

Таблиця 2.4 – 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%
1	37665	65	2448	979,2	1468,8
2	117608	65	7645	3058	4587

Усього	155273		10093	4037,2	6055,8
--------	--------	--	-------	--------	--------

На промислових підприємствах вода використовується для задоволення господарсько-питних потреб робітників, приймання душу та виробничих потреб, які визначаються з урахуванням технологічних вимог. Питоме водоспоживання для цехів із тепловиділенням, яке перевищує 80 кДж (20 ккал) на 1 м³ /год (гарячі цехи), приймається на рівні 45 літрів на одну людину. Для інших цехів ця величина складає 25 літрів на людину. Розрахунок витрат води на промислових підприємствах наведено у табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Витрати на господарсько-питні потреби робітників

Зміна	Кількість робітників	Гарячі цеха			Холодні цеха			Загальна витрата
		Кількість робітників, чол.	Пито ма витра та, л/зм чол	Витрата води, м ³	Кількість робітників, чол.	Пито ма витра та, л/зм чол	Витрата води, м ³	
Підприємство 1								
1	600	60	45	2,7	540	25	13,5	16,20
2	400	40		1,8	360		9	10,80
	1000	100		4,5	900		22,5	27,00
Підприємство 2								
1	600	240	45	10,8	360	25	9	19,8
2	500	200		9	300		7,5	16,5
	1100	440		19,8	660		16,5	36,3

Витрата води на користування душем на промпідприємстві:

$$Q = 0,5 \sum N_i / n_i \quad (2.5)$$

де 0.5 – годинна витрата води на одну душову сітку, м³; N_i – кількість робітників у цехах з i-ою характеристикою виробничого процесу; n_i – розрахункова кількість людей на одну душову сітку для i-ої санітарної характеристики виробничого процесу [2]. Результати у табл.2.6.

Підприємство 1 використовує 3,5 м³ води на 1т продукції, виготовляє 1000 одиниць продукції за добу, таким чином, добова витрата води складає 3500 м³. Комбінат 2 використовує 23 м³ води на 1 т продукції, при 446,5 т продукції за добу, добова витрата води складає 10270 м³. Населення міста більше 100 тис. чол. і площа підприємства менше 150 га [1, 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 [1, табл.3]. Витрата на зовнішнє пожежегасіння на комбінаті 1 зі ступенем вогнестійкості будинків І і категорією виробництва за пожежною безпекою А і Б при об'ємах будинків від 5 до 20 тис. м³ складає 15 л/с; на рибокомбінаті зі ступенем вогнестійкості будинків ІІІ і категорією виробництва за пожежною безпекою В при об'ємах будинків від 3 до 5 тис. м³ – 15 л/с [1, табл.5].

Таблиця 2.6 –Розрахунок витрат води на приймання душу

Назва	Зміна			Група процесу	Кількість робітників на 1 сітку	Кількість сіток			Витрата води, куб. м		
	1	2	3			1	2	3	1	2	3
Підприємство 1											
Гарячий цех	60	40		Іб	7	9	6		4,5	3	7,5
Холодний цех				Іа	15	36	24		18	12	30
Усього									22,5	15	37,5
Підприємство 2											
Гарячий цех	240	200		Іб	7	34	29		17	14,5	31,5
Холодний цех	360	300			15	24	20		12	10	22
Усього	600	500							19	24,5	43,5

Загальна витрата на пожежегасіння визначається за формулою:

$$Q_n = n(q_{зов} + q_{вн}) + 0.5q_{нід} \quad (2.6)$$

де $n_{\text{п}}$ – кількість одночасних пожеж;

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

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

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

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

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

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

2.2. Аналіз режиму водоспоживання населеного пункту

Максимальний коефіцієнт годинної нерівномірності i -го району визначається по формулі:

$$K_{\text{год } i} = \alpha_i \beta_i, \quad (2.7)$$

де α – коефіцієнт, що враховує ступінь благоустрою будинків, $\alpha_1 = 1,2$; $\alpha_2 = 1,21$ [24, п. 6.1.2];

β – коефіцієнт, що враховує число мешканців у відповідному районі, $\beta_1 = 1,18$; $\beta_2 = 1,1$ [24, п. 6.1.2].

$$K_{\text{год } 1} = 1,2 \times 1,18 = 1,42,$$

$$K_{\text{год } 2} = 1,21 \times 1,1 = 1,33$$

Розрахункові витрати показані у таблиці 2.7.

19-20	18-19	17-18	16-17	15-16	14-15	13-14	12-13
4,60	4,7	4,6	4,9	4,60	4,6	4,4	4,6
478,20	488,60	478,20	509,40	478,20	478,20	457,40	478,20
4,4	4,5	4,25	4,5	4,55	4,4	4,3	4,5
1740,2	1779,7	1680,8	1779,7	1799,5	1740,2	1700,6	1779,7
97,9	97,9	97,9					
104,9	104,9	104,9	104,9	104,9	104,9	104,9	104,9
305,8	305,8	305,8					
327,6	327,6	327,6	327,6	327,6	327,6	327,6	327,6
12,05	12,05	12,05	12,05	12,05	12,05	12,05	12,05
0,22	0,22	0,22	0,28	0,32	0,32	0,32	0,32
12,5	12,5	6,25	18,75	12,5	12,5	6,25	18,75
1,12	1,13	0,57	2,69	1,69	1,69	0,84	2,53
				37,5			
145,8	145,8	145,8	145,8	145,8	145,8	145,8	145,8
12,05	12,05	12,05	12,05	12,05	12,05	12,05	12,05
1,08	1,08	1,08	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3
12,5	12,5	6,25	18,75	12,5	12,5	6,25	18,75
0,94	0,94	0,46	1,4	1,13	1,12	0,56	1,68
			43,5				
427,9	427,9	427,9	427,9	427,9	427,9	427,9	427,9
3631,76	3681,67	3571,43	3381,27	3288,44	3229,13	3167,42	3270,13
4,91	4,97	4,82	4,57	4,44	4,36	4,28	4,42

Усього	23-24	22-23	21-22	20-21
100	2,6	3,7	4,2	4,4
10395,0	270,10	384,60	436,60	457,40
100	3,5	4,2	4,5	4,4
39549	1384,2	1661,1	1779,7	1740,2
979		97,9	97,9	97,9
3058	305,8	305,8	305,8	305,8
200	12,05	12,05	12,05	12,05
4,5	0,23	0,22	0,22	0,22
200	12,5	12,5	6,25	18,75
22,5	1,13	1,13	0,56	1,69
75				
3500	145,8	145,8	145,8	145,8
200	12,05	12,05	12,05	12,05
19,9	1,08	1,08	1,08	1,08
200	12,5	12,5	6,25	18,75
16,5	0,94	0,94	0,47	1,4
87				
10270	427,9	427,9	427,9	427,9
74032,25	2231,60	3026,67	3196,24	3179,59
100	3,1	4,1	4,28	4,28

2.3. Створення принципової схеми системи водопостачання

Водозабірні споруди розташовані вздовж берега водотоку. Вони та очисна станція знаходяться у верхній частині проти течії на відстані 2,6 км від межі житлової забудови. Насосна станція другого підйому розташована на території станції водопідготовки. Розташування основних компонентів системи водопостачання зображено на рисунку 2.1. За допомогою водозабірної споруди 1 вода забирається з джерела і подається насосами першого підйому 2 по водопроводам 3 до очисних споруд 4. Очищена вода потрапляє в резервуари чистої води 5, з яких насосами другого підйому 6 по водопроводах 7 подається у міську водопровідну мережу 8. Передбачено встановлення водонапірної башти 9

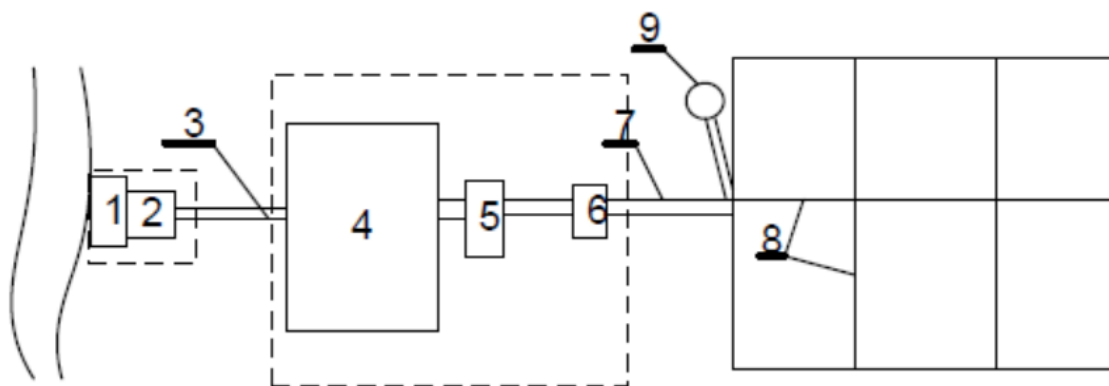


Рисунок 2.1 – Принципова схема системи водопостачання

Розділ 3

Розрахунки енергоощадної технології водопідготовки

3.1. Розробка водозабірних споруд

Місце водозабору обрано на достатньо крутому схилі, берег обривистий і необхідні глибини для забору води знаходяться близько від берега, тому до розрахунку приймаються водозабірні споруди берегового типу.

Шугольодовий режим оцінюється по критеріальним швидкостям. Так як швидкість течії при транспорті шуги $V = 0.5 \leq 0.5i / \text{ї}$ (перша критеріальна швидкість), то шугольодові ускладнення виключаються, тому що шуга спливає на поверхню води.

При другій критеріальній швидкості шуга транспортується не тільки по поверхні води, але може частково занурюватись під лід. Друга критеріальна швидкість визначається за формулою:

$$V_{k2} = 0.7 + 0.06H_p \quad (3.1)$$

де H_p – розрахункова глибина потоку при шугоході, м:

$$H_p = 0,7 \times H_{\text{макс}} \quad (3.2)$$

де $H_{\text{макс}}$ – максимальна глибина води в річці, м.

$$H_p = 0,7 \times 9 = 6.3\text{м},$$
$$V_{k2} = 0.7 + 0.06 \times 6.3 = 1,08\text{м/с}.$$

Так як швидкість в річці меша другої критеріальної швидкості, то ускладнень забору води через шугу не буде.

Водозабірну споруду за надійністю можна віднести до I категорії згідно із [24, п.8.4, табл.8]. Згідно із [24, табл.11] умови забору води можна характеризувати як легкі, враховуючи каламутність 140 мг/л (що ≤ 500 мг/л), товщину криги ≤ 0.8 ($h_{\text{кр}} = 0,7\text{м}$).

У руслі ріки в місці прийому води встановлюється оголовок - водоприймальна споруда, від якої вода по самопливним водоводам надходить у береговий колодязь.

Приймається бетонний оголовок у металевому кожусі. Оголовок обладнаний ґратами, сумарна площа яких визначається по формулі:

$$\Omega_{cp} = 1,25 \times q_p \times K_{cm} / V_{вт} \quad (3.3)$$

де q_p – розрахункова витрата оголовку, $q_p = 0,814 \text{ м}^3/\text{с}$;

$V_{вт}$ – швидкість втікання води у водоприймальні отвори [24, п.5.95], м/с;

$K_{ст}$ – коефіцієнт, що враховує стиснення отворів стержнями ґрат:

$$K_{cm} = (a_{cm} + c_{cm}) / a_{cm} \quad (3.4)$$

де $a_{ст}$ – відстань між стержнями в просвіті, мм;

$c_{ст}$ – товщина стержнів, мм.

$$K_{cm} = (100 + 12) / 100 = 1,12,$$

$$\Omega_{cp} = 1,25 \times 0,814 \times 1,12 / 0,2 = 5,7 \text{ м}^2$$

Приймаються 4 стандартні ґрати розміром 1200×1400 . Площа вікна однієї ґрати – $1,68 \text{ м}^2$.

Оголовок встановлюється на мінімальній відстані від урізу води при рівні низьких вод, де глибина достатня для дотримання умови:

$$H_{мін} = 2,0 + 0,5h_p + 0,5h_v + 0,8 \quad (3.5)$$

де h_p – висота прийнятих ґрат, м;

h_v – висота хвилі, м.

$$H_{мін} = 2,0 + 0,5 \times 1,52 + 0,5 \times 0,5 + 0,8 = 3,81 \text{ м}$$

Довжина самопливних ліній дорівнює відстані між оголовком та береговим колодязем. Місце розташування берегового колодязя вибрано на позначці, що перевищує позначку рівня верхніх вод на величину, не менше, м:

$$H_k = 0,5 \times h_g + 0,5 \quad (3.6)$$

$$H_k = 0,5 \times 0,5 + 0,5 = 0,75 \text{ м}$$

Береговий колодязь встановлюється на позначці 65,0 м, що на 1 м вище рівня верхніх вод, тоді довжина самопливних ліній становить $l = 100\text{ м}$. До розрахунку приймаються дві самопливні лінії (обидві робочі), витрата однієї дорівнює:

$$q = 0.814/2 = 0.41\text{ м}^3/\text{с}$$

З огляду на швидкості, що рекомендовані [24,табл.14], приймаються самопливні лінії $D=600\text{ мм}$, $v=1,38\text{ м/с}$, $1000i=3,8$.

Незамулюваність самопливних ліній перевіряється за формулою:

$$\rho \leq 0,11 \left(1 - \frac{\sigma_{\text{сєр}}}{u_1}\right)^{4,3} V_{\text{сєр}}^3 (g \times \sigma_{\text{сєр}} D) \quad (3.7)$$

де ρ – мутність води водойми, кг/м^3 ;

$\sigma_{\text{сєр}}$ – середньозважена гідравлічна крупність часток, м/с ;

$V_{\text{сєр}}$ – середня швидкість руху води в трубопроводі. м/с ;

D – діаметр самопливної лінії, мм ;

u_1 – швидкість, яка визначається за формулою:

$$u_1 = \sqrt{g} \times V_{\text{сєр}} / C, \quad (3.8)$$

де C – коефіцієнт Шезі:

$$C = (D/4)^{4,3} / n \quad (3.9)$$

де n – коефіцієнт шорсткості, для «забруднених» водопровідних труб приймається - 0,014.

$$C = (600/4)^{4,3} / 0.014 = 0.02$$

$$u_1 = \sqrt{9.81} \times 1.38 / 0.02 = 216.1$$

Тоді:

$$\rho \leq 0,11 \cdot \left(1 - \frac{0.1}{216.1}\right)^{4,3} \cdot 1.38^3 / (9.81 \times 0.1 \times 0.6) = 0.49$$

$0,14 \leq 0,49$, тобто у самопливних лініях розрахункова швидкість при нормальній роботі забезпечує їх замулюваність.

Повні втрати напору у самопливних лініях визначаються за формулою:

$$h = i \times L + \left(\sum \xi \times V_s^2 / 2g\right) \quad (3.10)$$

де ξ – коефіцієнт місцевого опору; L – довжина самопливної лінії, м; V – швидкість руху води в самопливній лінії, м/с

$$h = 0.0038 \times 100 + (1.1 \times 1.38^2 / 2 \times 9.81) = 0.5 \text{ м.}$$

Розрахунок сіток ведеться аналогічно розрахунку ґрат оголовка. Сумарна площа сіток визначається за формулою (2.1). При цьому швидкість руху води в отворах сітки приймається не більше 1 м/с. Коефіцієнт стиснення визначається за формулою:

$$K_{cm} = [(a_{cm} + c_{cm}) / c_{cm}]^2 \quad (3.11)$$

$$K_{cm} = [(1,2 + 2) / 2]^2 = 2,56$$

Загальна площа сіток визначається за формулою:

$$\Omega_{сіток} = 1,25 \times 0,814 \times 2,56 / 0,25 = 10,4 \text{ м}^2$$

До установки приймається 4 плоскі сітки площею 3,0 м² кожна з розмірами в плані 1500×2000 мм.

Водозабірна споруда, суміщена з насосною станцією I-го підйому. Розрахункова витрата напірного водоводу становить:

$$Q_{н.в.} = Q_{\text{макс. н.ст.}} / n_{н.в.}$$

де $n_{н.в.}$ – кількість напірних водоводів, шт.

$$Q_{н.в.} = 0,814 / 2 = 0,41 \text{ м}^3/\text{с}$$

Згідно із таблицями для гідравлічного розрахунку приймається напірний водовід з наступними характеристиками: $D=500$ мм; $V=1.96$ м/с; $1000i=9,72$.

Втрати напору в напірному водоводі:

$$h_{н.в.} = 1,1 \times i \times L = 1.1 \times 0.00972 \times 600 = 6.4 \text{ м.}$$

Розрахункова витрата всмоктувального водоводу:

$$Q_{с.с.} = 0,814 / 2 = 0,41 \text{ м}^3/\text{с}$$

Згідно із таблицями для гідравлічного розрахунку приймається всмоктувальний водовід з наступними характеристиками: $D=600$ мм; $V=1.38$ м/с; $1000i=3,8$.

Необхідний напір насосів складе:

$$H = H_{ст.} + h_{в.в.} + h_{н.с.} + h_{вдм} + h_{н.в.} + h_{вил} \quad (3.12)$$

де $H_{ст.}$ – статичний напір, тобто різниця позначок рівнів води у змішувачі та біля всмоктувальних водоводів у приймальному відділенні берегового колодязя, $H_{ст.} = 15,3$ м;

$h_{н.с.}$ – втрати напору у всмоктувальних та напірних трубопроводах насосної станції, $h_{н.с.} = 2,0$ м;

$h_{вдм}$ – втрати напору у водомірі, $h_{вдм} = 1,5$ м;

$h_{н.в.}$ – гідравлічні втрати у напірному водоводі, $h_{н.в.} = 6,4$ м;

$h_{вил}$ – запас напору на вилив, $h_{вил} = 0,5$ м.

$$H = 15.3 + 2 + 1.5 + 6.4 + 0.5 = 25.7 \text{ м}$$

До установки приймаються насоси марки Д2000-34 (2 робочих та 2 резервних):

-витрата 420 л/с;

-напір 37,0 м;

-потужність насосу 180 кВт;

-частота обертання робочого колеса - 730 хв⁻¹.

Для видалення дренажної води встановлюється насос ВКс 4/24, для видалення осаду із приймальних камер-насос СД-16/25.

В якості вантажопідйомного обладнання приймається кран-балка з електроприводом вантажопідйомністю 3,2 т і кран мостовий радіальний вантажопідйомністю 5,0 т

Визначення розмірів берегового колодязя по висоті починається з визначення позначок рівнів води у приймальному відділенні та у відділенні всмоктувальних труб. Позначка рівня води в приймальному відділенні визначена по формулі:

$$Z_{в.пр.} = Z_{РНВ} - \sum h \quad (3.13)$$

де $Z_{рнв}$ – позначка низького рівня води в джерелі, м; $\sum h$ – сумарні втрати в самопливних лінії при відключенні другої лінії:

$$\sum h = 1.1 \times 0.00842 \times 100 = 0.93 \text{ м},$$

$$Z_{в.пр.} = 60.1 - 0.93 = 59.2 \text{ м}.$$

Позначка рівня води у відділенні всмоктувальних труб:

$$Z_{в.вс.} = Z_{в.пр.} - h_c \quad (3.14)$$

де h_c – втрати напору в сітках, $h_c = 0,1$ м

$$Z_{в.вс.} = 59.2 - 0,1 = 59.1 \text{ м}.$$

Так як кінці самопливних ліній обладнані засувками, то позначка дна приймального відділення становить:

$$Z_{д.пр.сід.} = Z_{в.пр.} - Z_c - D_c - h_1 \quad (3.15)$$

де Z_c – глибина занурення самопливних ліній під рівень води, 0,5 м;

D_c – діаметр самопливних ліній, м;

h_1 – запас на накопичення осаду, $h_1 = 0,8$ м

$$Z_{д.пр.сід.} = 59.2 - 0,5 - 0,6 - 0,8 = 57.3 \text{ м}$$

Для забезпечення пропуску води через сітки позначка дна приймального відділення при використанні плоских сіток повинна бути:

$$Z_{д.пр.сід.} = Z_{в.пр.} - H_c - 0.5 \quad (3.16)$$

де H_c – висота сітки, м

$$Z_{д.пр.сід.} = 59.2 - 2.13 - 0,5 = 56.6 \text{ м}$$

Позначка дна відділення всмоктувальних труб при горизонтальному їх розташуванні:

$$Z_{д.від.вс.} = Z_{в.вс.} - 3.8 D_{вх} = Z_{в.вс.} - 5,7 D_{вс} \quad (3.17)$$

де $D_{вс}$ – діаметр всмоктувального трубопроводу, м

$$Z_{д.від.вс.} = 59.1 - 5,7 \times 0,6 = 55.7 \text{ м}.$$

За розрахункову позначку дна берегового колодязя приймається 55,7 м, глибина колодязя $65,0 - 55,7 = 9,3$ м.

Для запобігання забрудненню та забезпечення населення якісною господарсько-питною водою створюються зони санітарної охорони джерел водопостачання та водозабірних споруд.

Перший пояс санітарної охорони поверхневого джерела включає в себе ділянку річки в місці забору води та територію, де розташовані водозабірні споруди. Ця територія обгороджена парканом та є зеленою зоною. Тут заборонені будівництво, скидання стічних вод, риболовля та використання отрутохімікатів. Акваторія першого поясу обмежена позначеннями.

Межі першого поясу зони санітарної охорони такі:

- уздовж течії вгору – не менше 200 м від водозабору;
- уздовж течії вниз – не менше 100 м від водозабору;
- вздовж берега, що прилягає до водозабору - не менше 100 м від лінії урізу води при найвищому її рівні;
- від берега в напрямку до водоймища – не менше 100 м.

Другий пояс санітарної охорони охоплює джерело водопостачання та басейн, з якого воно живиться. Це включає території і акваторії, які можуть впливати на якість води у джерелі. Межа другого поясу на річці уверх за течією визначається за формулою:

$$L_2 = v \times t \quad (3.18)$$

де v – швидкість руху води в річці, м/с;

t – час добігання води від межі поясу до водозабору при середньомісячній витраті води у літньо-осінню межень при 95% забезпеченості.

$$L_2 = 0,5 \times 3 \times 24 \times 3600 = 129600 \text{ м} \approx 129,6 \text{ км.}$$

Униз за течією - не менше 250 км, бокові межі- по водорозділу.

Межі третього поясу джерела приймаються уверх та униз за течією, або у всі сторони акваторії водойми такими ж, як і для другого поясу.

Контроль за зонами санітарної охорони поверхневих джерел водопостачання та водозабірних споруд здійснюється органами Державного санітарного нагляду.

3.2. Вибір методу обробки води та визначення прогнозованих витрат

Відповідно до рекомендацій [24, табл.15] вибрано метод та схему обробки води з урахуванням якості води в джерелі водопостачання, призначення водопроводу, продуктивності станції та місцевих умов. Для господарсько-питного водопостачання на очисних спорудах, що використовують річкову воду, вода освітлюється, знебарвлюється, усуваються запахи та привкуси води.

Відповідно до основних показників якості вихідної води: вміст завислих речовин 140 мг/л, кольоровість 85 град і з огляду на необхідну продуктивність очисних споруд 70358,4 м³/доб, до розробки приймається схема з горизонтальними відстійниками та швидкими фільтрами (рис. 3.1), метод обробки води - із застосуванням коагулянту. Продуктивність станції з урахуванням витрати води на власні потреби в кількості 4% становить:

$$Q = 70358.4 \times 1,04 = 73172.7 \text{ м}^3/\text{доб} = 3048.9 \text{ м}^3/\text{год} = 846.9 \text{ л/с}$$

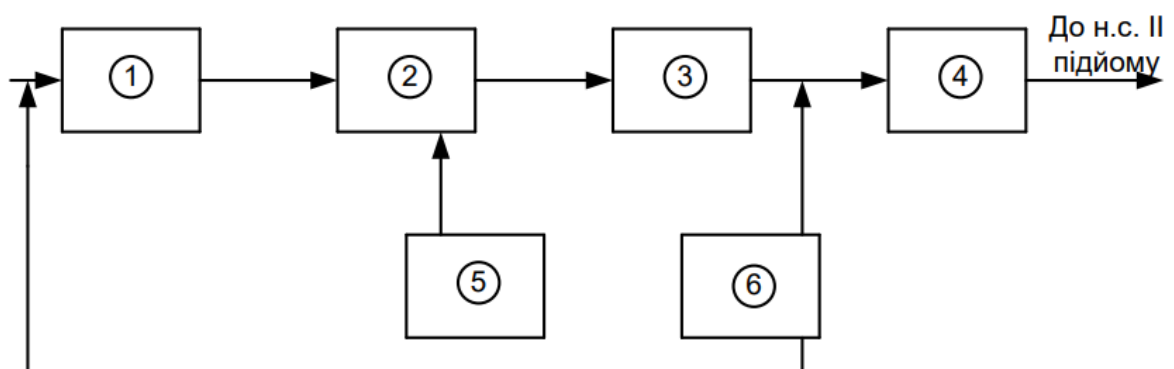


Рисунок 3.1– Принципова схема очисних споруд

1–змішувач; 2–горизонтальний відстійник з камерою пластівцеутворення;
3–швидкі фільтри; 4–резервуар чистої води; 5–реагентне господарство;
6–хлораторна установка

3.3. Розробка технології реагентної обробки води

Дозу коагулянту, $D_{к.}$, мг/л, розраховуючи на $Al(SO_4)_3$ по безводній речовині, допускається приймати при обробці мутних вод за табл. 16 [24]:

$$D_{к.} = 34 \text{ мг/л}$$

Доза коагулянту при обробці кольорових вод визначається за формулою:

$$D_{к.} = 4\sqrt{Ц} \quad (3.19)$$

де $Ц$ – кольоровість води, град.

$$D_{к.} = 4\sqrt{85} = 36,9 \text{ мг/л.}$$

При одночасному вмісті у воді завислих речовин і кольоровості приймається більша із доз - $D_{к.} = 36,9$ мг/л.

Дози підлужнюючих реагентів, $D_{луж.}$, мг/л, необхідних для поліпшення процесу пластівцеутворення, визначаються за формулою:

$$D_{луж.} = K_{луж.} (D_{к.} / e_{к.} - Щ_0 + 1) \quad (3.20)$$

де $D_{к.}$ – максимальна в період підлужнення доза безводного коагулянту, мг/л;

$e_{к.}$ – еквівалентна маса коагулянту, мг-екв/л;

$K_{луж.}$ – коефіцієнт, прийнятий рівним для вапна (по CaO)-28;

$Щ_0$ – мінімальна лужність води, мг-екв/л.

$$D_{луж.} = 28(36,9/57 - 3,4 + 1) = -49,1 \text{ мг/л.}$$

Отримане число зі знаком “-” вказує на те, що підлужнення не потрібне.

Перед визначенням стабільності води перераховуються всі концентрації йонів в одиниці міліграм-еквівалент на літр

$$HCO_3^- = 4,4 + 2,0 + 0,78 - 1,62 - 2,23 = 3,33 \text{ мг-екв/л}$$

$$Ca(HCO_3)_2 = 33 * 81 = 269,73 \text{ мг/л}$$

$$CaSO_4 = 1,07 * 68 = 72,76,$$

$$MgSO_4 = 1,16 * 60,15 = 69,77 \text{ мг/л,}$$

$$Mg Cl_2 = 0,84 * 47,65 = 40,03 \text{ мг/л,}$$

$$\text{NaCl} = 0,78 * 58,5 = 45,63 \text{ мг/л}$$

Сума солей складає 495,5, що відповідає аналітично визначеному значенню.

Визначається вміст двоокису вуглецю у вихідній воді, мг/л:

$$CO_2 = \frac{44 \times Щ}{K_1 \times 10^{pH + \sqrt{\mu}}} \quad (3.21)$$

де Щ –вихідна лужність, мг-екв/л;

K_1 –константа першого ступеня дисоціації вугільної кислоти,

$$\text{При } t^0 = 0^0\text{C} \quad K_1 = 2,61 \times 10^{-7}$$

$$\text{при } t^0 = 20^0\text{C} \quad K_1 = 4,05 \times 10^{-7}$$

$$\mu = 0,000022 \times 495,5 = 10,9 \times 10^{-3} \quad (3.22)$$

$$CO_2^{злм} = \frac{44 \times 3,4}{2,61 \times 10^{-7} \times 10^{7,8 + \sqrt{10,9 \times 10^{-3}}}} = 7,14 \text{ мг/л}$$

$$CO_2^{лім} = \frac{44 \times 3,4}{4,05 \times 10^{-7} \times 10^{7,8 + \sqrt{10,9 \times 10^{-3}}}} = 4,6 \text{ мг/л}$$

Концентрація у воді вільної вуглекислоти після коагуляції визначається за формулою:

$$(CO_2)_{віль} = CO_2 + 44 * D_k / e_k, \quad (3.23)$$

$$(CO_2)_{віль}^{злм} = 7,14 + 44 * 37/57 = 35,7 \text{ мг/л}$$

$$(CO_2)_{віль}^{лім} = 4,6 + 44 * 37/57 = 33,2 \text{ мг/л}$$

Лужність води після коагуляції дорівнює:

$$Щ_k = Щ_0 - D_k / e_k, \quad (3.24)$$

$$Щ_k = 3,4 - 37/57 = 2,75 \text{ мг-екв/л}$$

За номограмою рис.2 додатку 5 [24] визначається рН₀ - водневий показник після введення у воду коагулянту при рН=7,8, солевмісті Р=0,49 мг/л, лужності Щ=2,75 мг-екв/л:

$$pH_0^{эит} = 7.0; pH_0^{эилм} = 7.3.$$

По номограмі рис.1 додаток 5 [24] визначається pH_s - водневий показник в умовах насичення води карбонатом кальцію при $pH=7,8$, солевмісті $P=0,49$ мг/л, лужності $Щ=2,75$ мг-екв/л, вмісті кальцію Ca^{2+} -88 мг/л:

$$pH_s^{эит} = 7.43; pH_s^{эилм} = 7.8$$

Визначається індекс насичення карбонатом кальцію:

$$J = pH_0 - pH_s \quad (3.25)$$

$$J_{эит} = 7,0 - 7,43 = -0,43$$

$$J_{эилм} = 7.3 - 7.8 = -0.5$$

Одержані значення індексу насичення мають знак “-“ , тобто для одержання стабільної води необхідна її обробка лужними реагентами.

Передбачається обробка води вапном. Доза вапна визначається за формулою:

$$D_e = 28\beta_{вих}K_tЩ \quad (3.26)$$

де $\beta_{вих}$ —коефіцієнт, що визначається за номограмою рис.4, дод.5 [24];

K_t —коефіцієнт, що залежить від температури води: при $t=200C$ $K_t = 1$;

$Щ$ —лужність води до стабілізаційної обробки, мг-екв/л.

$$D_e = 28 \times 0,035 \times 1 \times 2,75 = 2.7 \text{ мг/л}$$

3.4. Розрахунок обладнання для реагентного господарства

Добова потреба в технічному коагулянті:

$$G_{доб} = \frac{D_k \times Q}{10000 \times \rho_k} \quad (3.27)$$

де D_k —розрахункова доза коагулянту, мг/л;

Q —розрахункова добова продуктивність станції, м³/доб;

ρ_k —відсотковий вміст чистої безводної речовини в технічному продукті,

для очищеного коагулянту $\rho_k = 33.5\%$.

$$G_{\text{доб}} = \frac{37 \times 73172}{10000 \times 33.5} = 8.1 \text{ т/доб}$$

Місячна потреба в технічному коагулянті:

$$G_{\text{міс}} = 8.1 \times 30 = 243 \text{ т.}$$

Приймається мокре зберігання коагулянту. В розчинні баки коагулянт завантажуються самоскидами. В баках готується 15%-вий розчин, який перемішується стисненим повітрям за допомогою повітродувок. Потім розчин коагулянту насосами подається по трубопроводах у резервуарисховища, де зберігається на протязі 15 діб. Звідси 15%-вий розчин коагулянту перекачується у витратні баки, де розбавляється водою до 5%-ї концентрації. Перемішування здійснюється повітродувками. З витратних баків 5%-ий розчин подається у змішувачі.

Ємність розчинних баків визначається за формулою:

$$W_{\text{розч}} = \frac{D_k \times Q_{\text{год}} \times n_k}{10 \times b_p \times \rho_k} \quad (3.28)$$

де $Q_{\text{год}}$ – годинна продуктивність очисних споруд, м³/год;

n_k – час, на який заготовлюється розчин коагулянту, год;

b_p – концентрація робочого розчину коагулянту, %;

ρ_k – густина розчину коагулянту, кг/м³

$$W_{\text{розч}} = \frac{37 \times 3048.9 \times 12}{10 \times 15 \times 1000} = 9.02 \text{ м}^3$$

Встановлюються три баки повною ємністю 3,4 м³ кожний. Розміри баку у плані – 1,5 × 1,5 × 1,5 (при висоті шару розчину – 1,3 м).

Ємність витратних баків:

$$W_{\text{вип}} = \frac{W_{\text{розч}} \times b_p}{b} \quad (3.29)$$

де b – концентрація розчину коагулянту у витратному баці, %.

$$W_{\text{вип}} = \frac{9.02 \times 15}{5} = 27.1 \text{ м}^3$$

Встановлюються два витратних баки ємністю 14,4 м³ кожний. Розміри в плані 2,4×2,4×2,5 м³ (при висоті шару розчину – 2,35 м).

Необхідний 15-ти добовий запас розчину коагулянту зберігається в резервуарах-сховищах:

$$W_{cx} = \frac{D_k \times Q \times 15}{10 \times b_p \times \rho_k}, \quad (3.30)$$

$$W_{\text{нб}} = \frac{37 \times 73172 \times 15}{10 \times 15 \times 1000} = 270.7 \text{ м}^3$$

На станції водопідготовки встановлюються три резервуари-сховища об'ємом 97,5 м³ кожний з розмірами в плані – 5×5×3,9 м³ (при висоті шару розчину –3,6 м).

Для інтенсифікації процесів розчинення коагулянту та перемішування розчину передбачається подача стисненого повітря.

Розрахункова витрата стисненого повітря, що подається в бак, визначається за формулою:

$$Q_{\text{нк}} = 0,06 \times i_{\text{ин}} \times F_{\text{ин}} \quad (3.31)$$

де $i_{\text{ин}}$ – інтенсивність подачі повітря для розчинення, л/(с×м²), [24,п.6.23];

$F_{\text{ин}}$ – площа відповідних баків у плані, м².

Розрахункова витрата стисненого повітря, що подається в розчинні баки:

$$Q_{1\text{нк}} = 0,06 \times 10 \times (1.5 \times 1.5 \times 3) = 4.05 \text{ м}^3 / \text{хв}$$

Розрахункова витрата стисненого повітря, що подається в баки-сховища:

$$Q_{2\text{нк}} = 0,06 \times 3 \times (5 \times 5 \times 3) = 13,5 \text{ м}^3 / \text{хв}$$

Розрахункова витрата стисненого повітря, що подається у витратні баки:

$$Q_{3\text{нк}} = 0,06 \times 5 \times (2,4 \times 2,4 \times 2) = 3,5 \text{ м}^3 / \text{хв}$$

Загальна витрата стисненого повітря:

$$Q_{\text{нк}} = Q_{1\text{нк}} + Q_{2\text{нк}} + Q_{3\text{нк}},$$

$$Q_{\text{нк}} = 4,05 + 13,5 + 3,5 = 21,05 \text{ м}^3 / \text{хв}.$$

На станції встановлюється 3 повітродувки (2 робочих, 1 резервна) марки ВК-12 продуктивністю 12 м³/хв кожна з електродвигунами типу А72-4 потужністю 28 кВт і частотою обертання 1450 об/хв.

$$Q_{н.д.} = \frac{W_{вигр} \times 1000}{n_k} \quad (3.32)$$

де $W_{вигр}$ – корисний об'єм витратного баку, м³; n_k – час приготування розчину коагулянту, год.

$$Q_{н.д.} = \frac{13.5 \times 1000}{12} = 1125 \text{ л/год}$$

До установки приймаються 3 насоси (два робочих та один резервний) марки НД 500/10 з двигуном потужністю 3 кВт.

Розчин коагулянту забирається з верхнього рівня витратних баків за допомогою поплавців.

Визначається необхідний об'єм вапна, що містить 78% безводного продукту:

$$W = \frac{D_{вап} \times Q}{78 \times 10000} \quad (3.33)$$

де $D_{вап}$ – доза вапна, мг/л;

Q – добова продуктивність станції, м³/доб.

$$W = \frac{2.7 \times 73172}{78 \times 10000} = 0,25 \text{ т /доб}$$

При висоті шару негашеного вапна – 1 м з урахуванням необхідних проходів та проїздів розміри складу в плані складуть 10*10 м.

Для гасіння вапна передбачається апарат С-322 продуктивністю 1 т/год (розмір в плані 1,4×1,9×1,59м) з електродвигуном АО-5114 потужністю 4,5кВт. Після гасіння розчин подається в бак вапняного молока, обладнаний мішалкою, де концентрація вапна знижується до 5 %.

Ємність витратних баків:

$$W_{вап} = \frac{D_{вап} \times q \times n}{10000 \times b_{вап} \times \rho_{вап}} \quad (3.34)$$

де q – годинна продуктивність станції, $\text{м}^3/\text{год}$;

n – час, на який заготовлюється продукт, 6-12 год;

$b_{\text{вап}}$ – концентрація вапна, %;

$\rho_{\text{вап}}$ – густина розчину відповідної концентрації, $\text{т}/\text{м}^3$

$$W_{\text{ван}} = \frac{2.7 \times 3048.9 \times 12}{10000 \times 5 \times 1} = 1.98 \text{ м}^3$$

Приймається два баки ємністю $W=1,0 \text{ м}^3$ кожний. Відношення діаметра D баку до його висоти H приймається рівним 1, тоді:

$$D = \sqrt{\frac{4 \times W}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 1}{3.14}} = 1,13 \text{ м} \quad (3.35)$$

Для дозування розчину вапна приймаються насоси-дозатори марки НД.

Годинна продуктивність насоса-дозатора:

$$Q_{\text{н.д.}} = \frac{W_{\text{вап}} \times 1000}{n} \quad (3.36)$$
$$Q_{\text{н.д.}} = \frac{1.9 \times 1000}{12} = 158.3 \text{ л/год.}$$

До установки приймаються два насоси-дозатори марки НД 500/10 (один робочий та один резервний).

3.5. Визначення розрахункових параметрів змішувачів

У змішувачах здійснюється процес інтенсивного перемішування реагентів з водою. До розрахунку приймаються вертикальні змішувачі вихрового типу у кількості 4 шт.

Продуктивність одного змішувача визначається за формулою:

$$Q_{\text{зм}} = \frac{Q_{\text{доб}}}{24 \times n} \quad (3.37)$$

де n – кількість змішувачів $n=4$.

$$Q_{\text{зм}} = \frac{76993.6}{24 \times 4} = 802 \text{ м}^3/\text{год} = 222.8 \text{ л/с} = 0,223 \text{ м}^3/\text{с}$$

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

$$F_B = \frac{Q_{зм}}{V_B} \quad (3.38)$$

де V_B – швидкість висхідного потоку в верхній частині, $V_B = 30 \text{ мм/с} = 108 \text{ м/год}$ [24, п.10.5.6];

$$F_B = \frac{802}{108} = 7.43 \text{ м}^2.$$

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

$$b_B = \sqrt{F_B}; \quad (3.39)$$

$$b_B = \sqrt{7.43} = 2.7 \text{ м}.$$

Розміри нижньої частини змішувача прийняті з урахуванням діаметру трубопроводу, що підводить воду. Діаметр приймається за умови забезпечення швидкості руху 1,2-1,5 м/с [24, п.10.5.6]. Приймається трубопровід діаметром 450 мм при швидкості руху води 1,31 м/с.

Висота нижньої, пірамідальної частини змішувача визначається за формулою:

$$h_H = \frac{1}{2} (b_B - b_H) \text{ctg} \frac{\alpha}{2} \quad (3.40)$$

Де b_H – ширина нижньої частини змішувача, м;

α – кут між стінками дна.

$$h_H = \frac{1}{2} (2,7 - 0,48) \text{ctg} \frac{40}{2} = 3.05 \text{ м}.$$

Місткість пірамідальної частини змішувача, м^3 :

$$W_H = \frac{1}{3} h_H (F_B + F_H + \sqrt{F_B \times F_H}) \quad (3.41)$$

$$W_H = \frac{1}{3} \times 3.05 [7.43 + (0,48)^2 + \sqrt{7.43 \times 0,48^2}] = 9.1 \text{ м}^3.$$

Повна ємність змішувача визначається за формулою:

$$W = \frac{Q_{зм} \times t}{60} \quad (3.42)$$

де t – тривалість перебування води в змішувачі (1,5 хвилини), [24, п.10.5.6].

$$W = \frac{802 \times 1.5}{60} = 20.1 \text{ м}^3$$

Місткість верхньої частини змішувача:

$$W_B = W - W_H.$$
$$W_B = 20,1 - 9,1 = 11,0 \text{ м}^3.$$

Висота верхньої частини змішувача визначена за формулою:

$$h_e = \frac{11}{7,43} = 1,5 \text{ м}.$$

Висота верхньої частини відповідає рекомендаціям [24, п.10.5.6].

Повна висота змішувача:

$$h = h_B + h_H \quad (3.43)$$
$$h = 1,5 + 2,98 = 4,5 \text{ м}.$$

Площа живого перетину водозбірної лотка:

$$w_{\text{л}} = \frac{Q_{\text{зм}}}{v \times n} \quad (3.44)$$

де v – швидкість руху води у лотку, [24, п.10.5.6];

n – число водозбірних лотків.

$$w_{\text{л}} = \frac{802}{0,6 \times 2 \times 3600} = 0,19 \text{ м}^3$$

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

$$h_{\text{л}} = \frac{w_{\text{л}}}{b_{\text{л}}}, \quad (3.45)$$
$$h_{\text{л}} = \frac{0,19}{0,5} = 0,38 \text{ м}$$

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

$$F_o = \frac{Q}{v_o \times 3600} \quad (3.46)$$

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

$$F_o = \frac{802}{1 \times 3600} = 0,22 \text{ м}^2$$

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

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

Загальна кількість отворів:

$$n = F_0 / f_0 = 0.22 / 0.00503 \approx 44 \text{ шт.}$$

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

3.6. Розробка споруд для відстоювання води

Загальна площа горизонтальних відстійників визначається за формулою [1, п. 10.9.1]:

$$F = \frac{q}{3.6 \cdot U_0} \cdot \alpha \quad (3.47)$$

де q – розрахункова витрата води, $\text{м}^3/\text{год}$;

U_0 – швидкість осадження зважених частинок, які затримуються відстійником, $\text{мм}/\text{с}$, [24, табл.16]; враховуючи збільшення швидкості осадження у зв'язку з наявністю вбудованої камери пластівцеутворення [24, табл.18, та п. 10.7.6], гідравлічна крупність буде дорівнювати $0,45 + 0,45 \times 0,15 = 0,52$ $\text{мм}/\text{с}$;

α – коефіцієнт, який враховує вплив вертикальної складової швидкості потоку, $\alpha = 1,3$ [24, п.10.9.1].

Для зимового періоду:

$$F_z = \frac{2770.7}{3.6 \cdot 0,52} \cdot 1,3 = 1924.1 \text{ м}^2$$

Для літнього періоду:

$$F_l = \frac{3208.1}{3.6 \cdot 0,52} \cdot 1,3 = 2227.8 \text{ м}^2$$

Ширина горизонтального відстійника визначається за формулою:

$$B = \frac{q}{3.6 \times V_{cp} \times H_{cp} \times N} \quad (3.48)$$

де V_{cp} – середня горизонтальна швидкість руху води у відстійнику, $V_{cp} = 7 \text{ мм/с}$ [24, п. 10.9.2];

H_{cp} – середня висота зони осадження, м; приймається $H_{cp} = 3,0 \text{ м}$ [24, п. 10.9.2];

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

$$B = \frac{3208.1}{3.6 \times 7 \times 3 \times 5} = 8,5 \text{ м.}$$

Ширина відстійника приймається 9 м.

Довжина відстійника визначається за формулою:

$$L = F / B \cdot N, \quad (3.49)$$
$$L = 2227.8 / (9 \cdot 5) \approx 49.5 \text{ м.}$$

Конструктивно приймаються розміри горизонтального відстійника: $L = 50 \text{ м}$; $B = 9 \text{ м}$. Кожний відстійник поділяється на дві самостійно діючі секції шириною 4,5 м, загальна кількість секцій – 10 шт.

Осад з відстійника видаляється гідравлічним способом [24, п. 10.9.3]. Об'єм зони накопичення та ущільнення осаду визначається за формулою:

$$W_{ос.} = \frac{T_p \cdot q \cdot (C_s - M_{осс})}{N \cdot \delta}, \quad (3.50)$$

де T_p – період роботи відстійника між скидами осаду, год; приймається $T_p = 72$ год [24, табл. 17];

C_B – концентрація завислих речовин у воді, що надходить до відстійника, г/м^3 ;

$M_{осв}$ – кількість завислих речовин у воді, що виходить з відстійника, $M_{осв} = 8 \text{ г/м}^3$;

δ – середня по всій висоті осаджувальної частини концентрація твердої фази осаду, г/м^3 ; приймається з урахуванням каламутності води та тривалості інтервалів між скидами осаду $\delta = 40000 \text{ г/м}^3$ [24, табл.17].

Максимальна концентрація завислих речовин у воді, що надходить до горизонтальних відстійників, визначається за формулою:

$$C_{\epsilon} = M + K_{\kappa} \cdot D_{\kappa} + 0,25 \cdot C + B_{\text{вап}}, \quad (3.51)$$

де K_{κ} – коефіцієнт, який враховує ступінь чистоти коагулянту, приймається $K_{\kappa} = 0,5$ [24, п.6.65];

$B_{\text{вап}}$ – кількість нерозчинених речовин, які вносяться з вапном [24]:

$$B_{\text{вап}} = \frac{D_{\epsilon}}{K_{\epsilon}} - D_{\epsilon} \quad (3.52)$$

де K_{ϵ} – вміст СаО у вапні, долі одиниці.

$$B_{\text{вап}} = \frac{1,9}{0,67} - 1,9 \approx 1,0 \text{ мг/л.}$$

$$C_{\epsilon} = 140 + 0,5 \cdot 35 + 0,25 \cdot 75 + 1,0 = 177,3 \text{ мг/л}$$

$$W_{\text{ос.}} = \frac{72 \cdot 3208,1 \cdot (177,3 - 8)}{8 \cdot 40000} = 122,2 \text{ м}^3$$

Максимальна висота відстійника визначається за формулою:

$$H_{\text{від}} = H_{\text{сп}} + H_{\text{н}} + h_{\text{буд}} + i \cdot L \quad (3.53)$$

де $H_{\text{н}}$ – висота зони накопичення осаду, м;

$h_{\text{буд}}$ – величина завищення будівельної висоти над розрахунковим рівнем води, м, приймається $h_{\text{буд}} = 0,35$ м згідно із [24, п. 10.9.8];

i – поздовжній ухил дна відстійника, приймається $i = 0,005$ [24, п. 10.9.9].

Висота зони накопичення осаду визначається за формулою:

$$H_{\text{н}} = \frac{W_{\text{ос.ч.}}}{F_0} \quad (3.54)$$

де F_0 – площа одного відстійника, м².

Площа однієї секції відстійника складає:

$$F_0 = L \times B = 50 \times 4,5 = 225 \text{ м}^2,$$

$$H_{\text{н}} = \frac{122,2}{225} \approx 0,54 \text{ м,}$$

$$H_{\text{від}} = 3 + 0,54 + 0,35 + 0,005 \cdot 50 = 4,1 \text{ м.}$$

Середня глибина води у відстійнику:

$$H_{\text{вод}}^{\text{сп}} = H_{\text{сп}} + H_{\text{н}} + \frac{i \times L}{2}$$

$$H_{\text{вод}}^{\text{сп}} = 3,0 + 0,54 + \frac{0,005 \times 50}{2} = 3,7 \text{ м.}$$

Кількість води, яка видаляється разом з осадом, у відсотках від загальної витрати %, визначена за формулою:

$$P = \frac{k_p \cdot W_{\text{ос.ч.}}}{q \cdot T_p} \cdot 100 \quad (3.55)$$

де k_p – коефіцієнт розведення, приймається $k_p = 1,5$ [24, п.10.9.9].

$$P = \frac{1,5 \cdot 122,2}{3208,1 \cdot 72} \cdot 100 = 0,079\%$$

Для гідравлічного видалення осаду передбачається система з перфорованих труб з отворами діаметром $d_0 = 25\text{мм}$.

Дно відстійника між трубами системи збору осаду приймається призматичним з кутом нахилу граней 45° .

Кількість труб для видалення осаду з однієї секції відстійника визначається за формулою:

$$n_{\text{тр}} = B/l_{\text{тр}} \quad (3.56)$$

де $l_{\text{тр}}$ – відстань між вісями труб, м; приймається для призматичного днища $l_{\text{тр}} = 3,0$ м [24, п. 10.9.19].

$$n_{\text{тр}} = 4,5/3 \approx 2 \text{ шт.}$$

Кількість осаду, що проходить через кожну трубу, визначається за формулою:

$$q_{\text{тр.ос.}} = \frac{W_{\text{ос.ч.}}}{n_{\text{тр}} \cdot t_{\text{сб}}} \quad (3.57)$$

де $t_{\text{сб}}$ – час скиду осаду, год; приймається $t_{\text{сб}} = 20 \text{ хв} = 0,33 \text{ год}$ [24].

$$q_{\text{тр.ос.}} = \frac{122,2}{2 \cdot 0,33} = 185,2 \text{ м}^3 / \text{год} \approx 51,4 \text{ л/с}$$

Для швидкості руху осаду у кінці труб не менше $1,0$ м/с [24] приймається $D_{\text{тр.ос.}} = 200$ мм; $v = 1,49$ м/с; $1000i = 18,1$

Розподіл води по площі освітлення прийнято дірчастими трубами, що укладаються на відстані не більше ніж 3 м одна від одної [24, п. 10.10,6].

Довжина розподільчих труб визначається по формулі:

$$l = q_{\text{кол}} / q_{\text{пит}} \quad (3.58)$$

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

$q_{\text{пит}}$ – питома витрата освітленої води на 1 м дірчастих труб, л/с×м [24],
приймається $q_{\text{пит}} = 5,0$ л/с×м.

Витрата освітленої води в колекторі системи:

$$q_{\text{кол}} = q / (N_{\text{кол}} \cdot 3,6), \quad (3.59)$$
$$q_{\text{кол}} = 3208,1 / (10 \cdot 3,6) = 89,1 \text{ л/с.}$$

При швидкості води у кінці колектора 0,6...0,8 м/с [24, п.10.9.10]
приймається $D_{\text{тр.ос.}} = 400$ мм; $v = 0,67$ 1000і=1,65.

Довжина розподільчих труб визначається за формулою:

$$l_{\text{р.тр.}} = B - 2 \cdot l_{\text{ст}} - D_{\text{кол}}^{\text{вн}}, \quad (3.60)$$

де $l_{\text{ст}}$ – відстань від кінця розподільчої труби до стіни відстійника, м;
приймається $l_{\text{ст}} = 0,1$ м [24]. $D_{\text{кол}}$ – зовнішній діаметр колектора. приймається
 $D_{\text{кол}} = 426$ мм

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

Приймається 5 розподільчих труб, які розташовуються по обидва боки
від колектора.

Витрата однієї розподільчої труби визначається по формулі:

$$q_{\text{р.тр.}} = q_{\text{кол}} / (2 \cdot n_{\text{р.тр.}}), \quad (3.61)$$
$$q_{\text{р.тр.}} = 89,1 / 2 \cdot 5 = 8,9 \text{ л/с.}$$

При швидкості руху в розподільчих трубах 0,6...0,8 м/с [24] приймається
 $D_{\text{тр.ос.}} = 125$ мм; $v = 0,64$; 1000і=6,67.

Відстань між всіма розподільчих труб:

$$t_{\text{р.тр.}} = L_{\text{сист}} / n_{\text{р.тр.}} \quad (3.62)$$

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

Система видалення освітленої води розташовується на ділянці, що дорівнює $2/3$ від довжини відстійника, тобто

$$L_{\text{сист}} = L/4,$$

$$L_{\text{сист}} = 50 \times \frac{2}{3} = 33 \text{ м}, \quad t_{\text{п.пр.}} = 33/4 = 8.3 \text{ м}$$

3.7. Розрахунок робочих та конструкційних параметрів камер пластівцеутворення

Для зручності компоновки з відстійниками приймаються вбудовані типові камери пластівцеутворення у кількості 10 шт з розмірами однієї камери: ширина $B_k=4,5$ м, довжина $L_k=9,0$ м.

Витрата води для однієї камери пластівцеутворення:

$$q_k = q/N_k. \quad (3.63)$$

$$q_k = 3208.1/10 = 320.8 \text{ м}^3/\text{год} = 89.1 \text{ л/с} = 0,089 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Швидкість руху в одній камері пластівцеутворення визначається за формулою:

$$V_k = q_k / (B_k \times L_k \times 3600), \quad (3.64)$$

$$V_k = 320.8 / (4,5 \times 9 \times 3600) = 0.0022 \text{ м/с} = 2,2 \text{ мм/с}.$$

Висота води в камері:

$$h_k = H_{\text{ср}} + h \quad (3.65)$$

де $H_{\text{ср}}$ – середня висота зони осадження горизонтального відстійника, м, приймається $H_{\text{ср}} = 3.0$ м згідно із [24, п. 10.9.2];

h – втрати напору у камері пластівцеутворення, м, приймаються $h = 0,5$ м [24, п. 10.28.2];

$$h_k = 3,0 + 0,5 = 3,5 \text{ м} \quad (3.67)$$

Тривалість перебування води у камері визначено за формулою:

$$t = h_k / (V_k \cdot 60) \quad (3.67)$$

$$t = 3.4 / (0.0022 \cdot 60) \approx 26 \text{ хв}.$$

Розподіл води по камері передбачається за допомогою напірних перфорованих труб з отворами, направленими униз під кутом 45° [24, п. 10.7.7].

Якщо швидкість руху води на початку камери прийняти $0,5 \dots 0,6$ м/с згідно із [24, п. 10.7.7], то для витрати води приймається діаметр трубопроводу для підводу води $D_{\text{під}}=450$ мм; $v=0,52$; $1000i=0,90$.

Враховуючи, що в колекторі розподільчої системи вода розділяється на два потоки, витрата води в колекторі становить:

$$q_{\text{кол}} = q_{\text{к}} / 2,$$
$$q_{\text{кол}} = 89.1 / 2 = 44.6 \text{ л/с.}$$

Для колектору розподільчої системи приймається $D_{\text{кол}}=300$ мм; $v=0,58$; $1000i=1,85$.

Кількість розподільчих труб:

$$n_{\text{тр}} = 4,5 / 2 \approx 3 \text{ шт}$$

Тоді витрата води для кожної розподільчої труби складе:

$$89.1 / 3 = 29.7 \text{ л/с.}$$

Приймаються розподільчі труби діаметром $D_{\text{тр}}=250$ мм; $v=0,56$; $1000i=2,18$.

Довжина розподільчої труби визначена за формулою:

$$l_{\text{тр}} = L_{\text{к}} - t_{\text{ст}} - D_{\text{кол}}^{\text{вн}} \quad (3.68)$$

де $t_{\text{ст}}$ - відстань від розподільчої труби до стінки камери, м; приймається $t_{\text{ст}}=1$ м [24]

$D_{\text{кол}}$ - зовнішній діаметр колектору, м; приймається $D_{\text{кол}}=325$ мм $=0,325$ м

$$l_{\text{тр}} = 9,0 - 1,0 - 0,325 = 7,68 \text{ м}$$

Вода відводиться над затопленим водозливом з камери пластівцеутворення до горизонтального відстійнику. Верх стінки водозливу розташовується нижче рівню води на висоті:

$$h_{\epsilon} = q_k / (V_{\epsilon} B_k) \quad (3.69)$$

де V_{ϵ} - швидкість руху води над водозливом, м/с; приймається $V_{\epsilon} = 0,05$ м/с [24, п.10.7.8].

$$h_{\epsilon} = 0,0891 / (0,05 \cdot 4,5) = 0,4 \text{ м}$$

У відстійнику встановлюється перегородка, яка знаходиться під водою на відстані $\frac{1}{4}$ від його висоти. За [24, п.10.7.8] швидкість руху води між стінкою та перегородкою прийнято 0,03 м/с.

Втрати напору у розподільчій системі визначені за формулою:

$$h = \zeta \cdot \frac{v_{\text{кол}}^2}{2 \cdot g} + \frac{v_{\text{мп}}^2}{2 \cdot g} \quad (3.70)$$

де ζ – коефіцієнт гідравлічного опору.

Для колектору з відгалуженнями з круглими отворами коефіцієнт гідравлічного опору становить:

$$\zeta = 2,2 / K_n^2 + 1 \quad (3.71)$$

де K_n – коефіцієнт перфорації, приймається $K_n = 0,3$.

$$\zeta = 2,2 / 0,3^2 + 1 = 25,4$$

$$h = 25,4 \cdot \frac{0,58^2}{2 \cdot 9,81} + \frac{0,56^2}{2 \cdot 9,81} = 0,45 \text{ м.}$$

Втрати напору, розраховані за формулою (3.70), не перевищують прийняті значення втрат напору за [24, п.10.28.2].

3.8. Розробка споруд для фільтрування води

До розрахунку приймається швидкий фільтр, який має двохшарове завантаження: 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. Вода надходить до фільтрів по жолобам, які розташовані над фільтруючим завантаженням.

Загальна площа швидких фільтрів визначена за формулою [24, п.10.12.4]:

$$F_{\phi} = \frac{Q_{повн}}{T_{ст} \cdot v_n - n_{пр} \cdot q_{пр} - n_{пр} \cdot \tau_{пр} \cdot v_n} \quad (3.72)$$

де $Q_{повн}$ – корисна продуктивність станції, м³/доб, $Q_{повн} = 74032,3$ м³/доб;

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

v – розрахункова швидкість фільтрування, м/год, $v = 10$ м/год [24, 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, м³/м² ;

τ – час простою фільтра у зв'язку з промивкою, год, для фільтрів, що промиваються водою, приймається 0.33 год [24, табл.21].

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

$$q_{пр} = W \cdot t_{пр} \quad (3.73)$$

де W – інтенсивність промивки, л/(с*м²), приймається 16 л/(с*м²) [24, табл.21];

$t_{пр}$ – тривалість промивки, с, приймається $t = 6хв = 0,1$ год = 360 с [24,табл.23]

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

$$F_{\phi} = \frac{74032.3}{24 \cdot 9 - 2 \cdot 5.76 - 2 \cdot 0.33 \cdot 9} = 372.9 \text{ м}^2$$

Кількість фільтрів визначено за формулою:

$$N = 0.5 \sqrt{F_{\phi}} \quad (3.74)$$

$$N = 0.5 \sqrt{F_{\phi}} = 0,5 \sqrt{372.9} \approx 10 \text{ шт}$$

Перевірку швидкості фільтрування для форсованого режиму виконано за формулою:

$$v_{\phi} = v_n \cdot \frac{N}{N - N_1} \quad (3.75)$$

де N_1 – кількість фільтрів, що ремонтуються, приймається $N_1 = 1$ [24, п.10.12.1].

$$v_{\phi} = 9 \cdot \frac{10}{10-1} = 10 \text{ м/год.}$$

Швидкість фільтрування при форсованому режиму не повинна перевищувати 12 м/год згідно із [24, табл.19]. Отримане значення швидкості задовольняє цю вимогу.

Площа чарунки фільтра визначена за формулою:

$$F_{\phi} = F_{\phi} / N, \quad (3.76)$$

$$F_{\phi} = 372.9/10 \approx 37.3 \text{ м}^2.$$

Приймаються наступні розміри чарунки швидкого фільтру у плані: довжина $L=6,2$ м, ширина $B=6,2$ м.

Нижня частина фільтру на висоту 0,8 м завантажується підтримуючим шаром гравію із зернами крупністю 10...20 мм [24, табл.22]. Загальна висота всього завантаження фільтру складає $0,5+0,8+0,8=2,1$ м. Висота шару води над поверхнею завантаження приймається 2,0 м, перевищення будівельної висоти над рівнем води 0,5 м [24, п.10.12.7].

Для промивки фільтрів подається вода з РЧВ, яка надходить знизу фільтруючого завантаження: промивна вода під тиском подається до дренажного улаштування, а з нього через розподільчу систему фільтра надходить до фільтруючого завантаження.

Для промивки однієї чарунки фільтру необхідна витрата води:

$$q_{\text{пром}} = F_{\phi} \cdot W_{\text{пр}}, \quad (3.77)$$

$$q_{\text{пром}} = 38,44 \cdot 16 = 615 \text{ л/с.}$$

Відповідно до [24, п.10.12.12] під час промивки фільтрів рекомендується швидкість руху води на початку колектора розподільчої системи 0,8...1,2 м/с. Для колектора розподільчої системи приймається трубопровід, що відводить промивну воду діаметром $D_{\text{кол}}=800$ мм; при цьому $v=1,23$; $1000i=2,16$.

Площа чарунки, що відповідає одному відгалуженню, визначається за формулою:

$$f_{\text{б.в.}} = \left(\frac{B - D_{\text{кол}}^{\text{зов}}}{2} \right) l_{\text{ос}} \quad (3.78)$$

де l – відстань між всіма трубами відгалужень, м; приймається $l=300$ мм = 0,3 м [24, п.10.12.11]; D – зовнішній діаметр колектора, м; приймається $D=820$ мм = 0,82 м.

$$f_{\text{б.в.}} = \left(\frac{6,2 - 0,82}{2} \right) 0,3 = 0,81 \text{ м}^2$$

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

$$q_{\text{б.в.}} = f_{\text{б.в.}} \cdot W, \quad (3.79)$$

$$q_{\text{б.в.}} = 0,78 \cdot 16 = 13 \text{ л/с.}$$

Враховуючи, що швидкість руху води в трубах відгалужень відповідно до [24, п.10.12.12] рекомендується підтримувати в межах 1,6...2,0 м/с, для улаштування відгалужень приймається трубопровід діаметром $D_{\text{кол}}=80$ мм; $v=1,83$; $1000i=76,8$.

В нижній частині відгалужень під кутом 45° до вертикалі виконуються отвори діаметром $d_0=10$ мм = 0,01 м. Відповідно до [24, п.10.12.11] загальна площа всіх отворів у відгалуженнях розподільчої системи повинна складати 0,25...0,5% від робочої площі фільтра.

Площа всіх отворів у відгалуженнях визначається по формулі:

$$F_0 = 0,25 \cdot F_{\text{чар}} / 100, \quad (3.80)$$

$$F_0 = 0,25 \cdot 38,4 / 100 = 0,096 \text{ м}^2.$$

Площа одного отвору:

$$f_0 = \pi \cdot d_0^2 / 4,$$

$$f_0 = 3.14 \cdot 0.01^2 / 4 = 0.00008 \text{ м}^2$$

Кількість отворів у розподільчій системі одного фільтра:

$$n_0 = F_0 / f_0, \quad (3.81)$$

$$n_0 = 0.096 / 0.00008 = 1200 \text{ шт.}$$

Довжина одного відгалуження:

$$l = \left(\frac{B - D_{\text{КОЛ}}^{\text{ЗОВ}}}{2} \right) \quad (3.82)$$

$$l = \left(\frac{6.2 - 0.82}{2} \right) = 2.7 \text{ м}$$

Кількість відгалужень на кожному фільтрі становить:

$$n_{\text{в.в.}} = \frac{L}{t_{\text{в.в.}}} \cdot 2 \quad (3.83)$$

де L – довжина швидкого фільтра, м; t – крок вісі відгалужень, м; приймається $t = 0,3$ м.

$$n_{\text{в.в.}} = \frac{6.2}{0.3} \cdot 2 = 41 \text{ шт.}$$

Промивна вода збирається та відводиться за допомогою жолобів з п'ятикутним перетином, які влаштовані над поверхнею фільтруючого завантаження. Відстань між вісями жолобів $t_{\text{ж}} = 2$ м [24, п.10.12.17], відстань від вісі крайніх жолобів до стінки – 1 м, витрата води на один жолоб становить $q_{\text{ж}}^* = 615/3 = 205$ л/с.

Ширина жолоба визначається по формулі:

$$B_{\text{ж}} = k_{\text{ж}} \sqrt[5]{\frac{q_{\text{ж}}^2}{(1,57 + a_{\text{ж}})^3}} \quad (3.84)$$

де $q_{\text{ж}}$ – витрата води по жолобу, м³/с; $a_{\text{ж}}$ – відношення висоти прямокутної частини жолоба до половини його ширини, приймається $a_{\text{ж}} = 1,5$ м [24, п.10.12.17]; k – коефіцієнт, що приймається для п'ятикутних жолобів $k = 2,1$ [24, п.10.12.17].

Кількість жолобів:

$$n = B / t_{ж}, \quad (3.85)$$

де $t_{ж}$ – відстань між вісями жолобів, $t_{ж} = 2$ м.

$$n = 6.2 / 2 \approx 3 \text{ ум/}.$$

$$B_{жс} = 2,1 \sqrt[5]{\frac{0,205^2}{(1,57+1,5)^2}} = 0,57 \text{ м/}$$

Висота прямокутної частини жолоба:

$$h_{np} = 0,75 \cdot B_{жс} \quad (3.86)$$

$$h_{np} = 0,75 \cdot 0,57 = 0,43 \text{ м/}$$

Корисна висота жолобу:

$$h = 1,25 \cdot B_{ж} \quad (3.87)$$

$$h = 1,25 \cdot 0,57 = 0,71 \text{ м/}$$

Відстань від поверхні фільтруючого завантаження до кромek жолобів визначається за формулою:

$$H_{жс} = \frac{H_з \cdot a_з}{100} + 0,3 \quad (3.88)$$

де $H_з$ – висота завантаження (фільтруючого шару), м; приймається $0,5 + 0,8 = 1,3$ м [24, табл.19];

$a_з$ – відносне розширення фільтруючого завантаження, %; приймається $a_з = 50\%$ [24, табл.21].

$$H_{жс} = \frac{1,3 \cdot 50}{100} + 0,3 = 0,95 \text{ м}$$

Витрата води на промивку одного фільтра у відсотках % по відношенню до розрахункової витрати фільтрату визначено за формулою:

$$P_{cp} = \frac{W_{пром} \cdot N}{q \cdot T} \cdot 100 \quad (3.89)$$

де $W_{пром}$ – кількість води, що витрачається на одну промивку, м^3 ; q – розрахункова витрата, $\text{м}^3/\text{год}$; T – тривалість промивки, год

Кількість води, що витрачається на одну промивку:

$$W_{\text{пром}} = \frac{q_{\text{пром}} \cdot t_{\text{пр}} \cdot 60}{1000}, \quad (3.90)$$

$$W_{\text{пром}} = \frac{615 \cdot 6 \cdot 60}{1000} = 221.4 \text{ м}^3.$$

Тривалість роботи фільтру між промивками:

$$T = \frac{T_{\text{ст}}}{n_{\text{пр}}} - (t_{\text{пр}} + \tau_{\text{пр}}) \quad (3.91)$$

де $T_{\text{ст}}$ – тривалість роботи станції, год, $T_{\text{ст}} = 24$ год.

$$T = \frac{24}{2} - (0,1 + 0,33) = 11,57 \text{ год}$$

$$P_{\text{ср}} = \frac{221.4 \times 10}{3208.1 \cdot 11.57} \cdot 100 \approx 6\%.$$

Збірний канал на виході води із жолобів влаштовується для попередження створення підпору. З урахуванням того, що площа чарунки фільтра не перевищує 40 м^2 , влаштовується боковий збірний канал. Відстань від дна жолоба до дна каналу повинна бути не меншою за величину, що визначається за формулою:

$$H_{\text{кан}} = 1,73 \cdot \sqrt[3]{\frac{q_{\text{кан}}^2}{g \cdot B_{\text{кан}}^2}} + 0,2 \quad (3.92)$$

де $q_{\text{кан}}$ – витрата промивної води у збірному каналі, $\text{м}^3/\text{с}$.

$$q_{\text{кан}} = q_{\text{пр}} = 615 \text{ л/с} = 0,615 \text{ м}^3/\text{с}$$

$B_{\text{кан}}$ – ширина каналу, м; приймається $B_{\text{кан}} = 0,8 \text{ м}$ [24, п.10.12.18].

$$H_{\text{кан}} = 1,73 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,615^2}{9,81 \cdot 0,8^2}} + 0,2 = 0,88 \text{ м}.$$

Площа поперечного перетину каналу становить:

$$F_{\text{кан}} = B_{\text{кан}} \cdot H_{\text{кан}}, \quad (3.93)$$

$$F_{\text{кан}} = 0,8 \cdot 0,88 = 0,704 \text{ м}^2.$$

Швидкість руху води у кінці каналу:

$$v_{кан} = q_{кан} / F_{кан} \quad (3.94)$$

$$v_{кан} = 0,615 / 0,704 = 0,87 \text{ м/с.}$$

Отримане значення $v_{кан}$ відповідає рекомендаціям [24], згідно з якими мінімальна швидкість руху води у кінці збірного каналу повинна бути не меншою за 0,8 м/с.

Визначення втрат напору під час промивки:

$$\sum h = h + h_{ф} + h_{гр} + h_{дв} + h_{м} + h_{вс.дв.} + h_{вс.м.} \quad (3.95)$$

де h – втрати напору у розподільчій системі фільтру, м;

$h_{ф}$ – втрати напору у фільтруючому шарі, м;

$h_{гр}$ – втрати напору у гравійному шарі, м;

$h_{дв}$ – втрати напору у трубопроводі, який підводить промивну воду до розподільчої системи фільтру, м;

$h_{м}$ – втрати напору на місцеві опори у фасонних частинах та арматурі, м;

$h_{вс.дв.}$ – втрати напору у всмоктувальній лінії по довжині, м;

$h_{вс.м.}$ – втрати напору на місцеві опори у всмоктувальній лінії, м.

Втрати напору у розподільчій системі фільтру:

$$h = \xi \cdot \frac{v_k^2}{2 \cdot g} + \frac{v_{б.в.}^2}{2 \cdot g} \quad (3.96)$$

де v_k – швидкість руху води на початку колектора, м/с; прийнята $v_k = 1,23$ м/с;

$v_{б.в.}$ – середня швидкість на вході у відгалуження, м/с; прийнята $v_{б.в.} = 1.83$ м/с;

ξ – коефіцієнт гідравлічного опору.

Коефіцієнт гідравлічного опору для колектора з відгалуженнями з круглими отворами визначається за формулою:

$$\xi = \frac{2,2}{K_n^2} + 1 \quad (3.97)$$

де K_n – коефіцієнт перфорації, $0.15 \leq K_n \leq 2$ [1, п.10.10.10].

Коефіцієнт перфорації визначається за формулою:

$$K_n = F_0 / S_0 \quad (3.98)$$

де F_0 – сумарна площа отворів, m^2 ; $F_0 = 0,096 m^2$

S – площа поперечного перетину колектора, m^2 :

$$S_0 = \pi \cdot D_{кол}^2 / 4, \quad (3.99)$$

$$S_0 = 3,14 \cdot 0,8^2 / 4 = 0,5 m^2$$

$$K_n = 0,096 / 0,5 = 0,192$$

$$\xi = \frac{2,2}{0,192^2} + 1 = 60,7$$

$$h = 77,1 \cdot \frac{1,23^2}{2 \cdot 9,81} + \frac{1,83^2}{2 \cdot 9,81} = 6,12 i$$

Втрати у фільтруючому шарі приймаються рівними товщині шару завантаження, тобто $h_{\phi} = 1,3 m$.

Втрати напору у гравійному шарі визначаються за формулою:

$$h_{\phi} = 0,022 \times h_{\phi.ш.} \times W \quad (3.100)$$

$$h_{\phi} = 0,022 \times 0,8 \times 16 = 0,28 m$$

Втрати напору у трубопроводі, що підводить промивну воду до розподільчої системи фільтру, визначається по формулі:

$$h_{\phi\phi} = i_{тр} \cdot l_{тр} \quad (3.101)$$

де $i_{тр}$ – питомі втрати напору, на один фільтр надходить витрата промивної води; $l_{тр}$ – довжина трубопроводу, по плану будівлі швидких фільтрів приймається 70 м.

$$h_{\phi\phi} = 0,00209 \times 70 = 0,15 m$$

Втрати напору на місцеві опори у фасонних частинах та арматурі визначаються по формулі:

$$h_m = 0,3 \cdot h_{об},$$

$$h_m = 0,3 \cdot 0,15 = 0,05 \text{ м.}$$

Втрати напору у всмоктувальній лінії визначаються по формулі:

$$h_{вс.дв.} = i_{вс} \cdot l_{вс}$$

де $i_{вс}$ –питомі втрати у всмоктувальній лінії, м; $l_{вс}$ –довжина всмоктувальної лінії, м; $l_{вс} = 100$ м.

$$h_{вс.дв.} = 0,00116 \cdot 100 = 0,116$$

Втрати напору на місцеві опори у всмоктувальній лінії:

$$h_{вс.м.} = \sum \xi_m \cdot \frac{v_{вс}^2}{2 \cdot g}, \quad (3.102)$$

де ξ –коефіцієнт місцевих опорів: коліно 90: $\xi_{м1} = 0,5$ – 1 шт; засувка: $\xi_{м2} = 0,15$ – 1 шт; вхід у трубу: $\xi_{м3} = 0,5$ – 1 шт; переходи: $\xi_{м4} = 0,2$ – 2 шт.

$$\sum \xi_m = \xi_{м1} \cdot 1 + \xi_{м2} \cdot 1 + \xi_{м3} \cdot 1 + \xi_{м4} \cdot 2 = 0,5 + 0,15 + 0,5 + 0,2 \cdot 2 = 1,55,$$

$$h_{вс.м.} = 1,55 \cdot \frac{0,96^2}{2 \cdot 9,81} = 0,073 \text{ м.}$$

$$\sum h = 6,12 + 1,3 + 0,28 + 0,15 + 0,05 + 0,1 + 0,07 = 8,1 \text{ м.}$$

Необхідний напір насосу для промивки швидкого фільтру:

$$H_{нас} = h_r + \sum h + h_{нас} \quad (3.103)$$

де h_r –геометрична висота підйому води від дна РЧВ до верхньої кромки жолобів у швидкому фільтрі, м; $h_{нас}$ –втрати напору у насосній станції, м; прийняті $h_{нас} = 1,5$ м.

Геометрична висота підйому визначається по формулі:

$$h_2 = H_{РЧВ} + H_3 + H_{ж} \quad (3.104)$$

де $H_{РЧВ}$ – глибина води в резервуарі чистої води, м; приймається $H_{РЧВ} = 4,1$ м; H_3 –висота фільтруючого шару, м; приймається $H_3 = 1,3$ м; $H_{ж}$ – відстань від поверхні фільтруючого завантаження до кромки жолобів, $H_{ж} = 0,95$ м.

$$h_c = 3.1 + 1.3 + 0.95 = 5.35 \text{ м,}$$

$$H_{\text{нас}} = 5.35 + 8.1 + 1.5 \approx 15.0 \text{ м.}$$

Необхідна подача насосу становить $q_{\text{пр}} = 576 \text{ л/с} = 2214 \text{ м}^3 / \text{год}$. Встановлюються промивні насоси Д2000-21 (1 робочий та 1 резервний).

Піськове господарство передбачається для здійснення підготовки кар'єрного піску для першого завантаження швидких фільтрів та для щорічного їх дозавантаження у розмірі 10% від загального об'єму піщаного фільтруючого матеріалу.

Об'єм піску, що завантажується у швидкі фільтри:

$$W_n = N \cdot F_{\text{чар}} \cdot h_n \quad (3.105)$$

де h_n – висота фільтруючого шару піску, м; $h_n = 0,8 \text{ м}$ [24, табл.21].

$$W_n = 10 \cdot 38.44 \cdot 0,8 = 307.5 \text{ м}^3$$

Щорічна потреба у кар'єрній сировині для її дозавантаження у швидкі фільтри становить 30,8 куб.м. Загальна кількість піску: $560,6 + 30,8 = 591,4 \text{ м}^3$. Для піску приймається асфальтований майданчик розміром $23 \times 23 \text{ м}$, тобто площею 529 кв.м. Для сортування та відмиву піску застосовуються класифікатори ТКП-4 продуктивністю 5 куб.м/год за вихідною сировиною. У фільтрувальному залі чистий відсортований пісок зберігається у залізобетонних ємностях.

3.9. Визначення діаметрів трубопроводів станції водо підготовки

Діаметри трубопроводів для надходження та відведення води між очисними спорудами прийняті із врахуванням рекомендацій [24]. Результати гідравлічного розрахунку трубопроводів представлені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1– Визначення діаметрів трубопроводів

Найменування середовища в трубопроводі	Д, мм	Рекомендована швидкість, м/с	Фактичне значення швидкості, м/с
1.Трубопровід надходження води на змішувачі (222,8×4)	900	1,2-1,5	1,42
на один змішувач (222,8)	450		1,31

2.Відведення води: від усіх змішувачів від одного змішувача	1200 600	0,6...1,0	0,87 0,765
3.Подача води на відстійники: загальний трубопровід на один відстійник (91,2)	1400 450	0,5...0,6	0,59 0,53
4.Подача відстояної води: на фільтри (загальний) від одного відстійника	1200 400	0,6...0,8	0,87 0,68
5.Трубопровід відведення осаду: від одного відстійника (51,4×2×10) загальний	200 1000	Не менше 1 м/с	1,49 1,29
6.Трубопровід підведення води на освітлення: Загальний(74032,3/(24 × 3,6) =856,8л/с) на 5 фільтрів (74032,3/(24 × 2 × 3,6)=428,4 л/с на один фільтр 74032,3/(24 × 10 × 3,6)=85,7 л/с	900 700 300	1...1,5	1,33 1,10 1,12
7.Трубопровід відведення освітленої води: від одного фільтра від 5 фільтрів	300 700	1...1,5	1,12 1,10
8.Трубопровід надходження промивної води (615 л/с)	800	0,8...1,2	1,13
9. Відведення промивної води	800	0,8...1,2	1,13

3.10. Розробка енергоощадної технології повторного використання промивних вод

Питома витрата води на одну промивку одного фільтра складає:

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

Витрата води, що необхідна для промивки однієї чарунки:

$$q_{пром} = 38,44 \cdot 16 = 615 \text{ л/с} = 0,615 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

Враховуючи, що тривалість однієї промивки фільтра 0,1 год=360с, а за добу кожний фільтр промивається 2 рази, то на промивку одного швидкого фільтра за добу витрачається:

$$2 \cdot 0,615 \cdot 360 = 442,8 \text{ м}^3.$$

Для очистки промивних вод з метою повторного їх використання передбачаються наступні споруди: приймальна камера; пісковловлювач; відстійник; згущувач; накопичувач.

У приймальну камеру надходять промивні води після швидких фільтрів. Типовий розмір камери прийнято з урахуванням пропускної здатності, кількості та діаметру трубопроводів [8].

Після промивки швидких фільтрів промивна вода у кількості 615 л/с надходить на станцію водопідготовки по двох трубопроводах діаметром 400 мм кожний. Встановлюється типова приймальна камера ПК-2- 60, її розміри: 1600×2000×1600.

З приймальної камери вода надходить на пісковловлювач. Приймається горизонтальний пісковловлювач з прямолінійним рухом води на два робочих відділення (одне відділення резервне). Площа живого перетину кожного відділення становить:

$$w = \frac{q}{V \cdot n} \quad (3.106)$$

де q – витрата води, що надходить у пісковловлювач, м³/с;

V – швидкість руху води, м/с [24];

n – число відділень у пісковловлювачі.

$$w = \frac{4 \cdot 0,615}{0,3 \cdot 2} = 4,1 \text{ м}^2$$

Глибина проточної частини приймається $h = 0,7$ м [24]. Ширина відділення:

$$B = w/h = 4,1/0,7 = 5,6 \text{ м.}$$

Довжина пісковловлювача обчислюється за формулою:

$$L = \frac{k \cdot h \cdot V \cdot 1000}{U_o} \quad (3.107)$$

де k – коефіцієнт, прийнятий за [24], $k = 1,3$;

U_o – гідравлічна крупність піску, мм/с по [9] $U_o = 24,2$ мм/с.

$$L = \frac{1.3 \cdot 0.7 \cdot 0.3 \cdot 1000}{24.2} = 11.3 \text{ м.}$$

Приймається пісковловлювач довжиною 15 м.

Тривалість протікання промивної води в пісковловлювачі:

$$T = L/V = 15/0.3 = 50 \text{ с, що} \geq 30 \text{ с,}$$

що відповідає вимогам [24].

Геометрична глибина пісколовки приймається:

$$H_n = h_1 + h_n + 0.7 = 0.7 + 0.2 + 0.7 = 1.6 \text{ м}$$

Об'єм частини пісковловлювача для накопичення осаду:

$$W = V \cdot T \quad (3.108)$$

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

$$V = W_o / 365, \quad (3.109)$$

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

Річна потреба в додатковій кількості піску (10%-дозавантаження плюс аварійне перезавантаження одного фільтру):

$$W_o = 0.1 \cdot W_n \cdot + W_n / N$$

де W_n – об'єм піску, що завантажується у швидкі фільтри, $W_n = 307.5 \text{ м}^3/\text{доб}$:

$$W_o = 0.1 \cdot 307.5 \cdot + 307.5/10 = 61.5 \text{ м}^3, V = 61.5/365 = 0.17 \text{ м}^3/\text{доб}$$

T – період між чищеннями пісковловлювачів, приймається $T = 2$ доби

$$W = 0.17 \cdot 2 = 0.34 \text{ м}^3$$

Висота частини пісковловлювача для приймання осаду:

$$h = \frac{W}{n \cdot B \cdot L}$$

$$h_{oc} = \frac{0.34}{2 \cdot 1.2 \cdot 15} = 0.010 \text{ м} = 10 \text{ см.}$$

Об'єм згущувача визначається за формулою:

$$W_{зг} = 1.3 \cdot K_{p.o.} \cdot W_{oc.ч.} \quad (3.110)$$

де $K_{p.o.}$ – коефіцієнт розбавлення осаду, $K_{p.o.} = 1,5$ [1, п. 10.9.9]; $W_{oc.ч.}$ – об'єм осаду, m^3 .

Прийнято, що із загальної кількості промивної води 80% використовується повторно, а 20% скидається з осадом. Згідно [1, дод.13] число згущувачів приймається з урахуванням періодичного надходження осаду та тривалості циклу згущення. Тоді кількість відстояної води, що перекачується на повторну очистку становить:

$$Q_1 = q \cdot 0.8 = 615 \cdot 0.8 \approx 492 m^3.$$

Тривалість перекачування $t_1 = 15 \text{хв} = 0,25 \text{год}$.

Продуктивність насосів:

$$q_1 = Q_1/t_1 = 492/0.25 = 1968 m^3/\text{год}.$$

Приймаються 3 насоси (2 робочих та 1 резервний) марки Д1000-40. Осад в об'ємі подається у згущувач.

Тривалість перекачування $t_2 = 20 \text{хв} = 0,33 \text{год}$, тоді продуктивність насосу:

$$q_2 = Q_2/t_2 = 123/0.33 = 372.7 m^3/\text{год}.$$

Для перекачування осаду приймається три насоси марки СД 250/14 (2 робочих та 1 резервний) [24].

$$W_{зс} = 1.3 \cdot 1,5 \cdot (122.2 + 123) = 245.2 m^3.$$

Приймаються 2 згущувача діаметром 9,0м; глибиною 3,9 м. Тривалість циклу згущення для вод середньої мутності становить 8 год, ухил дна до центрального приймка становить 80, середня вологість згущеного осаду – 96,8-97,3 % [24, табл. 9.1].

Згущений осад вивозиться до накопичувачів, які представляють собою сплановані майданчики на природній основі глибиною 2 м, майданчики обваловані ґрунтом. Розрахунковий період подачі осаду в накопичувачі приймається 5 років [24, Д. 17]. Об'єм накопичувача визначено за формулою:

$$W_{нак} = 0.876 \cdot q \cdot C_s \cdot [1/(100 - P_{oc1})\rho + 1/(100 - P_{oc2})\rho + \dots + 1/(100 - P_{ocn})\rho_n] \quad (3.112)$$

$$W_{\text{нак}} = \frac{0,876 \times 3208,1 \times 177,3 \times 10^{-3}}{1/(100-84) \cdot 1,1 + 1/(100-78) \cdot 1,13 + 1/(100-75) \cdot 1,15 + 1/(100-74) \cdot 1,16 + 1/(100-72) \cdot 1,17} W_{\text{нак}} = 2529,3 \text{ м}^3$$

Приймається чотирьохсекційний накопичувач (об'єм секції 640 м³), розмір однієї секції у плані 20×20×1,6м.

3.11. Екологічне обґрунтування

З метою запобігання забруднення водоймища та для зменшення витрати води для власних потреб станції передбачаються споруди для очистки промивної води. Це дозволяє повторно використати очищену скидну воду після промивки швидких фільтрів.

Кількість забрудненої води після промивки фільтрів за рік становить:

$$Q_{\text{ш.ф.}} = W_{\text{пр.доб.}} \times 365 / 1000 \quad (3.113)$$

$$Q_{\text{ш.ф.}} = 6150 \times 365 / 1000 = 2244,8 \text{ тис. м}^3 / \text{доб.}$$

Застосування споруд для повторного використання промивної води дозволяє запобігти скиданню коагулянта $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ у водойму, у кількості

$$Q_{\text{коагул.}} = Q_{\text{ш.ф.}} \times D_{\text{к}} / 1000$$

$$Q_{\text{коагул.}} = 2244800 \times 35 / 1000 = 78566,3 \text{ кг} \approx 78,6 \text{ т.}$$

При застосуванні вузла повторного використання промивної води значно скорочується витрата забруднених вод, які скидають у водойму, і забезпечується повернення води у виробництво на власні потреби станції водопідготовки, що дає значний економічний та екологічний ефект.

3.12. Розрахунок споруд для дезінфекції води

Знезараження води здійснюється хлорною водою перед змішувачами та перед РЧВ.

Розрахункова година витрата хлору для попереднього хлорування:

$$Q'_{\text{хл}} = \frac{Q_{\text{доб}} \cdot D'_{\text{хл}}}{1000 \cdot 24} \quad (3.115)$$

де $D_{\text{хл}}$ – доза хлору для попереднього хлорування, мг/л, $D_{\text{хл}} = 3$ мг/л [24, п. 10.18.7].

$$Q'_{\text{хл}} = \frac{76993.6 \cdot 3}{1000 \cdot 24} = 9.6 \text{ кг/год.}$$

Розрахункова година витрата для вторинного хлорування:

$$Q''_{\text{хл}} = \frac{Q_{\text{доб}} \cdot D''_{\text{хл}}}{1000 \cdot 24}$$

де $D_{\text{хл}}$ – доза хлору для вторинного хлорування, мг/л, $D_{\text{хл}} = 1$ мг/л [24, п. 10.18.8].

$$Q''_{\text{хл}} = \frac{76993.6 \cdot 1}{1000 \cdot 24} = 3.21 \text{ кг/год}$$

В хлораторній встановлюються вакуумні хлоратори ЛОНІІ-100 продуктивністю 4,5 кг/год у кількості 4 шт (3 робочих та 1 резервний) для первинного хлорування та два хлоратора (1 робочий та 1 резервний) тієї ж продуктивності для вторинного хлорування.

Загальна необхідна кількість балонів за добу:

$$N_{\text{бал}} = n_{\text{бал}} \cdot 24,$$

$$N_{\text{бал}} = 19 \cdot 24 = 456 \text{ шт.}$$

Поряд з хлораторною передбачається приміщення, в якому зберігається 3-добовий запас балонів.

3.13. Розробка вертикальної схеми очисних споруд

По території станції водопідготовки вода рухається самопливом. Позначки рівнів води в очисних спорудах розраховуються відносно позначок рівню землі. Позначка води в резервуарах чистої води приймається на 0,5 метра вище позначки землі, тобто:

$$Z_{\text{РЧВ}} = 51.5 + 0.5 = 52.0 \text{ м.}$$

Величини втрат напору в очисних спорудах і комунікаціях приймаються згідно із [24, п.10.28.2].

Позначка води в швидких фільтрах:

$$Z_{ш.ф.} = Z_{РЧВ} + h_1 \quad (3.119)$$

де h – втрати напору в комунікаціях на шляху від швидких фільтрів до резервуарів чистої води, м; $h = 0,5$ м [24, п.10.28.2].

$$Z_{ш.ф.} = 52 + 0,5 = 52,5 \text{ м.}$$

Враховуючи рельєф місцевості, приймається $Z_{ш.ф.} = 54,0$ м. Позначка води в горизонтальних відстійниках:

$$Z_{г.в.} = Z_{ш.ф.} + h_2 + h_3 \quad (3.120)$$

де h_2 – втрати напору у швидких фільтрах, м; $h_2 = 3,0$ м [1, п.10.28.2];

h_3 – втрати напору в комунікаціях на шляху від швидких фільтрів до горизонтальних відстійників, м; $h_3 = 0,5$ м [24, п.10.28.2].

$$Z_{г.в.} = 52,5 + 3,0 + 0,5 = 56,0 \text{ м.}$$

Позначка води у камерах пластівцеутворення:

$$Z_{к.п.} = Z_{г.в.} + h_4 \quad (3.121)$$

де h_4 – втрати напору у горизонтальних відстійниках, м; $h_4 = 0,7$ м [24, п.10.28.2].

$$Z_{к.п.} = 56 + 0,7 = 56,7 \text{ м.}$$

Позначка води у змішувачах:

$$Z_{з.м.} = Z_{к.п.} + h_5 + h_6 \quad (3.122)$$

де h_5 – втрати напору у камерах пластівцеутворення, м; $h_5 = 0,5$ м [24, п.10.28.2]; h_6 – втрати напору в комунікаціях на шляху від камер пластівцеутворення до змішувачів, м; $h_6 = 0,4$ м [24, п.10.28.2].

$$Z_{з.м.} = 56,7 + 0,5 + 0,4 = 57,6 \text{ м.}$$

Враховуючи рельєф місцевості, приймається 60 м

3.14. Розрахунок резервуарів чистої води

Повний об'єм резервуарів чистої води визначення за формулою:

$$W_{РЧВ} = W_{рег} + W_{ш.ф.} + W_n$$

де $W_{рег}$ – регулюючий об'єм РЧВ, куб.м ;

$W_{ш.ф.}$ – об'єм води, необхідний для промивки швидких фільтрів, м³;

W_n – об'єм недоторканого пожежного запасу, м³.

Регулюючий об'єм резервуарів чистої води розраховується аналогічно об'єму водонапірної башти.

Таблиця 3.2 – Визначення регулюючого об'єму резервуарів чистої води

Години	Відбір насосами,%	Надходження з очисних споруд,%	Надходження в РЧВ, %	Відбір з РЧВ,%	Залишок у РЧВ,%
0-1	2,8	4,16	1,36		1,36
1-2	2,8	4,16	1,36		2,72
2-3	2,8	4,16	1,37		4,09
3-4	2,8	4,16	1,36		5,45
4-5	4,5	4,16		0,34	5,11
5-6	4,5	4,16		0,33	4,78
6-7	4,6	4,16		0,44	4,34
7-8	4,6	4,16		0,43	3,91
8-9	4,6	4,16		0,44	3,47
9-10	4,6	4,16		0,43	3,04
10-11	4,6	4,16		0,44	2,61
11-12	4,5	4,16		0,43	2,28
12-13	4,5	4,16		0,33	1,94
13-14	4,5	4,16		0,33	1,6
14-15	4,5	4,16		0,33	1,27
15-16	4,5	4,16		0,33	0,94
16-17	4,5	4,16		0,33	0,61

17-18	4,5	4,16		0,33	0,28
18-19	4,5	4,16		0,33	-0,05
19-20	4,5	4,16		0,33	-0,38
20-21	4,5	4,16		0,33	-0,71
21-22	4,5	4,16		0,33	-1,04
22-23	4,5	4,16		0,33	-1,37
23-24	2,8	4,17	1,37	0,33	0
Усього	100	100	6.82	6,82	

$$W_{рез} = -1,37/+5,45=6,82\%, \text{ тобто } 5049 \text{ м}^3$$

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

Об'єм недоторканого пожежного запасу:

$$W_n = t \cdot Q_{пож} + \sum Q_{макс} - Q_1,$$

де $Q_{пож}$ – повна пожежна витрата, куб.м :

$$Q_{пож} = \frac{3600 \times m \times q_{пож}}{1000}$$

де m – число одночасних пожеж, $m = 3$;

$Q_{пож} = 40 \text{ л/с}$ – розрахункова витрата на зовнішнє пожежогасіння;

t – тривалість пожежогасіння, 3 год

$$Q_{пож} = \frac{3600 \times 3 \times 40}{1000} = 432 \text{ м}^3$$

$\sum Q_{макс}$ – сумарна витрата води за три суміжних години максимального водоспоживання, м^3 ;

$$\sum Q_{макс} = 3545,93 + 3819,62 + 3458,02 = 10823,6 \text{ м}^3$$

Q_1 – витрата води, що знаходиться за формулою:

$$Q_1 = 4.17 \times Q \times t$$

$$Q_1 = 4.17 \times 74032.3 \times 3/100 = 9261 \text{ м}^3.$$

$$W_n = 3 \times 432 + 10823,6 - 9261 = 2858,6 \text{ м}^3,$$

$$W_{PЧВ} = 5049 + 414.7 + 2858.6 = 8322.3 \text{ м}^3$$

Приймаються 3 резервуари чистої води ємністю 2970 куб.м з розмірами 30×30м та висотою 3,3 м (висота шару води 3,1 м).

Розділ 4

Порівняння економічної складової запропонованих технічних рішень

Для оцінки економічної доцільності різних варіантів очищення води в системі водопостачання міста, проведено порівняння цих варіантів, визначивши приведені витрати для кожного з них. Це було зроблено на основі нормативного терміну окупності з використанням коефіцієнта порівняльної ефективності за формулою:

$$\Pi_i = C_i + E_n \times K_i \quad (4.1)$$

де Π_i —приведені витрати по кожному варіанту, грн.;

C_i —експлуатаційні витрати по кожному варіанту, тис. грн.

K_i — капітальні витрати по кожному варіанту, тис. грн.

E_n — коефіцієнт порівняльної ефективності, який приймається: $E_n = 0,15$ – для систем водопостачання.

При розробці технологічної схеми очистки води були розглянуті дві можливі схеми обробки води (рис. 4.1)

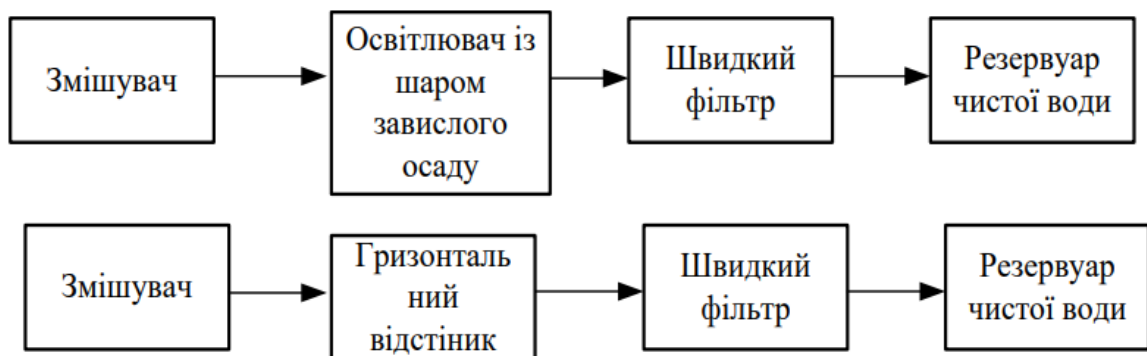


Рисунок 4.1–Технологічні варіанти водопідготовки

Враховуючи загальні експлуатаційні та капітальні показники вартості споруд очищення води, приведені витрати для розглянутих варіантів очищення води складають за узагальненими питомим витратами: для першого варіанта очищення:

$$C_1 = 14300 \text{ тис. грн.},$$

$$K_1 = 397100 \text{ тис. грн.},$$

$$П_1 = 397100 \times 0,15 + 14300 = 73865 \text{ тис. грн}$$

для другого варіанта очищення:

$$C_2 = 14300 \text{ тис. грн.},$$

$$K_2 = 353100 \text{ тис. грн, тоді,}$$

$$П_2 = 353100 \times 0,15 + 14300 = 67265 \text{ тис. грн}$$

Другий варіант очищення води є найбільш економічним, оскільки має найменші приведені витрати. Тому для розробки та детальних розрахунків обирається варіант очищення води з горизонтальними відстійниками та швидкими фільтрами.

Планування капітальних витрат виконується для прийнятого за найменшими приведеними витратами варіанту очищення води. Результати розрахунків зводять до табл.4.1.

Встановлені витрати на реагенти та матеріали, які застосовуються під час процесу очищення води (сульфат алюмінію, вапно, фільтруюче завантаження фільтрів, хлор). Обсяг використання реагентів в натуральних одиницях взятий з попередніх розрахунків спеціальної частини проекту, а вартість реагентів та матеріалів визначена за довідковими даними в сучасних цінах. Розрахунок витрат в грошовому виразі на реагенти та матеріали проводиться у таблиці 4.2.

Таблиця 4.1–Розрахунок капітальних витрат

Найменування	Кількість	Ціна за одиницю, тис.грн.	Сумарна вартість, тис. грн.
Будівлі			
-насосна станція першого підйому суміщена з водозабірною спорудою	1	308000	308000
-насосна станція другого підйому	1	148500	148500
головна будівля станції водопідготовки	1	176000	176000
-реагентне господарство	1	60500	60500
Будівля розташування споруд для промивних вод	1	50050	50050
-склад хлору	1	24200	24200
майстерня	1	6600	6600
-котельня	1	11000	11000
-прохідна	1	385	385
Загальна вартість	1		785235
Основні споруди			
-змішувач	4	440	1760
- горизонтальні відстійники зі вбудованими камерами пластівцеутворення	10	2310	23100
- швидкі фільтри	10	2475	24750
- резервуари чистої води	3	1100	3300
- баки для піску	2	16,5	33
- бак для коагулянта	8	5,5	44
- бак для вапна	2	8,8	17,6
- приймальна камера промивної води	1	66	66
- горизонтальні пісколовки	2	132	264
- згущувачі	2	335,94	671,88
Загальна вартість			54006,48

Основне обладнання			
-насос Д1600-90	5	209	1045
-насос Д2000-21	2	121	242
-насос Д2000-34	4	126,5	506
-кран-балка вантажопідйомністю 3,2 т,	1	137,5	137,5
-підвісний кран вантажопідйомністю 5,0 т,	1	204,6	204,6
-кран мостовий радіальний вантажопідйомністю 5,0 т	1	170,5	170,5
- підвісний кран вантажопідйомністю 3,2 т, прольот	1	137,5	137,5
- кран мостовий з електроприводом вантажопідйомністю 5,0 т	2	250,8	501,6
Загальна вартість			2944,7
Мережі та комунікації			170500
Капітальні витрати по системі в цілому			1012686,18

Таблиця 4.2 – Розрахунок витрат на матеріали (реагенти)

Матеріали	Річна витрата реагенту, матеріалу т/рік	Вартість 1т матеріалу, грн.	Річні витрати на матеріали, Грн.
Коагулянт	2920 (8,0 т/доб × 365)	19800	57816000
Вапно	65,7(0,18т/доб × 365)	9350	614295
Пісок	30,8 м ³ або 81,6 т	4125	336600
Хлор	112,2(12,81 кг/год × 24 × 365)	49500	5553900
Всього :	3180		64320795

Висновки

1. Розроблено технологію очищення природної води для міста із кількістю населення 155273 мешканців:

– водозабірні споруди продуктивністю 0,814 м³/с;

– станцію очищення води продуктивністю 73172,7 м³/добу у складі реагентного господарства, 4 вертикальних змішувачів, 10 секцій горизонтальних відстійників (розміром у плані 50×4,5×3м), 10 швидких фільтрів розміром 6,2×6,2 м у плані, споруд для знезараження води, 3 резервуари чистої води ємністю 2970 куб.м з розмірами 30×30 м та висотою 3,3 м (висота шару води – 3,1 м).

– 2 насоси для промивання швидких фільтрів типу Д2000-21 (1 робочий та 1 резервний);

– насосну станцію другого підйому, яка обладнана насосами типу Д 1600-90(3 робочих та 2 резервних).

2. Енергоощадні розробки: технологія повторного використання промивних вод після їх очищення – очисні споруди для обробки води після промивання фільтрів у складі:

– приймальної камери розміром 1600×2000×1600мм;

– 2 секцій пісковловлювачів розмір 15×1,×4,1 м;

– 2 згущувачів діаметром Д=9 м, глибиною h=3,9 м;

– 4 секцій накопичувачів об'ємом 640 м³ розміром 20×20×1,6 м;

3. Розроблено екологічне обґрунтування: застосування споруд для очищення промивної води дозволяє повторно використовувати скидну воду після промивки швидких фільтрів: економія води за рік становить 2244800 м³/рік або 39957440 грн. Застосування споруд для повторного використання промивної води дозволяє запобігти скиданню коагулянту А12(8О4)з у водойму у кількості 78,6 т за рік.

Список використаної літератури

1. Добровольська О., Рудаков О. О. Удосконалення роботи інженерних об'єктів системи водопостачання. Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України : матеріали III Всеукраїнської науково-практичної конференції за участю молодих науковців. Запоріжжя: ЗНУ, 2023. С. 198–200. URL: https://www.znu.edu.ua/ii_znu/nauka/conf6/zbirnyk_23.pdf
2. Білявський Г.О., Падун М.М., Фурдуй Р.С. Основи загальної екології: підруч. – К.: Либідь, 1993. – 304 с.
3. Біологічне очищення стічних вод [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.npblog.com.ua/index.php/ekologiya.html?start=15>
3. Войцицький А.П. Техноекологія: підручник / А.П. Войцицький, В.П. Дубровський, В.М. Боголюбов. – К.: Аграрна освіта, 2009. – 533 с.
4. Водні ресурси: забруднення та правова охорона. Реферат [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://osvita.ua/vnz /reports/ geograf/ 26414/>
5. Водне господарство в Україні / За ред. А.В. Яцика, В.М. Хорева. – К.: Генеза, 2000. – 456 с.
6. Василенко О. А, Литвиненко Л. Л., Квартенко О. М. Раціональне використання та охорона водних ресурсів: Навч. посіб. для студ. напрямку "Водні ресурси" ВНЗ. Рівне: НУВГП. 2007. 245 с.
7. Геталов А.А. Спосіб ультразвукової кавітаційної обробки рідких середовищ та розташованих у середовищі об'єктів. Електронний ресурс: <https://edrid.ua/rid/216.013.3e94.html>
8. ДБН В.2.5-74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013 . – 115 с.

9. ДСанПіН 2.2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. – Затверджено МОЗ України 12.05.2010. –Київ, 2010. – 25 с.
10. Джигирей В.С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища: навч. посібник. - К.: Знання, 2006. - 319 с.
11. Дикаревський В.С. та ін. Відведення та очищення поверхневих стічних вод: монографія. - Д.: Будвидав, 1990. - 224 с.
11. Забруднення та очищення води [Електронний ресурс] – Режим доступу:http://pidruchniki.com/1281041939573/ekologiya/zabrudnennya_ochischnennya_vodi
12. Єсипенко А.С. До питання про небезпечні та шкідливі виробничі чинники. Інформаційний бюлетень з охорони праці. № 3 (57). 2010. С. 43–46.
13. Сокол Л.М. Аналіз водокористування в Україні на відповідність сталим підходам // Екологічна безпека. № 3/2009(7). – С. 49 – 55.
14. Солодовнік Т.В., Толстопалова Н.М., Фоміна Н.М., Якименко І.К. Дослідження процесів очищення забарвлених розчинів при використанні неорганічних коагулянтів та природного флокулянта. Вісник ЧДТУ «Черкаський державний технологічний університет». Черкаси: 2019. С. 108-11.
15. ДСТУ 7525:2014. Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості. – Чинний від 2014–10-23. – Київ, 2015. – 56 с. 3.
16. Запольський А.К. Водопостачання, водовідведення та якість води/ А. К. Запольський. – Київ: Вища школа, 2005. – 674 с.
17. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод : підручник/ А.К. Запольський, Н.А. Мішкова-Клименко, І.М. Астрелін та ін. – Київ : Лібра, 2000. – 552 с.
18. Тугай А.М. Водопостачання/ А.М. Тугай, В.О. Орлов. – Рівне: РДТУ, 2001. – 429 с.
19. Орлов В.О. Водоочисні фільтри із зернистою засипкою / В. О. Орлов. – Рівне : НУВГП, 2005. – 163 с.

20. Орлов В.О. Технологія підготовки питної води: навч. посібник/ В.О. Орлов, А.М. Орлова, В.О. Зошук. – Рівне: НУВГП, 2010. – 176 с.
21. Миклашевський Н.В. Чиста вода. Системи очищення та побутові фільтри/ Н.В. Миклашевський, С. В. Королькова. -К:, 2000. - 240 с.
22. Запольський А.К. Коагулянти та флокулянти у процесах очищення води/ А.К. Запольський, А.А. Баран. - Х.: Хімія, 1997. - 204 с.
23. Журба М. Г. Водопостачання. Проектування систем та споруд : в 3х т./ М. Г. Журба, Л. І. Соколов, Ж. М. Говорова - К. : АСВ, 2004. – т. 2. – 496 с.
24. Цифровий репозиторій ХНУМГ ім. О.М. Бекетова [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://eprints.kname.edu.ua>. Базовий кадастр викидів м. Вінниця [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.vmr.gov.ua/ContentLibrary/71366901-d1a7-4f23-85d3>
25. Запольський А.К. Водопостачання, водовідведення і якість води. – К.: Вища школа. 2005. – 671 с.
26. Стічні води/ Фармацевтична енциклопедія [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/654/stichni-vodi>
27. Екологічна ситуація та стан питних вод України [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.eco-live.com.ua/content/blogs/ekologichnasituatsiya-ta-stan-pitnikh-vod-ukraini>
28. Екологічний стан р. Південний Буг. Характеристика та заходи щодо його поліпшення [Електронний ресурс] – Режим доступу:<http://www.novaecologia.org/voeco-2139.html>
29. Екологічні проблеми великих міст [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://buklib.net/books/23629/>
30. Екологічний стан України: проблеми сучасності. Реферат [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://osvita.ua/vnz/reports/ecology/21102/>
31. Екологічний стан навколишнього середовища в Україні [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://lektsii.com/2-87789.html>

32. Екологічний стан басейнів річок України, проблеми і шляхи їх подолання на прикладі річки Південний Буг [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://referat-ok.com.ua/ekologiya/ekologichnii-stan-baseiniv-richok-ukrajini-problemi-i-shlyahi-jih-podolannya-na-prikladi-richki-pivdennii-bug>

33. Забруднення і очищення води – Екологія і організація природоохоронної діяльності [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://pidruchniki.com/1281041939573/ekologiya/zabrudnennya_ochischennya_vodi

34. Корсак К.В., Плахотнік О.В. Основи екології: навч. посібник.- 2-ге вид., стереотип. – К.: МАУП, 2000. – 240 с.

35. Контроль інтегрального забруднення р. Південний Буг за характеристиками макрофітів [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://eco.com.ua/content/kontrol-integralnogo-rivnya-zabrudnenny>

36. Кравченко В.С. Водопостачання і водовідведення: навч. посібник.- Рівне.: УДАВГ, 1997.- 237 с.

37. Кравченко В.С. Водопостачання та каналізація: підручник. - К.: Кондор, 2003 – 288 с.

38. Методи очищення стічних вод: переробка і відкачування, коагулянти, адсорбція, зневоднення осаду, очищення господарсько побутових відходів [Електронний ресурс] – режим доступу: <http://kanalizaciya doma.com.ua/metody-ochistki-stochnyh-vod.htm>

39. Механічне очищення стічних вод [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.npblog.com.ua/index.php/ekologiya.html?start=15>

40. Поліщук О.В. Денітрифікація міських стічних вод в коридорних аеротенках: автореф. дис. канд. техн. наук.: 05.23.04/ КНУБА. – К.:2007. – 15с.

41. Правила приймання стічних вод підприємств у комунальні та відомчі системи каналізації населених пунктів України [Електронний ресурс]/ документ №37 від 19.02.2002 м. Київ. - 2 с. Проблеми стічних вод [Електронний ресурс] –Режим доступу: <http://h.ua/art.php?id=5634>

42. Стан водних ресурсів і методи очищення води [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://ecolog-ua.com/content/stan-vodnih-resursiv-i-metodichishchennya-vodi>

43. Скидання стічних вод на рельєф: як отримати рішення, умови приймання стічних вод [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://kanalizaciya.com.ua/sbros-stochnyh-vod-na-relef.htm>.

44. Хільчевський В. К., Забокрицька М. Р., Кравчинський Р. Л., Чунар'юв О. В. Основні засади управління якістю водних ресурсів та їхня охорона : навч. Посібник. К.: ВПЦ «Київський університет», 2015. 172 с. URL: <http://tinyurl.com/jembjax>

45. 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>